



UASB
UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR

Cláusula de cesión de derecho de publicación de tesis/monografía

Yo... German Daniel Jimenez Terán C.I. 6717277
autor/a de la tesis titulada

Incidencia de la planta de Gas Natural Licuado a través de las 27
estaciones de Regasificación que Comercializan Gas Natural como trans-
formación de la Matriz Energética en relación con los combustibles convencionales
en el Estado Plurinacional de Bolivia
mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva
autoría y producción, que ha sido elaborado para cumplir con uno de los requisitos
previos para la obtención del título del programa:

Maestría en Gestión Estratégica de Energía - Hidrocarburos
y Electricidad
Gestión del programa
2015 - 2016

En la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede académica La Paz.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Académica La Paz, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación a partir de la fecha de defensa de grado, pudiendo, por lo tanto, la Universidad utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en formato virtual, electrónico, digital u óptico, como usos en red local y en internet.

2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamo de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.

3. En esta fecha entrego a la Secretaría Adjunta a la Secretaria General sede Académica La Paz, los dos ejemplares respectivos y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

Fecha... 17-10-24.....

Firma:



UASB
Universidad Andina Simón Bolívar
ORGANISMO ACADÉMICO DE LA COMUNIDAD ANDINA

UNIVERSIDAD ANDINA SIMON BOLIVAR
SEDE ACADEMICA LA PAZ

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN ESTRATÉGICA DE
ENERGÍA - HIDROCARBUROS Y ELECTRICIDAD**

**Incidencia De La Planta De Gas Natural Licuado A Través
De las 27 Estaciones De Regasificación Que Comercializan
Gas Natural Como Transformación de la Matriz Energética
En Relación Con Los Combustibles Convencionales En El
Estado Plurinacional De Bolivia**

**Tesis presentada para optar el Grado
Académico de Magister en Gestión
Estratégica de Energía, Hidrocarburos y
Electricidad**

Maestrante: Ing. German Daniel Jiménez Terán

Tutor: Msc Ing. Hernán Cabrea Pantoja

La Paz – Bolivia

2024

DEDICATORIA

A Dios que me da fortaleza todos los días para ser mejor persona, a mis hijos que son las personas más importantes de mi vida y me motivan para luchar y salir adelante.

Por ellos y para ellos todo mi esfuerzo y dedicación.

AGRADECIMIENTO

A mis padres que siempre están en cada peldaño de mi vida con cada aliento de amor, para cumplir mis objetivos personales y académicos; a mi familia los que siempre me han impulsado con cariño y entrega para perseguir mis metas y nunca abandonarme frente a los obstáculos, siendo siempre el pilar fundamental para que cada día sea mejor personal ante la sociedad, y agradecer a la universidad por la enseñanza bajo los principios de eficiencia por su trabajo y gestión.

Índice

INTRODUCCIÓN	xi
Capítulo I: ASPECTOS GENERALES	1
Antecedentes.....	1
Justificación	4
Planteamiento del Problema de Investigación	5
Hipótesis	6
Hipótesis Principal.....	6
Variables	6
Variable Independiente.....	6
Variable Moderante.....	6
Variable Dependiente	6
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Operacionalización de los Objetivos de Estudio	7
Alcance de la Investigación.....	9
Aspecto Temático	9
Ámbito Geográfico	10
Período de Estudio.....	10
Variables Consideradas	10
Metodología	10
Capítulo II: MARCO TEÓRICO	11
Gas Natural y Gas Natural Licuado.....	11
Condiciones de Operación y Logística de la Planta de GNL y las Estaciones de Regasificación	12
Proyecto GNL de YPFB.....	12
Planta de GNL	16

Estación de Regasificación	16
Cadena de distribución del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia	16
Estado Actual de la Matriz Energética en el Estado Plurinacional de Bolivia	17
Balance Energético Nacional 2022	18
Balance de Líquidos	18
Usos de combustibles líquidos en el Estado Plurinacional de Bolivia, Gasolinas y Diésel Oíl.....	20
Balance de GLP	21
Usos del GLP en el Estado Plurinacional de Bolivia	22
Balance Gas Natural.....	23
Usos del Gas Natural en el Estado Plurinacional de Bolivia.....	24
Comercialización de Gas Natural a partir del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia.....	25
Marco Regulatorio y Políticas Energéticas relacionadas con la comercialización de Gas Natural a partir del GNL.....	28
Transición hacia el Gas Natural Regasificado para la Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	29
Capítulo III: METODOLOGÍA.....	31
Tipo de Investigación	31
Población de Estudio	31
Determinación y Elección de la Muestra.....	31
Fuentes de Datos	32
Primarias	32
Secundarias.....	32
Procesamiento y Análisis de Datos	32

Condiciones de Operación y logística de provisión de GNL en Estado Plurinacional de Bolivia	33
Desafíos en la Expansión de la Distribución de Gas Natural.....	36
Estudio Energético de los Volúmenes de Transporte de Gas Natural Licuado - GNL.....	44
Diagnóstico de la Comercialización de Gas Natural	46
Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero ..	50
Resultados.....	53
RESULTADO 1: Condiciones de Operación y Logística de Provisión de GNL en Bolivia.....	53
Fuente: Elaboración Propia	53
RESULTADO 2: Comercialización del Gas Natural a partir del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia	53
RESULTADO 3: Características Termodinámicas del GNL en Comparación con Combustibles Convencionales.....	55
RESULTADO 4: Indicadores de eficacia de la comercialización del Gas Natural a partir de GNL en relación con la transformación de la matriz energética, en reemplazo a los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia.....	56
Conclusiones	59
Recomendaciones para Futuras Investigaciones	60
Capítulo IV: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	61
Introducción	61
Objetivo	61

Alcance.....	62
Resumen Ejecutivo	62
Desarrollo de la Propuesta.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	65
Anexo A: Estructura del Consumo	65
Anexo B: Balance de Oferta y Demanda GNL y combustibles líquidos	65
Anexo C: Producción y logística de GNL.....	65
Anexo D: Balance Energético Nacional 2022 (pertenece al análisis y procesamiento de datos, hasta resultados)	65
Anexo E: Data del Parque Automotor INE - Boletín del Parque Automotor 2018-2023.....	65
Anexo F: Factores de Conversión de la OLADE	65
Anexo G: Procesamiento y Visualización de Datos Power BI	65
Anexo H: Hoja de Datos Cisternas Criogénicas	65

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Matriz de Operacionalización de Objetivos de Estudio</i>	7
Tabla 2. <i>Ficha Técnica de la PGNL de YPFB</i>	13
Tabla 3 <i>Ficha Técnica de las Estaciones de Regasificación de YPFB</i> ..	15
Tabla 4 <i>Municipios Beneficiarios, Distribución Porcentual de consumo entre Gas Natural Domiciliario y GNV</i>	27
Tabla 5 <i>Condiciones de Gas Natural de ingreso a la Planta</i>	38
Tabla 6 <i>Composición molar de Gas Natural - Planta de GNL</i>	38
Tabla 7 <i>Cálculo del poder calorífico de la composición de Gas Natural de la Planta de GNL</i>	40
Tabla 8 <i>Relación de equivalencia energía con combustibles</i>	41
Tabla 9 <i>Energía por Unidad de Volumen y Masa</i>	44
Tabla 10 <i>Cantidad de Energía - Cisterna de 22 TM</i>	45
Tabla 11 <i>Distancia y tiempo de viaje desde la Planta GNL hasta las ERs</i>	47
Tabla 12 <i>Cuantificación Producción y Entregas de GNL</i>	53
Tabla 13 <i>Comercialización de Gas Natural por Categoría desde las ERs</i>	54
Tabla 14 <i>Comercialización de Gas Natural totalizada por Departamento y Estación de Regasificación</i>	54
Tabla 15 <i>Índice de Reemplazo de GLP, GES y GN a partir del GNL</i>	58

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 <i>Diagrama de Bloques de la PGNL</i>	14
Ilustración 2 <i>Diagrama de distribución del GNL en Bolivia</i>	17
Ilustración 3 <i>Balance de Oferta y Demanda Líquidos (kbep)</i>	19
Ilustración 4 <i>Balance de Oferta y Demanda de Gasolina (kbep)</i>	19
Ilustración 5 <i>Consumo de Diesel por categoría de usuario final (Kbep)</i>	20
Ilustración 6 <i>Consumo de Gasolinas por categoría de usuario final (Kbep)</i>	21
Ilustración 7 <i>Balance de Oferta y Demanda de GLP</i>	22
Ilustración 8 <i>Consumo de GLP por categoría de usuario final (Kbep)</i> ...	23
Ilustración 9 <i>Balance de Oferta y Demanda de GN</i>	24
Ilustración 10 <i>Consumos por Destino del Gas Natural</i>	25
Ilustración 11 <i>Mapa del Proyecto GNL</i>	26
Ilustración 12 <i>Regulación en la Cadena de Suministro de GNL y GN Regasificado</i>	28
Ilustración 13 <i>Producción y Entregas Históricas de GNL</i>	33
Ilustración 14 <i>Producción y Entregas Totales de GNL</i>	34
Ilustración 15 <i>Entregas de Gas Natural por Sector</i>	35
Ilustración 16 <i>Entregas de Gas Natural Totales de Gas Natural</i>	35
Ilustración 17 <i>Entregas en Porcentaje (%) por Departamento</i>	36
Ilustración 18 <i>Esquema de Licuefacción de volumen de GNL</i>	41
Ilustración 19 <i>Esquema de energía por unidad de volumen del GNL en fases.</i>	42
Ilustración 20 <i>Cantidad de Energía Comparativa en Porcentaje</i>	46
Ilustración 21 <i>Producción de GNL y empleo de Gas Combustible</i>	46
Ilustración 22 <i>Producción de GNL vs Consumo Gas Natural Regasificado</i>	48
Ilustración 23 <i>Consumo de GNV en m³ en los municipios beneficiarios por las 27 ESR</i>	49
Ilustración 24 <i>Consumo de Gas Natural en m³ Categoría Doméstica en los Municipios Beneficiarios por las 27 ESR</i>	50
Ilustración 25 <i>Reducción en Emisiones de CO₂ por gestión</i>	52
Ilustración 26 <i>Participación del GNL en la matriz energética en KBEP</i>	57
Ilustración 27	57

RESUMEN

Este trabajo de grado tiene como objetivo evaluar el impacto y alcance de la Planta de Gas Natural Licuado (GNL) y sus 27 Estaciones de Regasificación (ER) en Bolivia, como parte de la estrategia de transformación de la matriz energética del país. La Planta de GNL, ubicada en la Comunidad de Río Grande, y las 27 ER distribuidas en diferentes localidades, comenzaron su operación en 2016.

El Gas Natural en Bolivia presenta una composición rica en metano, lo que lo categoriza como "Gas Seco". A través del proceso de licuefacción, el Gas Natural se enfría a temperaturas criogénicas, alrededor de $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, cambiando su estado de gaseoso a líquido y reduciendo su volumen aproximadamente en 600 veces en comparación con las condiciones estándar.

La implementación de la tecnología del GNL y las ER se llevó a cabo como alternativa a los combustibles convencionales, como el GLP, gasolinas y diésel, debido a la creciente demanda y a la limitada capacidad de producción interna. La importación de estos combustibles conllevaba costos significativos y subsidios estatales. La infraestructura del GNL y las ER busca asegurar la disponibilidad y seguridad energética a corto, mediano y largo plazo, especialmente en áreas de difícil acceso donde los gasoductos convencionales no son viables.

Este estudio se enfocará en evaluar el impacto de la Planta de GNL y las 27 ER en la reducción de las importaciones de combustibles convencionales, así como en su contribución a la transformación de la matriz energética en Bolivia. Se realizará un análisis exhaustivo de la operación y desempeño de estas instalaciones, considerando su influencia en la demanda energética y en la sustitución de combustibles convencionales por Gas Natural Regasificado.

Para lograr estos objetivos, se recopilará información actualizada y estadísticas relevantes mediante una investigación bibliográfica y el análisis de datos técnicos y académicos. Esto permitirá obtener resultados sustanciales que faciliten la toma de decisiones en relación con las políticas energéticas y la promoción del uso de Gas Natural en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Palabras Clave: Planta de GNL, Estación de Regasificación, Gas Natural

ABSTRACT

This thesis focuses on evaluating the impact and scope of the Liquefied Natural Gas (LNG) Plant and its 27 Regasification Stations (RS) in Bolivia, as part of the country's energy matrix transformation strategy. The LNG Plant, located in the community of Río Grande, and the 27 RS distributed in different locations, commenced operations in 2016.

Bolivia's natural gas is characterized by its high methane content, making it a "Dry Gas." Through the liquefaction process, natural gas is cooled to cryogenic temperatures, around -161 °C, transitioning it from a gaseous state to a liquid state and reducing its volume by approximately 600 times compared to standard conditions.

The implementation of LNG technology and RS was carried out as an alternative to conventional fuels such as Liquefied Petroleum Gas (LPG), gasoline, and diesel, due to increasing demand and limited domestic production capacity. Importing these fuels incurred significant costs and required state subsidies. The LNG and RS infrastructure aims to ensure short, medium, and long-term energy security, particularly in areas inaccessible by conventional pipelines.

This study aims to evaluate the impact of the LNG Plant and 27 RS in reducing imports of conventional fuels and their contribution to Bolivia's energy matrix transformation. A comprehensive analysis of their operation and performance will be conducted, considering their influence on energy demand and the substitution of conventional fuels with Regasified Natural Gas. To achieve these objectives, up-to-date information and relevant statistics will be gathered through bibliographical research and the analysis of technical and academic data. This research will provide substantial results to support decision-making regarding energy policies and the promotion of natural gas utilization in Bolivia.

Keywords: GNL Plant, Regasification Station, Natural Gas

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado está orientado a establecer y evaluar los alcances de la Planta de Gas Natural licuado - GNL a través de las 27 Estaciones de Regasificación -ER que comercializan Gas Natural para diferentes actividades comerciales en el país, estas plantas se encuentran enmarcadas a través de sus operaciones dentro de la “transformación de la matriz energética”. La Puesta en Marcha de la Planta de GNL ubicada en la Comunidad de Río Grande, Municipio de Cabezas del Departamento de Santa Cruz y la operación gradual de 27 Estaciones de Regasificación (en adelante ER) en diferentes localidades en Bolivia, su producción y comercialización iniciaron en la gestión 2016¹; las condiciones sociales y la geografía llevaron a materializar la producción del Gas Natural producto del GNL y comercialización a través de 27 ER en zonas estratégicas de influencia en Bolivia.

La composición del Gas Natural en Bolivia está formada por un mayor porcentaje de metano, es decir un Gas Seco, que conforme sus propiedades termodinámicas llegarían a cambiar de fase de un estado gaseoso a un estado líquido mediante un proceso físico denominado Licuefacción, proceso que enfría el Gas Natural a condiciones criogénicas, a una temperatura variable de -161 °C, que genera la reducción del volumen de casi 600 veces con relación a condiciones estándares.

Dentro del análisis planteado se describe la Planta de GNL a través de las 27 ER que comercializan Gas Natural a actividades productivas como política de la transformación de la matriz energética en sustitución a los combustibles convencionales (el GLP, Gasolinas y Diésel Oil), considerando el crecimiento de la demanda y una limitada oferta dentro del país respecto a estos carburantes, debido a la baja carga que se cuenta en la producción en las Refinerías y Plantas de Separación de Líquidos, que es producto natural de la declinación de campos y de una composición real de petróleo por ser muy ligera en Estado, generando como efecto mayor, una importación de volúmenes superiores para satisfacer la demanda del mercado interno, resultando en grandes costos económicos que eroga el Estado por la subvención realizada hacia los carburantes finales.

Las condiciones principales para la implementación de una tecnología del GNL y ER en Bolivia reflejan una necesidad pospuesta por mucho tiempo de atender requerimientos de energías en lugares donde los gasoductos convencionales no cuentan con accesos libres, debido

¹Viceministerio de Comunicación (15 de febrero de 2016). Gobierno inicia operaciones de la Planta de GNL que llevará gas a poblaciones distantes. <https://www.comunicacion.gob.bo/?q=20160215/20607>

a la geografía accidentada del país que impide la llegada de Gas Natural para poblaciones que requieren de este elemento básico para su desarrollo; por otro lado, responden a estrategias que garanticen a corto, medio y largo plazo una “Seguridad Energética” con programas de sustitución de combustibles convencionales como alternativas del uso de ER de GNV para la comercialización de gas natural vehicular (en adelante GNV) en Estaciones de Servicios de GNV aprobados en el D.S. 27956 en sustitución de Gasolinas, y otras formas de energías producidas en el país. En relación con el GLP, es un producto que, si bien cubre las necesidades del mercado interno a partir de la Puesta en Marcha y Operación de las Plantas de Separación de Líquidos de Río Grande y Gran Chaco, tiene costos de operación considerablemente elevados. Esto se debe a que conlleva una serie de tratamientos desde su producción, almacenaje, transporte, engarrafado y distribución a través de Plantas distribuidoras y puesto de ventar de GLP, teniendo como precio final en el mercado interno un costo regulado en todo el país que no se ha modificado en los últimos 20 años.

Es necesario mencionar que el Gas Natural Regasificado en las ER cumplen con las mismas condiciones y características de calidad que requiere la comercialización de gas natural distribuido por redes de gas natural instaladas en el país, para las diferentes categorías establecidas en el D.S. 1996², y que las operaciones de las ERs están constituidas en el D.S. 2159³, esta última reglamentación permite viabilizar el uso del gas natural regasificado en las poblaciones como alternativa al uso de combustibles convencionales.

Bajo estas consideraciones es necesario realizar un análisis de la incidencia de la Planta de Gas Natural Licuado a través de las 27 Estaciones de Regasificación que comercializan Gas Natural para diferentes actividades comerciales en el país como política de la transformación de la matriz energética en relación con los combustibles convencionales, además es necesario evaluar las “causas” que llevaron a su implementación como proyecto dentro del cambio de matriz energética, teniendo como bases justificable la demanda creciente de energía de combustibles de origen fósil y el usos de las diferentes categorías masificadas en la distribución de gas natural a través de redes de gas natural en el país, por otro lado uno de los factores que influyó en su implementación fue la de incidir en la reducción a la subvención de carburantes, a además como una alternativa limpia con el medio ambiente ante la emisiones de CO2 en

² Agencia Nacional de Hidrocarburos. (7 DE AGOSTO DE 2015). reglamento para la habilitación y operación de los talleres de transformación de vehículos de Diesel OIL a GNV.
<https://www.google.com/search?q=ran-anh->

³ https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-511-170908-0319-0.pdf

comparación a los combustibles fósiles, bajo este contexto y por todo lo expuesto, es necesario destacar que, dentro de este orden de causas expuestas, existe una carencia de información actualizada y de una evaluación integral desde su implementación como proyecto del GNL y efectos que se generó dentro el país con relación a los combustibles convencionales de origen fósil y si el mismo habría incidido en alguna reducción con relación a la importación.

Por otra parte, profundizar la indagación bibliográfica para un 'interés académico' y aportar con estadísticas recientes y con información actualizada dentro del ámbito académico en el orden técnico, a través de condiciones y propiedades termodinámicas de GNL en comparativa a los valores en términos de energía con aquellos combustibles convencionales que se consumen diariamente en el país, y que partir de esta información se pueda contar con un análisis de incidencia y comportamiento desde el inicio de operaciones que se comercializa a través de las 27 ER en el territorio nacional para la obtención de resultados, los cuales permitirá tomar decisiones más claras en relación a las políticas generadas dentro del cambio de matriz energética del sector de hidrocarburos.

Capítulo I: ASPECTOS GENERALES

Antecedentes

Dentro del contexto mundial es necesario entender que el mercado de Gas Natural se encuentra entre las energías con más requerimiento y demanda en el mundo, siendo una de las fuentes no renovables que tiende a crecer y posicionarse como uno de los productos emergentes, es considerado como un hidrocarburo de transición hacia energías más limpias, aportando a la reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

El Gas Natural Licuado (GNL), constituye un combustible eficiente para su transporte a largas distancias y a mercados inaccesibles a gasoductos, es utilizado como combustible en la generación de electricidad, transporte, industria y calefacción y refrigeración, ofreciendo una opción más amigable con el medio ambiente y aportando a las necesidades energéticas globales⁴.

De acuerdo con diferentes análisis de empresas dedicadas al desarrollo de tecnologías en materia energética, como Linde Group, KBR Group y Toyo Engineering Corporation, señalan que durante la gestión 2022, el comercio mundial de GNL alcanzó un récord, con una media de producción de 630 MM TMD (Toneladas Métricas día), reflejando un crecimiento del 5% en relación a la gestión 2021.

Los incrementos de capacidad de licuefacción, principalmente en países como los Estados Unidos, impulsaron una medida fuerte en el crecimiento del comercio mundial de GNL. Además, que, en el mismo tiempo, se tuvo un aumento de la demanda de GNL en el continente europeo que también contribuyó al crecimiento del comercio, ya que el GNL continuó desplazando las importaciones de Gas Natural por gasoducto desde Rusia. Es necesario destacar que Japón fue uno de los principales importadores de GNL por más de 50 años, hasta que China superó a Japón en 2021. Al año siguiente, en 2022, Japón retomó su posición como primer importador de GNL, por otro lado uno de los factores que influyo en el declive de China son sus políticas de cero COVID que implementaron en tiempos de pandemia, retomando el aumento de las importaciones por gasoducto desde Rusia y al mayor uso del carbón, en el contexto para otros países asiáticos, que dependen más de los mercados mundiales de GNL al

⁴ <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/>

contado, redujeron sus compras al contado es decir de manera inmediata antes de adquisición debido a los precios récord del GNL. Las importaciones de GNL en países como India, Pakistán y Bangladesh disminuyeron en conjunto un 18% (10,98 MM TMD) en 2022 en comparación con 2021. Dentro del continente Sud Americano el país de Brasil registró el mayor descenso en las importaciones de GNL -70% (7,32 MM TMD), debido principalmente a que la mayor disponibilidad de electricidad procedente de la generación hidroeléctrica redujo la demanda de generación eléctrica a partir de Gas Natural en 2022 en comparación con 2021⁵.

A partir de la nueva Ley de Hidrocarburos 3058 del año 2005⁶, resultado de las demandas postergadas del pueblo boliviano, el Estado Plurinacional de Bolivia, establece las nuevas políticas de energía referente al uso del Gas Natural con valor agregado, y posteriormente consolidada en la Nueva Constitución Política del Estado del año 2009⁷, que dispone la creación de “La Empresa Bolivia de Industrialización de Hidrocarburos - EBIH” con la finalidad de ejecutar nuevos proyectos de Industrialización de los Hidrocarburos conjuntamente con YPFB, disposición que fue cumplida mediante el D.S. 29511⁸.

Estas políticas implementadas en el estado, permitieron realizar cambios trascendentales en el sector energético del país en pro de alcanzar su soberanía energética a través de un desarrollo “integral sustentable y equitativo”, es así que, a partir de la gestión 2010 se creó la EEC-GNV a través del D.S. 675⁹, como institución pública desconcentrada dependiente del Ministerio de Hidrocarburos y Energías, con la finalidad de llevar adelante la masificación del uso de GNV dentro la política de cambio de matriz energética.

A partir de septiembre de la gestión 2013, se da inicio al proyecto y construcción de la Planta de GNL, ubicada en el Departamento de Santa Cruz, Municipio Cordillera, de la Localidad de Río Grande, iniciando producción comercial a partir de la gestión 2016, bajo la Licencia

5 <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/liquefied-natural-gas.php>

6 Ley N° 3058 de Hidrocarburos de 2005. Norma las actividades hidrocarburíferas de acuerdo a la Constitución Política del Estado y establecen los principios, las normas y los procedimientos fundamentales que rigen en todo el territorio nacional para el sector hidrocarburífero. 17 de mayo de 2005.

7 Constitución Política Del Estado [CPE]. 7 de febrero de 2009 (Estado Plurinacional de Bolivia).

8 Decreto Supremo N° 29511. “Creación de la Empresa Boliviana de Industrialización de Hidrocarburos”

9 Decreto Supremo N° 0675. Crea la Entidad Ejecutora de Conversión a Gas Natural Vehicular – EEC-GNV, como institución pública desconcentrada dependiente del Ministerio de Hidrocarburos y Energía. 20 de octubre del 2010.

Tecnológica de “Doble Ciclo por Expansión” con una capacidad de producción de 210 TMD y de almacenamiento de 3.000 m³, este proyecto contempló en una primera fase 27 ER distribuidos; 1 ER Madre Caranavi que distribuirá GNL a las ERs (Rurrenabaque, San Borja y Guanay), 17 ERs: Distribución Gas Domiciliario y GNV y 10 ERs: Distribución de Gas Domiciliario, en los Departamentos de La Paz, Santa Cruz, Beni, Oruro, Potosí y Pando¹⁰.

La implementación del Proyecto, constituye una solución para la sustitución del GLP, Diésel Oil (DO) y Gasolinas cuyo precio final regulado no se ha modificado en 20 años en el territorio nacional lo que genera costos elevados al escenario nacional.

El Estado Plurinacional del Bolivia, la oferta de combustibles líquidos de Diésel Oil y Gasolinas para satisfacer el abastecimiento del mercado interno constituido por el sector transporte, agropecuario, industrial y otros sectores productivos, resultado de la declinación natural de los campos de producción de crudo y condensados de petróleo, se ve en la necesidad de importar cada gestión volúmenes superiores.

Evidencia de lo mencionado es que la demanda de Diesel Oil por día en la gestión 2021 para el mercado interno fue de 6,6 millones de litros (MML/día), de los cuales 1,8 MML/día representan la producción nacional y 4,7 MML/día los volúmenes importados, es decir, que las importaciones representan el 71% del total del consumo del mercado interno. Para la gestión 2022, existió un crecimiento de la demanda interna de DO que alcanzó un consumo de 7,3 MML/día (11% de incremento).

En este sentido, en el país habría existido un incremento del volumen importado para el consumo del mercado interno de 4,7 a 5,9 MML/día de DO del 25%. Para el 2023, se registra un incremento en el consumo interno, de 4% de los cuales el 85% corresponde al producto importado con un valor de 6,6 MML/día.

10 Agencia Nacional de Hidrocarburos (2023). Ficha Técnica Planta de Gas Natural Licuado [Archivo PDF]. https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-477-220517-0251-0.pdf

Con respecto a la demanda interna de gasolinas en Bolivia, existe una oferta variada de este combustible en el mercado, siendo los de mayor demanda las gasolinas: Especial, Premium y Súper Etanol 92 (ingresa a partir de 2019).

En la gestión 2021, la comercialización alcanzó 6,5 MML/día (en promedio), al respecto, la gestión 2022 se registró un volumen de 7,01 MML/día que representa un incremento del 8%. Finalmente, para el 2023, las importaciones de Insumos y Aditivos alcanzaron 3,07 MML/día y la producción nacional 4,2 MML/día, haciendo un total de 7,3 MML/día que, en términos porcentuales del total del volumen consumido, representa un 42% en importación un 58% en producción nacional.

Como se ha señalado previamente, la demanda interna de combustibles líquidos en el mercado nacional se encuentra provista por las importaciones, las cuales son subsidiadas por el estado, mientras que la producción nacional contribuye en menor medida. Por lo tanto, la relevancia de la operación de la Planta de Gas Natural Licuado (GNL) radica en su capacidad para comercializar gas natural, con el objetivo de, gradualmente, reemplazar el consumo de combustibles importados por gas natural.

Justificación

La importancia de realizar una evaluación exhaustiva de los resultados operativos de la Planta de Gas Natural Licuado (GNL) y la comercialización del gas natural a través de 27 Estaciones de Regasificación (ER) en todo el territorio nacional desde su inicio, es esencial para determinar los beneficios generados en términos de desarrollo y eficiencia en el uso del gas natural como sustituto de los combustibles convencionales demandados por el país. Esta evaluación también permitirá identificar las variables que ocasionaron dificultades o áreas que requieren mejoras a partir de la experiencia acumulada durante estos años.

Por otro lado, este estudio proporcionará al Estado y a las entidades competentes del sector de hidrocarburos, la capacidad de comprender y evaluar los alcances de los objetivos proyectados en el actual panorama del mercado interno relacionado con el GNL. Con esta información, se podrán adoptar nuevas estrategias y, si es necesario, replantear políticas en el sector, lo que contribuirá significativamente a la toma de decisiones informadas.

Los resultados de esta investigación serán beneficiosos para estudiantes y profesionales que ingresan al sector de los hidrocarburos, enriqueciendo su comprensión sobre los factores que influyen en las transformaciones de la matriz energética, particularmente en relación con el Gas Natural Licuado (GNL) y la industrialización de los hidrocarburos en comparación con los combustibles convencionales. Este trabajo servirá como un fundamento para otros investigadores que profundicen en esta área de conocimiento sobre las nuevas energías promovidas por Bolivia a través del GNL, con el objetivo de masificar el uso del Gas Natural en todo el territorio nacional.

Además, la comprensión de las características termodinámicas del GNL y su comportamiento a lo largo de toda la cadena, desde la producción hasta la comercialización en el país, es fundamental. Este análisis no solo expondrá aspectos técnicos y operativos, sino que también permitirá evaluar el impacto social, técnico y ambiental del uso del GNL, contribuyendo así a una visión integral y sostenible de su implementación en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Planteamiento del Problema de Investigación

El sector energético, en términos de industrialización está experimentando una fase de aprendizaje debido al corto tiempo transcurrido desde su implementación en el Estado Plurinacional de Bolivia. Durante la última década, se han considerado proyectos de industrialización con la visión de contribuir al cambio de la matriz energética. Entre estos proyectos se destaca la construcción y operación de la Planta de Gas Natural Licuado (GNL) y la comercialización a través de 27 Estaciones de Regasificación (ER), como una política estatal destinada a satisfacer demandas sociales, con soluciones técnicas, económicas y medioambientales viables. Esta estrategia busca facilitar el acceso masivo al Gas Natural en áreas geográficamente complejas y donde la construcción de ductos no es factible, con la finalidad principal de sustituir gradualmente el uso de combustibles convencionales como el Diesel Oíl, la Gasolina y el Gas Licuado de Petróleo (GLP).

Por tanto, el presente trabajo de grado pretende abordar un estudio referencial sobre la incidencia de la Planta de GNL y la comercialización a través de las 27 ER en comparación con los combustibles convencionales de Diesel Oíl, Gasolina y GLP en términos de energía, complementado con un análisis de las características termodinámicas del GNL y su comportamiento en la cadena de producción hasta su comercialización en el país.

En este contexto, surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es la incidencia de la Planta de Gas Natural Licuado a través de las 27 Estaciones de Regasificación que comercializan Gas Natural como transformación de la matriz energética en relación con los combustibles convencionales en su área de influencia?

Hipótesis

Hipótesis Principal

La Planta de Gas Natural Licuado (GNL) a través de las 27 Estaciones de Regasificación que comercializan Gas Natural habría generado un impacto considerable en la transformación de la matriz energética en el país con relación a la oferta e importación de los combustibles convencionales en su área de influencia.

Variables

Variable Independiente

Planta de GNL a través sus 27 ER que comercializan gas natural en su área de influencia.
Esta variable tiene un impacto en la transformación de la matriz energética.

Variable Moderante

Políticas gubernamentales, disposiciones y regulaciones energéticas.
Estas variables influyen en la manera en que la implementación de planes, programas o proyectos para favorecer y masificar el consumo del GNL afectan la transformación de la matriz energética.

Variable Dependiente

Transformación de la matriz energética con relación a los combustibles convencionales en Bolivia.
Esta variable representa el resultado que está siendo explicada o prevista a partir de la variable independiente y moderante.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la incidencia de la Planta de Gas Natural Licuado a través de las 27 Estaciones de Regasificación que comercializan Gas Natural para la transformación de la matriz energética con relación a los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Objetivos Específicos

- Describir las condiciones de Operación y Logística de la Planta de Gas Natural Licuado y las 27 Estaciones de regasificación en su área de influencia desde el inicio del proyecto.
- Realizar un diagnóstico a la comercialización de Gas Natural desde las 27 Estaciones de regasificación de la Planta de Gas Natural Licuado en el Estado Plurinacional de Bolivia, identificando variables, políticas, regulaciones y aspectos medioambientales.
- Determinar las características termodinámicas del GNL en relación con los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia.
- Establecer indicadores de eficacia de la comercialización del Gas Natural comercializados de las 27 Estaciones de regasificación en reemplazo a los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia para evaluar el impacto de su uso en la matriz energética.

Operacionalización de los Objetivos de Estudio

Se presenta la matriz que vincula los objetivos generales y específicos del estudio con sus respectivas variables operacionales, indicadores y fuentes de datos potenciales.

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de Objetivos de Estudio

Objetivo General y Específicos	Variables Operacionales	Indicadores	Fuentes de Datos Potenciales
Determinar la incidencia de la Planta de Gas Natural Licuado a través de las 27 Estaciones de Regasificación que	Comercialización de Gas Natural a través de 27 ER que comercializan gas natural en su área de influencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de participación del GNL en la matriz energética. • Reducción de la dependencia de 	Informes de entidades gubernamentales, estadísticas energéticas nacionales e internacionales.

Objetivo General y Específicos	Variables Operacionales	Indicadores	Fuentes de Datos Potenciales
<p>comercializan Gas Natural para la transformación de la matriz energética con relación a los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia.</p>	<p>Condiciones de operación y logística de provisión de GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia.</p>	<p>combustibles convencionales.</p>	<p>Informes de entidades gubernamentales, estadísticas energéticas nacionales e internacionales. Proyecto GNL – YPFB. ANH</p>
<p>Objetivo Específico 1: Describir las condiciones de Operación y Logística de la Planta de Gas Natural Licuado y las 27 Estaciones de regasificación en su área de influencia desde el inicio del proyecto.</p>	<p>Condiciones de operación y logística de provisión de GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Régimen Operativo y Producción de la Planta de GNL. • Número de Estaciones de Regasificación. 	<p>Informes de entidades gubernamentales, estadísticas energéticas nacionales e internacionales. Proyecto GNL – YPFB. ANH</p>
<p>Objetivo Específico 2: Realizar un diagnóstico a la comercialización de Gas Natural desde las 27 Estaciones de regasificación de la Planta de Gas Natural Licuado en el Estado Plurinacional de Bolivia, identificando variables, políticas, regulaciones y aspectos medioambientales.</p>	<p>Comercialización del Gas Natural a partir de GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia., Políticas y regulaciones energéticas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Número de usuarios beneficiados. <p>Barreras identificadas para la comercialización del Gas Natural a partir de GNL.</p>	<p>Análisis de documentos regulatorios y legislativos, informes de entidades gubernamentales.</p>
<p>Objetivo Específico 3: Determinar las características termodinámicas del GNL en relación con</p>	<p>Características termodinámicas del GNL, Comparación con combustibles convencionales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia energética del GNL en comparación con combustibles convencionales. 	<p>Estudios científicos, informes técnicos de laboratorios especializados, datos de la planta de GNL.</p>

Objetivo General y Específicos	Variables Operacionales	Indicadores	Fuentes de Datos Potenciales
los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia.	Indicadores de eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de CO2 del GNL en comparación con otros combustibles. 	Informes de entidades gubernamentales, estadísticas energéticas nacionales e internacionales. Estudios de impacto ambiental.
Objetivo Específico 4: Establecer indicadores de eficacia de la comercialización del Gas Natural comercializados de las 27 Estaciones de regasificación en reemplazo a los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia para evaluar el impacto de su uso en la matriz energética.		<ul style="list-style-type: none"> • Índice de reemplazo del GNL a combustibles convencionales. • Contribución de la comercialización de Gas Natural a partir del GNL en la diversificación de la matriz energética. 	

Nota: Elaboración propia.

Alcance de la Investigación

Esta investigación tiene como objetivo analizar la incidencia de la Planta de Gas Natural Licuado a través de las 27 Estaciones de Regasificación que comercializan Gas Natural como transformación de la matriz energética en relación con los combustibles convencionales. El estudio se centrará en las áreas de influencia de las 27 ER, considerando aspectos geográficos, socioeconómicos y ambientales que puedan influir, como alternativa a los combustibles convencionales.

Aspecto Temático

El área de estudio de la investigación está relacionada con los Módulos 1 y 2 del Programa de Maestría, insertándose en las materias de Marco Legal del Sector de Hidrocarburos; Almacenaje, Transporte, Distribución y Tecnologías del Gas Natural y La Cadena de Comercialización de los Hidrocarburos y sus Derivados. Desde luego abarca un ámbito temático más amplio que representa el Gas Natural Licuado dentro de los Hidrocarburos.

Ámbito Geográfico

La investigación del presente trabajo de grado tiene como ámbito geográfico las zonas de influencia directa de las 27 Estaciones de Regasificación que comercializan Gas Natural en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Período de Estudio

El período de estudio abarcará desde la gestión 2016, año de puesta en operación comercial de la Planta de GNL en Río Grande, hasta el momento actual. Este intervalo permitirá evaluar el impacto a lo largo de estos primeros años de la implementación del GNL en la matriz energética boliviana.

Variables Consideradas

La investigación considerará las siguientes variables: Las condiciones de operación y logística de la Planta de GNL; la comercialización del Gas Natural a través de las 27 ERs; las características termodinámicas del GNL en comparación con los combustibles convencionales e indicadores de eficacia e impacto en la matriz energética.

Metodología

Se utilizará una metodología mixta que incluirá la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos; la revisión de documentos de fuentes oficiales, estadísticas energéticas nacionales e internacionales que contribuirán a una comprensión holística de la situación.

Capítulo II: MARCO TEÓRICO

Gas Natural y Gas Natural Licuado

El Gas Natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos que se encuentra en yacimientos subterráneos junto con petróleo crudo. Está compuesto principalmente por metano (CH₄), aunque también puede contener pequeñas cantidades de otros hidrocarburos como etano, propano y butano, así como impurezas como nitrógeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.

Es necesario conocer y analizar las propiedades termodinámicas del GNL, como la densidad, viscosidad, compresibilidad, entalpía, poder calorífico y otros, con base en estudios respaldados por modelos matemáticos para la determinación de las propiedades del gas natural, como ser Peng Robinson, Wan del Vaals, Standing Katz, método de Kay y otros.

La densidad del Gas Natural se refiere a la masa de gas por unidad de volumen. Es una medida de la compacidad del gas y se calcula dividiendo la masa del gas por su volumen. La densidad del gas natural puede variar dependiendo de su composición y condiciones de temperatura y presión. ((GPSA), 2016)

La viscosidad del Gas Natural se refiere a la medida de la resistencia interna del gas a fluir. Según Carr y Cobayashi (1959), se puede describir utilizando la ecuación de Carr y Cobayashi, que es una correlación empírica utilizada para estimar la viscosidad del gas natural.

La compresibilidad del Gas Natural es otra propiedad termodinámica que varía con la presión. Katz et al. (1959) han investigado los efectos de la presión en la compresibilidad del Gas Natural y han proporcionado relaciones y correlaciones para su estimación en diferentes condiciones de presión.

La entalpía del Gas Natural, que representa la energía liberada o absorbida durante la combustión, ha sido objeto de análisis. Burcat et al. (2005) han proporcionado valores experimentales y teóricos de la entalpía del Gas Natural para diferentes composiciones.

El poder calorífico del Gas Natural, que es la cantidad de energía liberada cuando se quema una unidad de gas, puede expresarse en términos de poder calorífico superior (PCS) o

poder calorífico inferior (PCI). Baulch et al. (2005) han desarrollado modelos para estimar el PCS del gas natural en función de su composición. El PCI del Gas Natural también ha sido estudiado y es relevante en aplicaciones como la generación de energía en motores de combustión interna (Speight, 2014).

El Gas Natural Licuado (GNL) es el Gas Natural sometido a licuefacción para facilitar su transporte y almacenamiento, que requiere la aplicación de tecnologías criogénicas para enfriar el gas a temperaturas extremadamente bajas, transformándolo en estado líquido.

Una de las tecnologías de licuefacción del Gas Natural es el “*ciclo de refrigeración por compresión*”. Este proceso implica la compresión del gas y su posterior enfriamiento mediante la eliminación de calor a través de un ciclo de refrigeración. Según estudios realizados, el ciclo de refrigeración por compresión es una tecnología madura y ampliamente utilizada en la industria del GNL (Nguyen et al., 2011).

Otra tecnología importante en la licuefacción del Gas Natural es el proceso de licuefacción criogénica. Este método se basa en la refrigeración del Gas Natural a temperaturas criogénicas utilizando ciclos de refrigeración avanzados y sistemas de intercambio de calor de alta eficiencia. El proceso criogénico es conocido por su alta eficiencia energética y su capacidad para producir GNL de alta calidad (Nguyen et al., 2011).

Condiciones de Operación y Logística de la Planta de GNL y las Estaciones de Regasificación

Proyecto GNL de YPFB

En la Constitución Política del Estado (CPE) se establece, “Priorizar el mercado interno”, con el objeto de brindar a la población boliviana el beneficio del Gas Natural y todas sus potencialidades económicas, sociales y ambientales; en tal sentido, surge el proyecto de distribución virtual de gas natural, como alternativa de suministro para llegar a los nueve departamentos del Estado Plurinacional de Bolivia y gran parte del área rural.

En tal sentido, el proyecto GNL de YPFB contempla en la actualidad una Planta de Licuefacción en Rio Grande y 27 Estaciones de Regasificación en 6 departamentos, que a la

fecha están en servicio, suministrando Gas Natural a las poblaciones beneficiadas y GNV a 9 Estaciones de Servicio de GNV adyacentes.

La Planta de GNL fue diseñada para procesar y licuar Gas Natural procedente del gas residual de la Planta de Separación de Líquidos adyacente y/o directamente del gasoducto (GASYRG). La Planta, inició con 5 Estaciones de Regasificación, adquisición de cisternas y equipos para las ERs, etapa que estuvo a cargo de la empresa Sener Ingeniería y Sistemas S.A. – Ros Roca Indox Cryo Energy S.L. (UTE) "SENER - INDOX"; es así que las obras de construcción dieron inicio en el año 2013 y fueron concluidas en 2016, realizando las pruebas funcionales al mes de marzo e ingresando en operación comercial en junio de dicha gestión, como se puede apreciar en la Tabla subyacente.

Tabla 2.

Ficha Técnica de la PGNL de YPFB

Ubicación:	Municipio Cabezas, Provincia Cordillera del Departamento de Santa Cruz
Empresa contratista:	Sener Ingeniería y Sistemas S.A. – Ros Roca Indox Cryo Energy S.L. (UTE) "SENER - INDOX"
Empresa fiscalizadora:	Bureau Veritas
Alcance del contrato:	Ingeniería de Detalle, Procura, Construcción y Puesta en Marcha de la Planta de GNL, cinco Estaciones de Regasificación, adquisición de cisternas y equipos para las ERs
Licencia:	Doble Ciclo por Expansión de Nitrógeno
Capacidad de proceso:	13 Millones de pies cúbicos día (MMPCD)
Producción:	Gas Natural Licuado (GNL): 210 Toneladas métricas día (TMD)
Periodo de construcción:	36 Meses
Monto del contrato:	139,24 Millones de Dólares Americanos (MMUSD)

Nota: Elaboración propia, con base en información de YPFB

El caudal de diseño de la Planta es de 13 MM PCSD (0,368 MM MCSD), a partir del cual tiene una capacidad de producción nominal de 210 TMD al día de GNL, en unas condiciones a la salida de la Cold-Box de aproximadamente 2 barg de presión y -165 °C de temperatura.

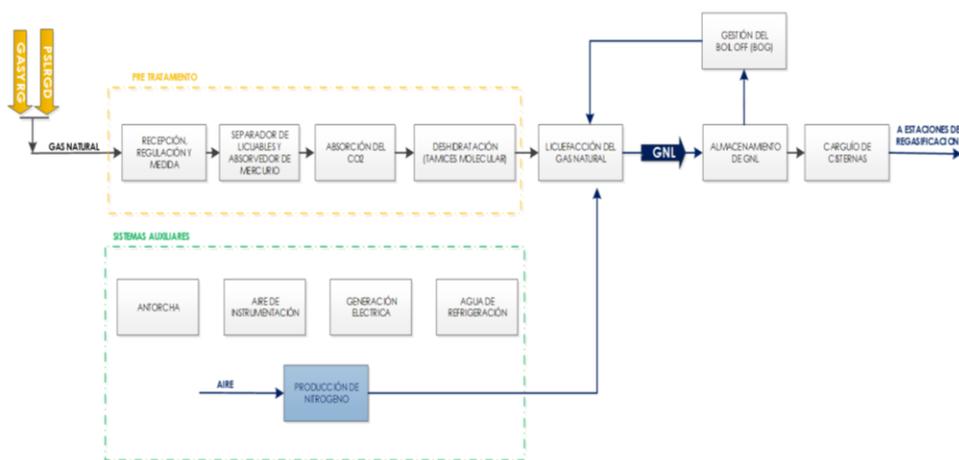
El Gas Natural recibido en la planta tiene que ser pretratado previamente a su licuefacción, es así como, un sistema de adsorción elimina trazas de mercurio, seguido por un sistema de absorción por aminas donde se elimina el CO₂ y de un conjunto de tamices moleculares para eliminar tanto la humedad como los hidrocarburos pesados.

El Gas Natural purificado es licuado en la caja fría, aguas arriba se entrega el GNL al sistema de almacenamiento. Desde el tanque de almacenamiento, el GNL es bombeado a las cisternas para su transporte, el frío necesario para la licuefacción de Gas Natural es proporcionado por el sistema de reciclaje cerrado de nitrógeno, a través de la compresión-expansión, el suministro de nitrógeno necesario se realiza mediante una planta de nitrógeno.

En consideración al proceso expuesto, se presenta el diagrama de bloques de la PGNL en la ilustración 1:

Ilustración 1

Diagrama de Bloques de la PGNL



Nota: Elaboración propia con base a información de YPFB

En la segunda fase del proyecto, YPFB suscribió el contrato con la SOCIEDAD ACCIDENTAL "CONSORCIO COTIENNE-ARESPA" (CAR) para la Instalación y Montaje 22 Estaciones de Regasificación las que fueron puestas en marcha, a partir de la gestión 2016 conforme el detalle presentado de manera individual en la Tabla 3.

Esta fase se ejecutó en 22 municipios ubicados en los Departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Pando, Beni y Santa Cruz, en tal sentido, a partir de la culminación de la instalación y montaje, las Estaciones de Regasificación ingresaron en servicio según el detalle presentado a continuación en la Tabla 3:

Tabla 3*Ficha Técnica de las Estaciones de Regasificación de YPFB*

Estación de Regasificación	Cap. Alm. m3	Cap. GNV	Usuarios (ago/22)	Consumo prom. Dom. Sm3	Consumo prom. Gnv. Sm3	Operación
Achacachi	160	SI	2353	1155	1972	mar-17
Ascención de Guarayos	80	SI	1366	550	1575	feb-16
Cabezas	80	SI	268	97	2338	feb-16
Caranavi	240	SI	1778	713		abr-17
Challapata - Huari	160	SI	4658	1905	1066	feb-17
Cobija	160	No	800	600		abr-17
Copacabana	100	SI	1122	417		jul-16
Coroico	80	No	636	158		jul-16
Desaguadero	100	SI	543	250	708	jul-16
Guanay	80	No	269	100		mar-17
Guayaramerín	240	SI	495	192		mar-17
Huanuni	80	SI	3612	1744	71	feb-17
Llallagua - Uncía	160	SI	7043	3041		dic-18
Mora	80	SI	233	89	1183	sep-16
Riberalta	240	No	1535	1180		mar-17
Roboré	80	SI	745	373		sep-16
Rurrenabaque	80	SI	590	217		mar-17
San Borja	80	No	760	266		mar-17
San Ignacio de Moxos	80	No	233	118		mar-17
San Ignacio de Velasco	80	No	1526	1200		jul-16
San José de Chiquitos	80	SI	740	377	1584	feb-16
San Julián	80	SI	1220	780	5405	feb-16
Santa Ana de Yacuma	80	No	40	200		mar-17
Trinidad	240	No	1477	761		abr-17
Tupiza	160	No	5841	2685		feb-16
Uyuni	100	SI	3370	1814		nov-16
Villazón	80	No	7589	2924		nov-16

Nota: Elaboración propia, con base en información de YPFB

Según lo expuesto por el MHE en su **Informe Rendición Pública de Cuentas** de la gestión 2023, a través de las 27 Estaciones de Regasificación actualmente se benefician a más de 260.000 personas que se encuentran en poblaciones alejadas del sistema troncal de gasoductos, que mejoró su calidad de vida con el consumo de Gas Natural como fuente de energía limpia, barata y segura, además de beneficiar con gas para uso vehicular (GNV) a 9 EESS de GNV adyacentes.

Planta de GNL

“Son todas aquellas instalaciones y unidades de proceso, donde se pueden realizar actividades de recepción, tratamiento y licuefacción de Gas Natural, almacenamiento y transferencia de GNL o cualquier combinación de estas actividades.” (DS N° 2159, 2014)

Estación de Regasificación

El Artículo 4 (DS N° 2159, 2014) define a las una *“Estación de Regasificación como conjunto de instalaciones de almacenamiento y regasificación del GNL destinados a:*

- I. Suministrar Gas Natural a la Empresa Distribuidora; Gas Natural Comprimido a la Estación de GNV Adyacente o a Sistemas de Descarga de GNC; Gas Natural Licuado a otras Estaciones de Regasificación y a Usuarios Directos;*
- II. Consumo propio en Estación de Regasificación de Usuario Directo.”*

Cadena de distribución del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia

A continuación, se presenta una explicación breve de los principales elementos de la cadena de distribución del GNL en Bolivia basada en un marco normativo regulatorio que establece los lineamientos y requisitos para el transporte, almacenamiento y comercialización del GNL en el país.

Producción y Licuefacción: El proceso de producción y licuefacción del Gas Natural se lleva a cabo en las plantas de licuefacción, donde el Gas Natural se enfría y se convierte en GNL para facilitar su transporte y almacenamiento en tanques criogénicos, para asegurar su disponibilidad y suministro continuo en la misma PGNL.

Transporte: Una vez que el Gas Natural se ha convertido en GNL, se transporta mediante camiones cisterna criogénicos, mismos que están diseñados para mantener el GNL a temperaturas extremadamente bajas durante su transporte a las Estaciones de Regasificación.

Estaciones de Regasificación: Una vez recepcionado el GNL en tanques criogénicos se somete a un proceso de regasificación mediante intercambio de calor con el ambiente para volver a su estado gaseoso original antes de su distribución.

Distribución y Comercialización: Una vez regasificado, el GNL se distribuye a través de Redes de Gas para su distribución a diferentes usuarios y se comprime para comercializarlo en estaciones de GNV de acuerdo a la Ilustración 2.

Ilustración 2

Diagrama de distribución del GNL en Bolivia



Nota: Elaboración propia, con base en información de la ANH

Estado Actual de la Matriz Energética en el Estado Plurinacional de Bolivia

Para efectos de análisis y evaluación del presente documento a continuación, se desarrolla el Balance Energético Nacional en términos de energía BEP (Barriles equivalentes de petróleo) en consideración a la OLADE que ha adoptado esta, como unidad común para expresar los balances energéticos, con base en las siguientes consideraciones:

- I. Es coherente con el sistema internacional de unidades
- II. Expresa aceptablemente una realidad física de lo que significa
- III. Está relacionada directamente con el energético más importante en el mundo actual y por lo tanto presenta facilidad en su utilización

IV. Su valor numérico resulta representativo para la disimilitud en tamaño de las cifras de los diferentes energéticos entre los Países Miembros de la Organización

La equivalencia es sobre la base del poder calorífico de 1 kg de petróleo que es de 10.000 Kcal de la producción de las materias primas que satisfagan las necesidades energéticas a los diferentes sectores productores.

Balance Energético Nacional 2022

El Balance Energético Nacional (BEN) proporciona una visión integral de cómo se produce, consume y distribuye la energía en el Estado Plurinacional de Bolivia, permitiendo un entendimiento profundo de la dinámica energética. El BEN es un documento elaborado y publicado por el Ministerio de Hidrocarburos y Energías (MHE), en cumplimiento al inciso h) del Parágrafo V del Artículo 3 del Decreto Supremo N° 4393 del 13 de noviembre de 2020, que indica que *“es atribución del Viceministerio de Planificación y Desarrollo Energético, el administrar y gestionar el desarrollo del balance energético”*. El BEN 2018–2022, contiene información estadística sectorial actualizada y sintetiza la dinámica del sector energético a través de la integración de la información hidrocarburífera y eléctrica.

Balance de Líquidos

En el Estado Plurinacional de Bolivia, los combustibles líquidos desempeñan un papel significativo en el mercado energético, ya que tanto la gasolina como el diésel son esenciales para satisfacer la demanda nacional. El comportamiento del mercado de combustibles líquidos se caracteriza por una combinación de producción interna e importación para mantener un suministro adecuado.

Ilustración 3

Balance de Oferta y Demanda Líquidos (kbep)



Nota: BEN 2018-2022 – MHE

Conforme el Balance Energético Nacional 2022, para el balance de oferta y demanda de Diesel Oil que se expresa en unidades de energía (KBEP), la oferta está compuesta por la producción nacional y la importación para cubrir la demanda o consumo de este combustible líquido. Como se aprecia en la ilustración anterior, se tiene un crecimiento promedio anual de 4,7% para la oferta y un 4,8% para el consumo. Es decir, la oferta ha sido mayor que la demanda.

Ilustración 4

Balance de Oferta y Demanda de Gasolina (kbep)



Nota: BEN 2018–2022 – MHE

Conforme el Balance Energético Nacional 2022 para el balance de oferta y demanda de Gasolinas que se expresa en unidades de energía (KBEP), la oferta está compuesta por la

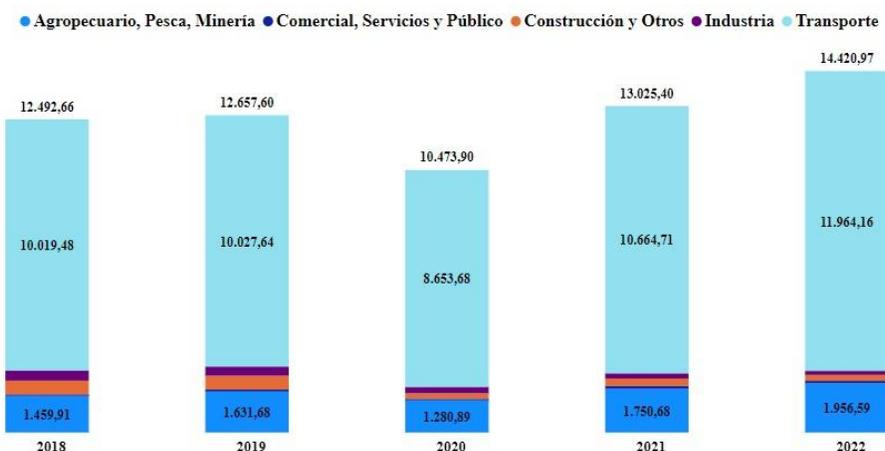
producción interna y la importación para cubrir la demanda o consumo de este combustible líquido. Como se aprecia en la ilustración anterior se exhibe un crecimiento anual de 10,4% para la oferta y 7,5% para la demanda.

Usos de combustibles líquidos en el Estado Plurinacional de Bolivia, Gasolinas y Diésel Oíl.

Existen diferentes mercados que utilizan combustibles líquidos diariamente, el sector económico que tiene un mayor consumo es el transporte, seguido del sector agropecuario, industrial, pesca y minería, posteriormente se encuentra el sector de construcción y finalmente el sector económico comercial, servicios y público conforme la Ilustración 5.

Ilustración 5

Consumo de Diesel por categoría de usuario final (Kbep)



Nota: BEN 2018–2022 – MHE

En el Estado Plurinacional de Bolivia, el parque automotor ha experimentado un considerable crecimiento, alcanzando 2.470.622 vehículos en 2023. Santa Cruz lidera en este aspecto debido a la creciente demanda de transporte pesado por las industrias en la región. En el sector agropecuario, pesca y minería, el diésel es ampliamente utilizado para maquinaria y equipos, siendo esencial en la minería, especialmente en departamentos como Oruro y Potosí.

En la industria en general, el diésel se utiliza para maquinaria pesada y diversos equipos en grandes instalaciones productivas. En el ámbito comercial, de servicios y público, el sistema interconectado nacional (SIN) abastece a los centros urbanos, pero hay poblaciones

desconectadas que dependen de sistemas externos, representando solo el 0.59% de la generación eléctrica total.

En construcción y otras actividades, el diésel se emplea en maquinaria pesada y generadores. Todos estos factores han determinado un crecimiento promedio del 5% entre las gestiones 2018 al 2022.

Ilustración 6

Consumo de Gasolinas por categoría de usuario final (Kbep)



Nota: BEN 2018–2022 – MHE

La demanda de gasolinas, según datos del BEN, se encuentra concentrada en el sector del transporte, experimentando un crecimiento anual del 7,5% entre el 2021 y el 2022. Este aumento se atribuye principalmente al continuo incremento del parque vehicular, impulsado por factores como el desarrollo económico, la actividad industrial y comercial, y cambios en las preferencias de movilidad de la población. Además del crecimiento del parque vehicular, la expansión de la infraestructura vial, el aumento de la movilidad urbana y cambios en los patrones de consumo también contribuyen a la creciente demanda de gasolinas.

Balace de GLP

En el caso del Gas Licuado de Petróleo (GLP), éste desempeña un papel fundamental en el mercado energético, siendo esencial para satisfacer la demanda nacional. A diferencia de otros combustibles líquidos, el Estado Plurinacional de Bolivia se destaca por su capacidad de exportar GLP en lugar de depender de importaciones. La producción interna de GLP proviene

principalmente de las Plantas Separadoras de Líquidos PSL Carlos Villegas y Río Grande, asimismo de Refinerías del país, como la Refinería Gualberto Villarroel en Cochabamba, la Refinería Guillermo Elder Bell y la Refinería Oro Negro y también de las Plantas de tratamiento de Gas Natural. Estas instalaciones contribuyen significativamente a la oferta interna del GLP. Bolivia, al tener excedentes de producción, ha incursionado en la exportación de GLP para aprovechar su capacidad productiva y fortalecer su posición en el mercado regional e internacional. Este enfoque estratégico busca no solo satisfacer la demanda interna sino garantizar la estabilidad en el abastecimiento como se detalla en la Ilustración 7.

Ilustración 7

Balace de Oferta y Demanda de GLP



Nota: BEN 2018–2022 – MHE

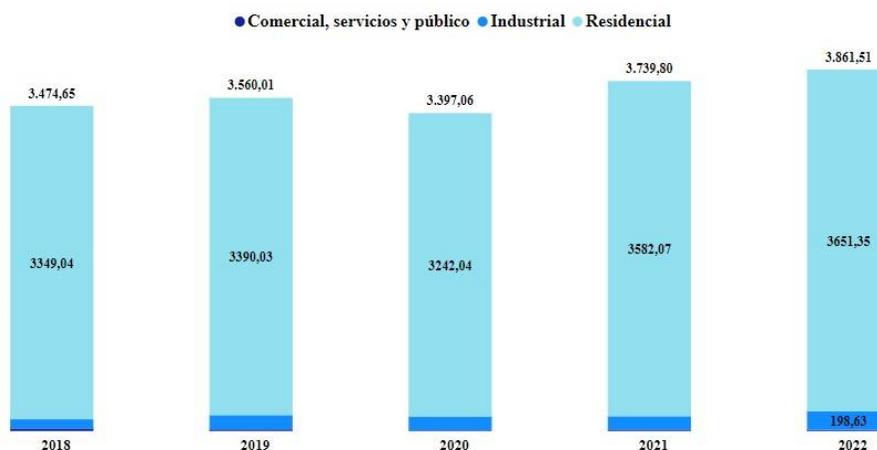
Usos del GLP en el Estado Plurinacional de Bolivia

Diversos sectores hacen uso cotidiano del Gas Licuado de Petróleo (GLP), y su consumo varía según las necesidades específicas de cada segmento. El sector residencial emerge como el principal consumidor de GLP, destacándose por su elevada demanda para usos domésticos. Le sigue en importancia el sector industrial, donde el GLP es esencial para numerosos procesos productivos. A continuación, se encuentra el sector comercial, servicios y público, que utiliza GLP para diversas aplicaciones en establecimientos comerciales y espacios públicos. Este orden de consumidores refleja la versatilidad del GLP, adaptándose a las demandas de distintos ámbitos. La distribución del consumo de GLP demuestra su relevancia no solo en el ámbito residencial,

sino también en sectores clave de la industria, comercio y servicios públicos como se detalla en la Ilustración 8.

Ilustración 8

Consumo de GLP por categoría de usuario final (Kbep)



Nota: BEN 2018–2022 – MHE

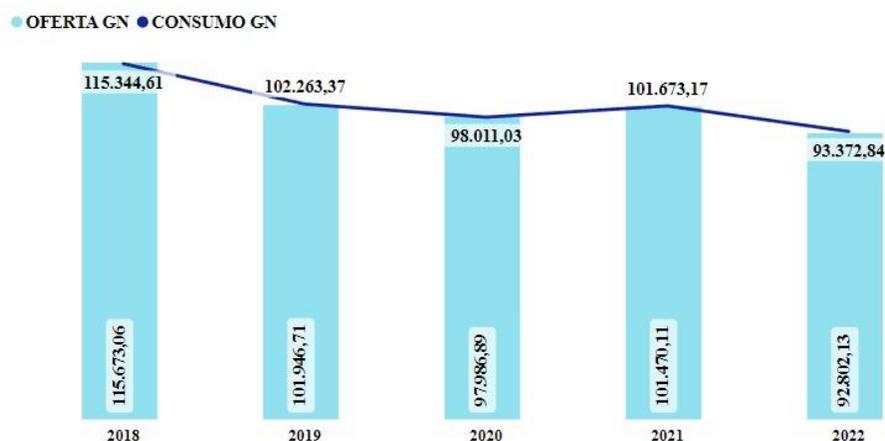
Balance Gas Natural

La dinámica del mercado del Gas Natural en Bolivia se estructura en torno a la oferta generada en campos significativos de producción, tales como Margarita, San Alberto y San Antonio, entre otros. Esta producción se destina a satisfacer la demanda interna, que se distribuye en diversos sectores, incluyendo el industrial (tanto energético como no energético), transporte, residencial, comercial, servicios y público.

El cumplimiento de la demanda interna es una prioridad, y el Estado Plurinacional de Bolivia, al superar sus requisitos nacionales, capitaliza los excedentes de producción mediante la exportación a los mercados de Brasil y Argentina. Este enfoque integral no solo asegura el abastecimiento interno, sino que también posiciona al Estado Plurinacional de Bolivia como un actor relevante en el comercio regional de Gas Natural conforme la Ilustración 9.

Ilustración 9

Balance de Oferta y Demanda de GN



Nota: BEN 2018–2022 – MHE

Usos del Gas Natural en el Estado Plurinacional de Bolivia

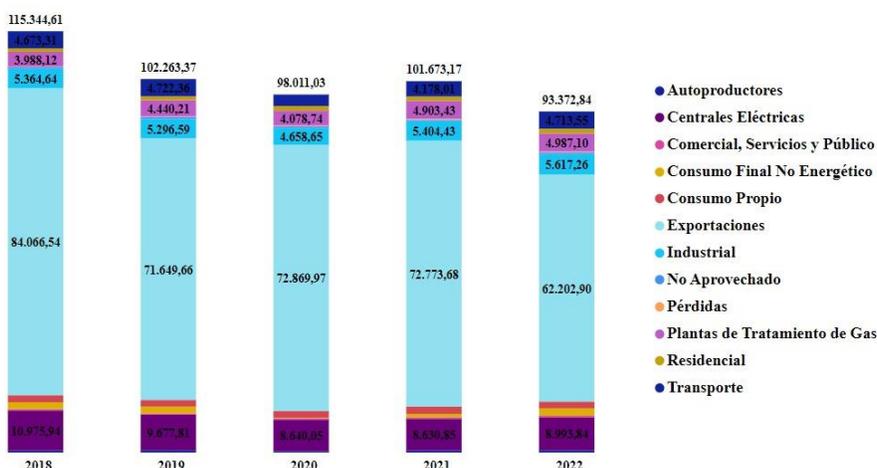
La segmentación del mercado interno, en el ámbito industrial, el Gas Natural no solo es esencial para procesos energéticos, como la generación eficiente de electricidad, sino que también desempeña un papel fundamental en aplicaciones no energéticas. Dentro de la manufactura, se utiliza como materia prima en la producción de diversos productos químicos y materiales, contribuyendo así a la diversificación y sostenibilidad de procesos industriales, como la producción de fertilizantes.

En el sector del transporte, el Gas Natural se destaca como un combustible más limpio y eficiente, especialmente en vehículos de transporte público a través de la comercialización de GNV en Estaciones de Servicio. Además de reducir las emisiones, su uso en el transporte contribuye significativamente a la mitigación de impactos ambientales y a la promoción de prácticas sostenibles en la movilidad urbana y de carga.

En los sectores residencial y comercial, el Gas Natural juega un papel integral en el confort diario de las personas. Se utiliza para la calefacción de espacios, cocinas y sistemas de agua caliente, ofreciendo una alternativa eficiente, confiable y económica en comparación con otras fuentes de energía como en la Ilustración 10.

Ilustración 10

Consumos por Destino del Gas Natural



Nota: BEN 2018–2022 – MHE

Asimismo, en el ámbito de servicios y público, el Gas Natural encuentra aplicaciones en instituciones gubernamentales, hospitales y escuelas, respaldando operaciones esenciales y garantizando servicios críticos de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Esta diversificación de usos del Gas Natural subraya su versatilidad y contribución significativa a diversos aspectos de la vida cotidiana y la infraestructura pública.

Comercialización de Gas Natural a partir del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia

La comercialización de Gas Natural en el Estado Plurinacional de Bolivia se refiere al proceso de venta y distribución de GNL regasificado en el mercado boliviano, implica actividades como el transporte de GNL, la recepción y almacenamiento del gas licuado, su regasificación para convertirlo nuevamente en Gas Natural y su distribución a los consumidores finales, ya sea por sistemas de redes de Gas Natural o como GNV en cilindros emplazados en vehículos.

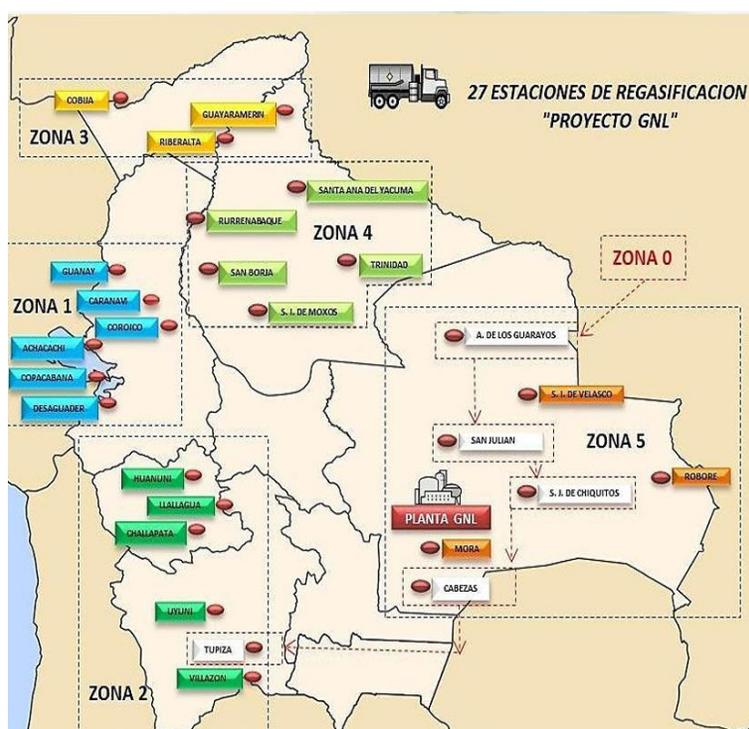
Es importante destacar que la comercialización de Gas Natural a partir del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia está regulada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos, y está sujeta a normativas y requisitos específicos en términos de calidad, seguridad y precios. La comercialización de Gas Natural a partir del GNL puede desempeñar un papel importante en el suministro de energía y el desarrollo económico del país, permitiendo diversificar las fuentes de energía y atender la demanda interna. Esta demanda se refleja en los consumos de Gas Natural

regasificado por parte de diversos usuarios, los cuales se clasifican en categorías que incluyen segmentos industrial, comercial, domiciliario y GNV (Gas Natural Vehicular).

En el Estado Plurinacional de Bolivia se cuenta con 27 Estaciones de Regasificación a lo largo del territorio nacional, en localidades donde no llega el suministro de Gas Natural por tubería o redes de gas. En función a la demanda y proyección en el consumo de Gas Natural para uso doméstico y vehicular, se estableció que 16 de las 27 estaciones dispondrán también de Estaciones de Servicio de GNV. en tanto las otras 11 serán únicamente para alimentar a la red doméstica de consumo conforme se describe en la Ilustración 11.

Ilustración 11

Mapa del Proyecto GNL



Nota : YPFB

Los municipios que son directamente beneficiados en la comercialización del GNL desde las Estaciones de Regasificación son los que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Municipios Beneficiarios, Distribución Porcentual de consumo entre Gas Natural Domiciliario y GNV

Departamento	Municipio	Consumo GN dom. (%)	Consumo GNV (%)
La Paz	Achacachi	37	63
Santa cruz	Ascención de Guarayos	26	74
Santa cruz	Cabezas	4	96
La Paz	Caranavi	100	0
Oruro	Challapata	64	36
Pando	Cobija	100	0
La paz	Copacabana	100	0
La paz	Coroico	100	0
La paz	Desaguadero	26	74
La paz	Guanay	100	0
Beni	Guayaramerín	100	0
Oruro	Huanuni	96	4
Potosí	Llallagua	100	0
Santa cruz	Mora	7	93
Beni	Riberalta	100	0
Santa cruz	Roboré	100	0
Beni	Rurrenabaque	100	0
Beni	San Borja	100	0
Santa cruz	San Ignacio De Moxos	100	0
Santa cruz	San Ignacio De Velasco	100	0
Santa cruz	San José de Chiquitos	19	81
Santa cruz	San Julián	13	87
Beni	Santa Ana de Yacuma	100	0
Beni	Trinidad	100	0
Potosí	Tupiza	100	0
Potosí	Uyuni	100	0
Potosí	Villazón	100	0

Nota: Elaboración propia, con base en información de YPFB

En la Tabla 4, se aprecia los 27 municipios que son beneficiados con la comercialización de Gas Natural a partir del GNL y el porcentaje de participación por categoría (Gas domiciliario y GNV) de cada municipio, de forma general, el uso de GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia por medio de las Estaciones de Regasificación conlleva un 60% para la categoría de Gas domiciliario y un 40% de GNV.

Marco Regulatorio y Políticas Energéticas relacionadas con la comercialización de Gas Natural a partir del GNL

La cadena de suministro de Gas Natural Licuado (GNL) en el Estado Plurinacional de Bolivia está sujeta a diversas normativas regulatorias. El DS 2159 de 23 de octubre de 2014 que aprueba el Reglamento Técnico para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Abandono de Plantas de Gas Natural Licuado - GNL y Estaciones de Regasificación y para el transporte de GNL se encuentra el DS 2571 de 28 de octubre de 2015 que aprueba el Reglamento Técnico y de Seguridad para el Servicio de Transporte de Gas Natural Licuado – GNL. Por otro lado, el DS 27956 establece las regulaciones para las estaciones de Gas Natural Vehicular (GNV) y la distribución por redes se rige en el DS 1996 de 15 de mayo de 2014, todo lo descrito se aprecia en Ilustración 12.

Ilustración 12

Regulación en la Cadena de Suministro de GNL y GN Regasificado



Nota: Elaboración propia

En el contenido textual de estas normativas existen algunos aspectos que pueden actuar como obstáculos para la diversificación del Gas Natural Regasificado. Por ejemplo, los planes de expansión en la distribución de gas natural por redes requieren una planificación conjunta y coordinada entre gobiernos municipales y empresas distribuidoras, presentándose cada 5 años. Esta estructura puede desacelerar la diversificación de la matriz energética con el uso del GNL.

Otro aspecto crítico es la construcción de Estaciones de GNV integradas al complejo de regasificación de Estaciones Satelitales de Regasificación (ESR), teniendo que evaluar conforme el DS 27956 y retrasando la puesta en marcha de estas instalaciones.

Son aspectos técnico-regulatorios que merecen atención, ya que, dentro de la comercialización de GNL, indican en la ampliación de volúmenes de GNL necesarios para la demanda en el crecimiento del mercado interno.

Finalmente, el impacto de la comercialización de Gas Natural a partir del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia y su relación en la transformación de la matriz energética, es la participación dentro del mercado interno como energía primaria y secundaria, es decir, incidencia de la comercialización de Gas Natural a partir del GNL para consumo doméstico y para el consumo en GNV.

Transición hacia el Gas Natural Regasificado para la Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

La mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se ha convertido en una prioridad crucial en el contexto de la crisis climática global. Uno de los enfoques destacados para abordar este problema es la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. En este sentido, la sustitución del Gas Natural regasificado por combustibles convencionales emerge como una estrategia fundamental para reducir las emisiones de carbono asociadas con la generación de energía.

La sustitución de combustibles convencionales por Gas Natural se ha identificado como un enfoque eficaz para mitigar las emisiones de GEI. Autores como Smith et al. (2008) destacan que el Gas Natural, al tener una menor intensidad de carbono, puede desempeñar un papel significativo en la reducción de emisiones.

El cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas con la transición a Gas Natural regasificado implica considerar factores como el volumen equivalente de combustibles convencionales, el factor de emisión de CO₂ y el factor de conversión de energía. Estos cálculos están respaldados por metodologías estándar (IEA, 2020).

La adopción del Gas Natural Regasificado no solo se traduce en beneficios ambientales, sino que también refleja un compromiso con prácticas más amigables con el medio ambiente. Autores como Stern (2007) argumentan que la acción sostenible es esencial para abordar los desafíos del cambio climático.

Capítulo III: METODOLOGÍA

Para el procesamiento de datos, se ha empleado herramientas informáticas de análisis, tales como librerías de software libre de Pandas¹¹ procesadas en Python¹², así como software de visualización de datos, como Power BI¹³ y herramientas de procesamiento primario, como Excel.

Tipo de Investigación

El tipo de investigación es un estudio exploratorio con un enfoque cuantitativo, debido a que se utilizará información de documentos oficiales, informes técnicos, estadísticas energéticas nacionales para posteriormente realizar un análisis de los resultados obtenidos.

La investigación es de carácter analítico por la aplicación de indicadores de eficacia de la comercialización de Gas Natural de las 27 Estaciones de Regasificación que se producen en la Planta de GNL como política en la transformación de la matriz energética en relación con los combustibles convencionales.

Población de Estudio

Datos de YPFB, ANH, INE y MHE.

Registros de consumos históricos y producción de GNL.

Datos de redes de distribución de gas domiciliario.

Datos históricos de oferta, importación y demanda de combustibles convencionales.

Determinación y Elección de la Muestra

La selección de la población y muestra para esta investigación considera los datos históricos de la oferta y demanda de combustibles convencionales de las poblaciones o zonas

11 <https://pandas.pydata.org> - Pandas es una biblioteca de análisis y manipulación de datos de código abierto, se utiliza ampliamente en el campo de la ciencia de datos y proporciona estructuras de datos y herramientas para trabajar con datos tabulares, es compatible con la importación y exportación de datos en varios formatos, como CSV, Excel y SQL.

12 Python es un lenguaje de programación de alto nivel e interpretado. Su filosofía se centra en la legibilidad del código, lo que lo hace muy accesible para principiantes y también muy utilizado en la industria. Python es conocido por su simplicidad y su sintaxis clara y concisa.

13 Power BI es una herramienta de análisis de datos desarrollada por Microsoft que permite a las empresas visualizar y compartir información de manera interactiva y atractiva.

de influencia a las 27 ER, como también el producto de GNL de estas ER para la comercialización de gas natural a través de ellas.

La muestra se establece desde la gestión 2016 hasta diciembre de 2023, esto con base en la disponibilidad de información completa y actualizada que abarque estos primeros años de operación del proyecto de GNL en Bolivia. Dado que se busca comprender la evolución y los impactos a lo largo del tiempo, una muestra que cubra este periodo facilitará la identificación de tendencias, patrones y cambios significativos en la matriz energética del país.

Fuentes de Datos

Primarias

La fuente primaria comprende informes detallados sobre la producción de Gas Natural Licuado (GNL), partes diarios de la planta que describen las operaciones y eventos relevantes, así como reportes de comercialización de Gas Natural del Operador. Estos documentos ofrecen una visión integral de la producción, operaciones y distribución del gas natural, fundamentales para comprender y gestionar eficazmente la cadena de suministro y comercialización de este recurso.

Secundarias

Se componen de Informes del Balance Energético Nacional del Ministerio de Hidrocarburos y Energías (MHE), Información Estadística obtenida del Instituto Nacional de Estadística (INE), Recopilación de Guías de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Procesamiento y Análisis de Datos

En primer lugar, se realizará una exhaustiva selección de información proveniente de fuentes secundarias, priorizando los Informes del MHE por su rigurosidad y relevancia en el ámbito energético nacional, la obtención de datos estadísticos a través del INE permitirá complementar y respaldar la información obtenida del MHE. Además, se recopilarán y examinarán las guías proporcionadas por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Esta selección minuciosa de fuentes asegura una base de datos sólida y diversa para el análisis.

En una segunda fase, se procederá a la integración y complementación de los datos obtenidos de YPF de la Planta de GNL y las 27 ERs, históricos de consumo de combustibles

convencionales a través de su página Web, crecimiento de la población de los datos estadísticos del INE, y la comercialización del Gas Natural para realizar la evaluación de la incidencia en el presente trabajo de grado.

Finalmente, se llevará a cabo un análisis crítico de los datos recopilados, utilizando métodos estadísticos y herramientas de análisis específicas, se compararán y contrastarán los datos de diferentes fuentes para identificar tendencias, patrones y discrepancias. Este proceso permitirá evaluar la consistencia de la información, identificar posibles sesgos y proporcionar una base sólida para la generación de conclusiones fundamentadas y recomendaciones pertinentes para el presente estudio.

Condiciones de Operación y logística de provisión de GNL en Estado Plurinacional de Bolivia

La Planta de GNL y las 27 ERs representa un hito histórico en la transformación de la matriz energética del Estado Plurinacional de Bolivia, siendo el primero y único en la actualidad. La Planta de GNL, junto con las primeras cinco Estaciones de Regasificación iniciaron operaciones en la gestión 2016, posteriormente ingresaron en servicio las 22 ERs de forma paulatina en la gestión 2018.

Conforme los datos de YPFB, se cuenta con el Histórico de Producción y Entregas disgregado por gestión, a partir del cual se identifica un crecimiento ascendente en el orden del 17% anual de acuerdo a la Ilustración 13.

Ilustración 13

Producción y Entregas Históricas de GNL



Nota: Elaboración propia con Información YPFB

El incremento en la producción es directamente proporcional a la demanda de las 27 poblaciones beneficiadas siendo que, según la infraestructura disponible, la Planta de GNL cuenta con un único depósito criogénico de una capacidad de 1.200 TM. (3.000 m³) equivalente a 6 días de producción continua al régimen operativo de diseño.

Sin embargo, durante los primeros años la Planta de GNL registra un régimen menor al de diseño, con el fin de brindar mayor continuidad operativa, evitar paros por alto stock y las pérdidas por evaporación del fluido criogénico.

Con corte a diciembre de 2023, los volúmenes totalizados de *producción* de GNL alcanzaron las 65.507 TM (148.690 m³) y de *entregas*, alcanzaron las 62.422 TM (141.961 m³) conforme la Ilustración 14.

Ilustración 14

Producción y Entregas Totales de GNL



Nota: Elaboración propia con Información YPFB

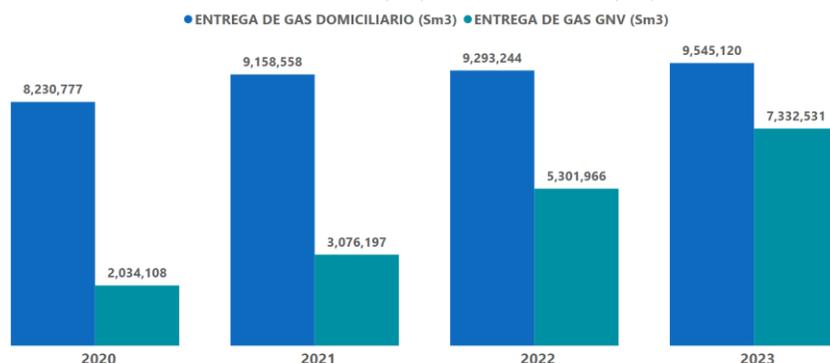
Respecto a las Estaciones de Regasificación, los registros en cuanto a consumo y categorización datan del 2020 en adelante conforme se detalla en el ilustrativo 15, presentando una primera sección por USUARIOS DE RED PRIMARIA y GNV.

Conforme las Hojas de Datos (se tiene respaldos) de las cisternas criogénicas, estas disponen de una capacidad de almacenaje de Diseño de 22 TM (55 m³), sin embargo, según recomendaciones de normativa de seguridad, el llenado de las mismas no debe exceder el llenado del tanque en 85%, por lo cual YPFB realiza el carguío de producto como recomendación a 18 TM (45 m³).

Considerando que las propiedades termodinámicas del GNL (densidad de líquido y densidad del Gas Natural), se cuenta con un factor de regasificación de casi aproximadamente 580 veces su volumen, a tal efecto YPFB consigna los volúmenes regasificados de Gas Natural:

Ilustración 15

Entregas de Gas Natural por Sector



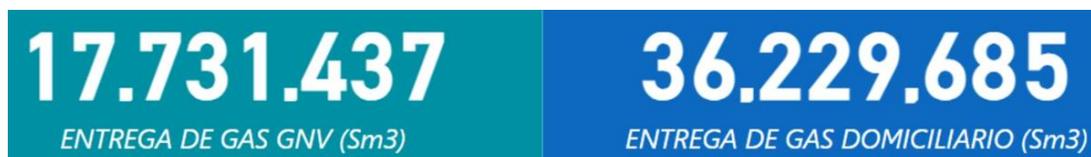
Nota: Elaboración propia con Información YPFB

Según los datos presentados por el MHE (Rendición de cuentas Final -2023), a cierre de la gestión 2023, el Gas Natural Regasificado de las ERs, beneficio a más de 260.000 personas en áreas rurales y alejadas de los centros de consumo.

De las 27 Estaciones de Regasificación consideradas en el proyecto, según diseño 16 dispondrían de EESS de GNV adyacentes, de las cuales 6 ingresaron en comercialización en la gestión 2020: San Julián, Ascensión de Guarayos, San José de Chiquitos, Desaguadero, Challapata y Huanuni. Posteriormente, en la gestión 2021 ingreso Mora y en 2022 Cabezas y Achacachi, cuantificando en 9 las poblaciones con GNV. Los volúmenes totalizados son los siguientes:

Ilustración 16

Entregas de Gas Natural Totales de Gas Natural

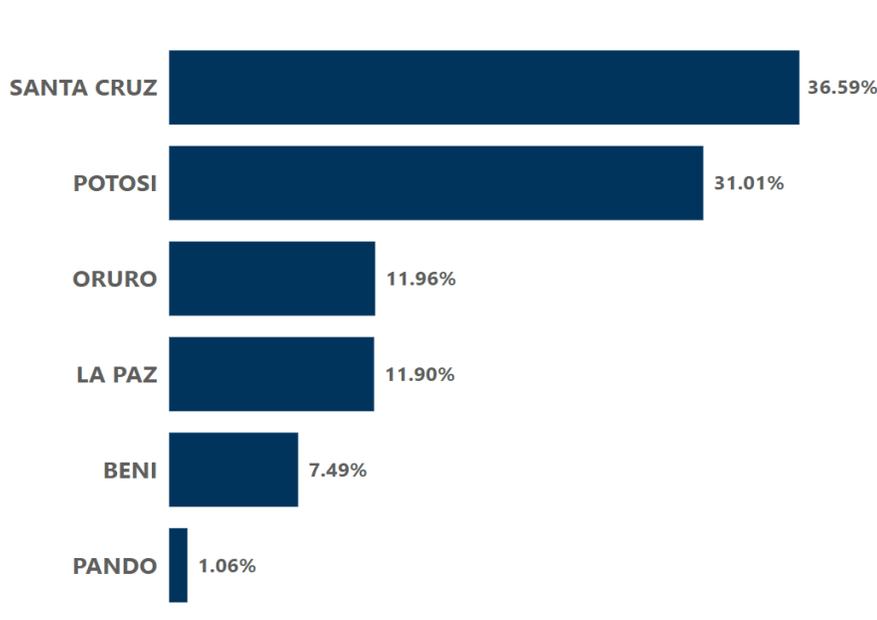


Nota: Elaboración propia con Información YPFB

Por otra parte, realizando el análisis del consumo presentado por departamento, se identificó que el 36% del consumo corresponde al Departamento de Santa Cruz y progresivamente como se observa en la Ilustración 17.

Ilustración 17

Entregas en Porcentaje (%) por Departamento



Nota: Elaboración propia con Información YPFB

Al respecto se hace notar que para el caso del Occidente: Potosí y Oruro el consumo refleja la demanda de los usuarios de la red primaria, en tanto que el Oriente representa mayor consumo el parque automotor con uso de GNV, incidiendo que este aspecto se debe a factores propios de la geografía de esa parte del país.

Desafíos en la Expansión de la Distribución de Gas Natural

Aunque la distribución de Gas Natural por redes se encontraba inicialmente limitada a un número reducido de instalaciones internas, y en muchos casos, no se había logrado abarcar diversas regiones del país debido a la construcción limitada de ductos, se implementó sistemas virtuales de distribución de Gas Natural Licuado. Este enfoque permite llegar a áreas actualmente distantes de la red de gasoductos, dando lugar a lo que se conoce como Estaciones de Regasificación. Estas Estaciones se planificaron con el propósito de atender las necesidades de

servicios básicos de ciudades como Trinidad y Cobija, además de 23 localidades potenciales que, en ese momento, contaban con una población superior a 2.000 viviendas.

A pesar de tener la proyección de alcanzar 114 localidades con poblaciones superiores a 200 habitantes, se encontraron obstáculos administrativos en relación con la operativización y expansión de las Redes de Gas Natural. Algunos obstáculos incluyeron en la falta, de implementación de las mismas entre otros aspectos de índole jurídica.

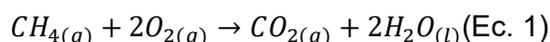
Efectivamente, lo anterior ha tenido un impacto adverso en el crecimiento de la demanda de Gas Natural destinado al consumo residencial, lo cual se refleja en la estabilización de la tasa de crecimiento de los usuarios en los municipios comprendidos dentro del ámbito de intervención de las 27 ERs.

Propiedades Termodinámicas del GNL del Estado Plurinacional de Bolivia, con Relación a los Combustibles Convencionales

El Gas Natural es una mezcla de hidrocarburos que se encuentra en la naturaleza en estado gaseoso, principalmente contiene metano y el resto de sus componentes son alcanos y ciertos gases inertes. Las propiedades termodinámicas del Gas Natural son importantes para su uso en la industria y la energía. Entre las propiedades termodinámicas del Gas Natural más importantes son la densidad, la viscosidad, la compresibilidad y la entalpía del cual deriva el concepto del poder calorífico. La densidad del Gas Natural depende de la presión y la temperatura. La viscosidad del Gas Natural es baja y disminuye con la temperatura. La compresibilidad del Gas Natural es alta y varía con la presión. La entalpía del Gas Natural es la cantidad de energía que se libera o absorbe cuando el Gas Natural se quema.

El poder calorífico del Gas Natural es la cantidad de energía que se libera cuando se quema una unidad de materia, varía según la composición del Gas Natural que representan dos términos de poder calorífico superior o poder calorífico inferior. El poder calorífico superior del Gas Natural es la cantidad de energía liberada cuando se quema una unidad de Gas Natural y se condensan los productos de la combustión. El poder calorífico inferior del Gas Natural es la cantidad de energía liberada cuando se quema una unidad de Gas Natural y no se condensan los productos de la combustión. Esta propiedad se mide en unidades de energía por unidad de volumen o masa como se observa en la ecuación de combustión Ec. 1.

La reacción de combustión teórica para el CH₄ es:



El Gas Natural boliviano usado para Planta de GNL, proviene de dos fuentes principales: la Planta Separadora de Líquidos de Rio Grande y directamente del gasoducto GASYRG. Este Gas Natural boliviano exhibe una composición diversa que incluye predominantemente metano y otros hidrocarburos con la posibilidad de contener fracciones de hidrocarburos más pesados en el caso del Gas Natural transportado por el gasoducto GASYRG.

Con el propósito de evaluar las propiedades termodinámicas del GNL boliviano con base a su composición cromatográfica, se llevará a cabo un análisis detallado para determinar las equivalencias energéticas en relación con combustibles convencionales como el GLP, Gasolinas y Diésel Oil. Este enfoque integral proporcionará información esencial para comprender las características energéticas del Gas Natural, permitiendo la comparación directa con combustibles convencionales y facilitando la identificación de oportunidades para su utilización eficiente en diversos contextos energéticos conforme la Tabla 5.

Tabla 5

Condiciones de Gas Natural de ingreso a la Planta

Variables de Operación	Condiciones de Gas Natural de ingreso a la Planta de GNL desde gasoducto	Condiciones de Gas residual Planta Separadora de Líquidos de Rio Grande
Presión (Bar)	57,5	57,5 – 66,5
Temperatura (°C)	29,4	48,9

Fuente: Información YPFB

Tabla 6

Composición molar de Gas Natural - Planta de GNL

Componente	Mol (%)	Mol (%)
Nitrógeno	0,567	0,588
CO ₂	1,793	1,857
Metano	87,89	91,033
Etano	6,35	6,479
Propano	2,235	0,043

Componente	Mol (%)	Mol (%)
i-butano	0,384	0
n-butano	0,498	0
i-pentano	0,146	0
n-pentano	0,56	0
Hexano	0,068	0
Heptano	0,013	0
Octano	0,003	0
Nonano	0,06	0
Total	100	100

Nota: Elaboración propia con Información YPFB

Conforme la composición precedida en la Tabla ° 5, a continuación, se realizará el cálculo del poder calorífico para determinar termodinámicamente la *cantidad de energía liberada en la combustión, por unidad de volumen* con relación a los combustibles convencionales del Estado Plurinacional de Bolivia, a través de la ecuación (C.2). descrita a continuación.

Para poder establecer, conocer y cuantificar los valores de *Poderes Caloríficos* de cada uno de los componentes determinados en la TABLA N° 5 conforme especificaciones de Diseño de la Planta de GNL De Río Grande, los mismos se establecen a partir de la ecuación (C.1).

$$PC = \sum_{i=1}^N (Y_i) * PC_i \quad (\text{Ec.2})$$

En la ecuación (C.2), PC es el valor del *Poder Calorífico* del Gas Natural de composición conocida, donde Y_i es la fracción molar del componente “i” en la mezcla y PC_i es el poder calorífico del componente “i” obtenidos de bibliografía, bajo esta descripción matemática, se calcula el *Poder Calorífico* de la composición cromatografía que ingresa a la Planta de GNL, a partir de valores descritos en la Tabla 5.

Para poder establecer los poderes caloríficos de las dos corrientes de Gas Natural, es necesario que las condiciones de los porcentajes de las composiciones sean llevadas a una fracción molar para poder expresar la concentración que existen en los mismos conforme Tabla 7.

Tabla 7

Cálculo del poder calorífico de la composición de Gas Natural de la Planta de GNL

Componente	Especificaciones del GN de entrada por GASYRG			Especificaciones del GN entrada de PSLRGD		
	F. Molar	PC _i BTU/pie ³	PC Resultado	Y _i F. Molar	PC _i BTU/pie ³	PC Resultados
Nitrógeno	0,00567	0	0	0,00588	0	0
CO ₂	0,01793	0	0	0,01857	0	0
Metano	0,87898	1.010,0	887,8	0,91033	1.010,0	919,4
Etano	0,06300	1.769,6	111,5	0,06479	1.769,6	114,6
Propano	0,02235	2.516,1	56,2	0,00043	2.516,1	1,1
i-butano	0,00384	3.251,9	12,5	0	3.251,9	0
n-butano	0,00498	3.262,3	16,2	0	3.262,3	0
i-pentano	0,00146	4.000,9	5,8	0	4.000,9	0
n-pentano	0,00090	4.008,9	3,6	0	4.008,9	0
Hexano	0,00068	4.755,9	3,2	0	4.755,9	0
Heptano	0,00013	5.502,5	0,7	0	5.502,5	0
Octano	0,00006	6.248,9	0,4	0	6.248,9	0
Nonano	0,00002	6.996,5	0,1	0	6.996,5	0
TOTAL	1		1.098,1	1		1.035,1

Nota: Elaboración propia con información del GPSA

Conforme los valores obtenidos en la Tabla 7 se observa que el *Poder Calorífico* de Gas Natural que ingresa a la Planta de GNL desde el gasoducto GACYG, tiene como resultado **1.098,1** BTU/pie³, con relación al Gas Natural Seco residual proveniente de la Planta de Separación de Líquidos de Río Grande **1.035,1** BTU/pie³ observando que existe una ligera variación de poder calorífico por la cantidad de hidrocarburos pesados que tiene el Gas Natural que viene directamente de gasoducto, mismo que solo se considera cuando la Planta de Separación de Líquidos de Río Grande entra en un Paro de Planta o en un tipo mantenimiento que imposibilite que la corriente de Gas Natural residual ingrese a las instalaciones.

Asimismo, en el análisis termodinámico, se establece como dato el poder calorífico calculado del Gas Natural residual de Planta de Separación de Líquidos de Río Grande el cual es **1.035,1** BTU/pie³ considerando que estas instalaciones se encuentran en operación continua.

En este sentido, conociendo el Poder Calorífico precedente se realizan los cálculos de los poderes caloríficos de los combustibles convencionales de Bolivia, para conocer y analizar esta variable termodinámica estableciendo la equivalencia de energía como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8

Relación de equivalencia energía con combustibles

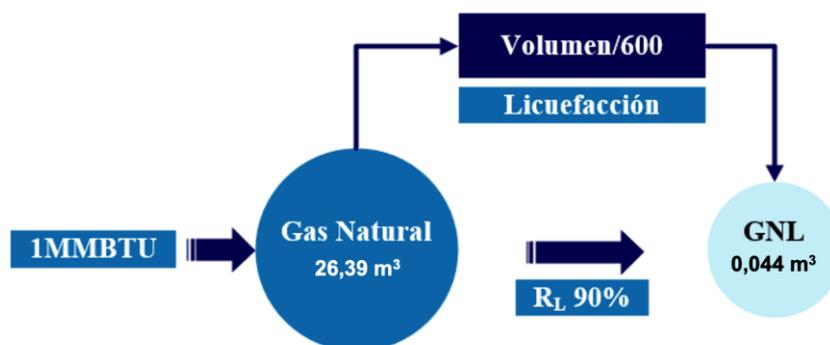
Energía (MMBTU)	GN (m ³)	GNL (m ³)	GLP (gal)	GASOLINA (gal)	DIESEL (gal)
1	26,389	0,044	10,310	7,972	7,631

Nota: Elaboración propia con base a información de Gaz France

Es importante prestar atención a la Tabla 8 que explica que para la producción de 1 MMBTU (Millones de BTU) de energía se necesitan **26,39** m³ de Gas Natural en estado gaseoso el cual equivale a un volumen de **0,044** m³ de GNL en estado líquido.

Ilustración 18

Esquema de Licuefacción de volumen de GNL

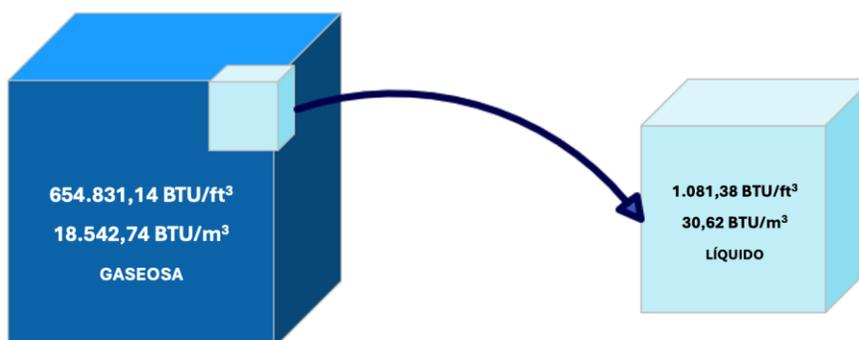


Nota: Elaboración propia con base a información de Gaz France

En relación al Planta de GNL implementado en el Estado Plurinacional de Bolivia, considerando los datos establecidos en la Tabla 8, se demuestra que existe un rendimiento medio ($R=90\%$) en todo el proceso de licuefacción del Gas Natural como se aprecia en la Ilustración 18 para la obtención de GNL, asumiendo que un 10% de Gas Natural que ingresa a la Planta de GNL es destinado para servicios auxiliares o como fuente de energía para la producción del mismo, esto deriva directamente al tipo de tecnología *Ciclo Dual de Expansión de Nitrógeno – N₂* con la que cuenta la Planta de GNL para su la producción teniendo como objetivo reducir en 600 veces su volumen desde su estado original a un estado líquido.

Ilustración 19

Esquema de energía por unidad de volumen del GNL en fases.



Nota: Elaboración propia con base a información de Gaz France

Conforme la Tabla 8 se conoce los datos equivalentes de energía del GNL y de combustibles convencionales por 1 MMBTU de energía, bajo estos valores se procede a realizar el cálculo del *Poder Calorífico* de cada uno de ellos para su evaluación y determinar la cantidad de energía por unidad de masa.

PODER CALORÍFICO DEL GNL

$$0,044 \text{ m}^3 = 11,61894 \text{ gal}$$

Entonces:

$$\frac{1 \text{ MMBTU}}{11,61894} \times \frac{1 \text{ Gal}}{3,78541 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{0,000001 \text{ MMBTU}} \times \frac{0,251995 \text{ Kcal}}{1 \text{ BTU}} = 5.729,50 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \quad (\text{Ec. 3})$$

La Densidad del GNL de la Planta de GNL promedio es $441 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,441 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$

$$5.729,50 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{0,441 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1.000 \text{ gr}} = 12,99 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr}} \quad (\text{Ec. 4})$$

En el D.S. 2159 se establecen todas las condiciones técnicas y de seguridad para la producción de GNL en la Planta de GNL, bajo este precedente normativo y para fines evaluativos del GNL con relación a los combustibles convencionales del Estado Plurinacional de Bolivia los cuales, conforme D.S. 4718 del 18 de mayo de 2022 “Reglamento de Calidad de Carburantes” se establecen condiciones y parámetros de técnicos que aportan a los cálculos de *Poder Calorífico* en la unidad de BTU/lb.

En este sentido el resultado Ec. 4 del GNL se encuentra en Kcal/gr mismo que debe estar bajo unidad de BTU/lb:

$$12,99 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr}} \times \frac{1 \text{ gr}}{0,0022 \text{ lb}} \times \frac{3,96576 \text{ BTU}}{1 \text{ Kcal}} = 23.414,23 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \text{ (Ec. 5)}$$

$$23.414,23 \frac{\text{lb}}{0,00045 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ ton}}{2,25 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{35,3147 \text{ pie}^3} = 654.831,14 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3} \text{ Gaseoso (Ec. 6)}$$

$$654.831,14 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{600} = 1.081,38 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3} \text{ líquido (Ec. 7)}$$

$$1.081,38 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3} \approx 1.035,16 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3} \text{ licuado (Ec. 8)}$$

Y su equivalencia en BTU/m³:

$$30,62 \frac{\text{BTU}}{\text{m}^3} \approx 29,31 \frac{\text{BTU}}{\text{m}^3} \text{ licuado (C. 8)}$$

En la Ec. 6 se observan los resultados de la cantidad de energía liberada cuando un volumen de GNL pasa a ser regasificado, el cual se aprecia en la Ilustración 19 en las fases Gas-Líquido, por otro lado en la ecuación Ec. 8 los valores calculados de *Poder Calorífico* de la Tabla 8 del Gas Natural residual de la Planta de Separación de Líquidos de Rio Grande con el resultado de la Ec.7 tiene similitudes en el orden de valores, verificando de esta manera la cantidad de energía que existe en la composición del Gas Natural que ingresa a la Planta de GNL en BTU/m³.

PODER CALORÍFICO DEL GAS LICUADO DE PETRÓLEO - GLP

$$\frac{1 \text{ MMBTU}}{10,310339 \text{ Gal}} \times \frac{1 \text{ Gal}}{3,78541 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{0,000001 \text{ MMBTU}} \times \frac{0,251995 \text{ Kcal}}{1 \text{ BTU}} = 6.461,41 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \text{ (Ec. 8)}$$

La Densidad del GLP promedio boliviano es de: $560 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,56 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$

$$6.461,41 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{0,56 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1.000 \text{ gr}} = 11,53 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr}} \text{ (Ec. 10)}$$

El D.S. 4718 de Calidad de Carburantes, establece para el cálculo del poder calorífico del GLP el método ASTM D-3588 en unidades de BTU/lb:

$$11,53 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr}} \times \frac{1 \text{ gr}}{0,0022 \text{ lb}} \times \frac{3,96576 \text{ BTU}}{1 \text{ Kcal}} = 20.799 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \text{ (Ec. 11)}$$

CÁLCULO PODER CALORÍFICO DE LAS GASOLINAS

$$\frac{1 \text{ MMBTU}}{7,972238 \text{ Gal}} \times \frac{1 \text{ Gal}}{3,78541 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{0,000001 \text{ MMBTU}} \times \frac{0,251995 \text{ Kcal}}{1 \text{ BTU}} = 8.399,83 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \text{ (Ec. 12)}$$

La densidad de las Gasolinas promedio boliviano es $707 \frac{kg}{m^3} = 0,70 \frac{kg}{L}$

$$8.399,83 \frac{Kcal}{L} \times \frac{1 L}{0,70 Kg} \times \frac{1 Kg}{1.000 gr} = 11,88 \frac{Kcal}{gr} \quad (Ec. 13)$$

Expresado en unidades de BTU/lb:

$$11,88 \frac{Kcal}{gr} \times \frac{1 gr}{0,002 lb} \times \frac{3,96576 BTU}{1 Kcal} = 21.416,82 \frac{BTU}{lb} \quad (Ec. 14)$$

CÁLCULO PODER CALORÍFICO DEL DIESEL OIL

$$\frac{1 MMBTU}{7,63185 Gal} \times \frac{1 Gal}{3,78541 L} \times \frac{1 BTU}{0,000001 MMBTU} \times \frac{0,251995 Kcal}{1 BTU} = 8.999,82 \frac{Kcal}{L} \quad (Ec. 15)$$

La Densidad del Diésel Oíl promedio boliviano es de: $812 \frac{kg}{m^3} = 0,812 \frac{kg}{L}$

$$8.689,48 \frac{Kcal}{L} \times \frac{1 L}{0,812 Kg} \times \frac{1 Kg}{1000 gr} = 11,08 \frac{Kcal}{gr} \quad (Ec. 16)$$

Expresado en unidades de BTU/lb:

$$11,49 \frac{Kcal}{gr} \times \frac{1 gr}{0,002 lb} \times \frac{3,96576 BTU}{1 Kcal} = 19.979 \frac{BTU}{lb} \quad (Ec. 17)$$

Tabla 9

Energía por Unidad de Volumen y Masa

PRODUCTO	Kcal/L	Kcal/gr	BTU/lb	MJ/kg
DIÉSEL OIL	8.999,82	11,28	19.979	46,46
GASOLINA	8.399,83	11,88	21.417	49,80
GLP	6.461,41	11,53	20.799	48,36
GNL	5.729,50	12,99	23.414	54,45

Nota: Elaboración propia

Se puede observar en la Tabla 9 que conforme los resultados obtenidos de los cálculos realizados del *Poder Calorífico*, el GNL producido en la Planta de Río Grande en comparación a los combustibles convencionales del país tendría más energía en una unidad de masa.

Estudio Energético de los Volúmenes de Transporte de Gas Natural Licuado - GNL

Es importante identificar la cantidad de energía que Transporta una cisterna de GNL en unidad de un volumen, con relación al transporte convencional que tienen los combustibles líquidos en el país, esta comparación por cantidad de energía transportada, permite determinar la cantidad de energía de GNL transportado en relación a los combustibles convencionales.

La Planta de GNL de Río Grande cuenta con una Unidad de Cargadero de Cisternas GNL, siendo una parte fundamental de la cadena de suministro del GNL.

CÁLCULO DE ENERGÍA DE UNA CISTERNA DE 22 TM DE DIÉSEL OIL

$$19.979 \frac{BTU}{lb} \times \frac{1 lb}{0,00045 TM} = 44 \frac{MMBTU}{TM} \quad (C. 18)$$

De manera que una cisterna de 22 TM de Diésel Oil tiene:

$$44,391 \frac{MMBTU}{TM} \times 22 TM = 976 MMBTU \quad (C. 19)$$

CÁLCULO DE ENERGÍA EN UNA CISTERNA DE 22 TM DE GASOLINA

$$21.417 \frac{BTU}{lb} \times \frac{1 lb}{0,00045 TM} = 47 \frac{MMBTU}{TM} \quad (Ec. 20)$$

De manera que una cisterna de 22 TM de Gasolina tiene:

$$47 \frac{MMBTU}{TM} \times 22 TM = 1.000 MMBTU \quad (Ec. 21)$$

CÁLCULO DE ENERGÍA DE UNA CISTERNA DE 22 TM DE GLP

$$20.799 \frac{BTU}{lb} \times \frac{1 lb}{0,00045} = 46 \frac{MMBTU}{TM} \quad (Ec. 22)$$

De manera que una cisterna de 22 TM de GLP tiene:

$$46 \frac{MMBTU}{TM} \times 22 TM = 1.008 MMBTU \quad (Ec. 23)$$

CÁLCULO DE ENERGÍA DE UNA CISTERNA DE 22 TM DE GNL

$$23.414 \frac{BTU}{lb} \times \frac{1 lb}{0,00045} = 52 \frac{MMBTU}{TM} \quad (Ec. 24)$$

Entonces una cisterna de 22 TM de GNL tiene:

$$52 \frac{MMBTU}{TM} \times 22 TM = 1.145 MMBTU \quad (Ec. 25)$$

conforme los cálculos realizados se puede observar los resultados obtenidos en la Tabla 9 en unidad de energía transportada en MMBTU equivalente a de 22 TM

Tabla 10

Cantidad de Energía - Cisterna de 22 TM

PRODUCTO	22 TM = ... MMBTU
Diésel	976
Gasolina	1.000
GLP	1.008

PRODUCTO	22 TM = ... MMBTU
GNL	1.145

Nota: Elaboración propia.

Conforme datos de la Tabla 10 se concluye que una cisterna de GNL transporta 12% más energía que el GLP, 13% más que la Gasolina y 15% más que el Diésel Oil a una cantidad equivalente de 22 TM, datos que se aprecian en la Ilustración 20:

Ilustración 20

Cantidad de Energía Comparativa en Porcentaje



Nota: Elaboración propia.

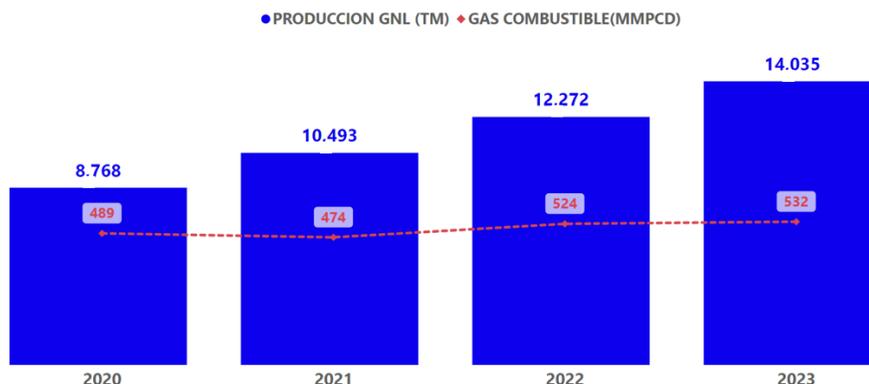
Diagnóstico de la Comercialización de Gas Natural

La planta de GNL de Rio Grande tiene una capacidad instalada de diseño para una producción de 210 TMD (525 m³/día) (Operación al 100%) lo que equivale a un caudal aproximado de 12,7 MM pie³/día (362.400 m³/día aprox.) de Gas Natural.

El comportamiento de producción de la Planta de GNL durante las últimas gestiones se observa en la ilustración 21.

Ilustración 21

Producción de GNL y empleo de Gas Combustible



Nota: Elaboración propia con información de YPFB.

La producción operativa promedio de la Planta de GNL tuvo una flexibilidad para atender cualquier requerimiento adicional o incremento de demanda, permitiendo así ajustarse de manera eficiente a las variaciones en el consumo. Sin embargo, es importante señalar que la importancia de mantener un equilibrio óptimo entre la capacidad disponible y la demanda del mercado debe ser evaluada de acuerdo a la necesidad de requerimiento de los municipios donde se comercializa Gas Natural para garantizar un funcionamiento eficiente y sostenible a largo plazo.

Con relación a las distancias en Kilómetros desde el origen de Producción considerada la Planta de GNL de Rio Grande hasta los puntos de comercialización que son las ERs en el territorio nacional, se observa en la siguiente Tabla 11 las distancias de las 27 ERs emplazadas en diferentes municipios del Estado Plurinacional de Bolivia.

Tabla 11

Distancia y tiempo de viaje desde la Planta GNL hasta las ERs

Estación de regasificación	Ubicación	Distancia (km)	Tiempo	Días Viaje
Achacachi	Achacachi, La Paz	978	18h 57min	4
Ascensión de Guarayos	Ascensión de Guarayos, Santa Cruz	355	5h 50min	2
Cabezas	Cabezas, Santa Cruz	97	2h 7min	2
Caranavi	Caranavi, La Paz	1044	18h 49min	4
Challapata	Challapata, Oruro	802	16h 5min	4
Cobija	Cobija, Pando	1773	35h	6
Copacabana	Copacabana, La Paz	1040	20h	4
Coroico	Coroico, La Paz	1017	20h 28 min	4
Desaguadero	Desaguadero, La Paz	905	17h 40min	4
Guanay	Guanay, La Paz	1112	20h 47min	4
Guayaramerín	Guayaramerín, Beni	1581	29h	4
Huanuni	Huanuni, Oruro	784	15h 36min	4
Llallagua	Llallagua, Potosí	829	16h 23min	4
Mora	Estación de Servicio Mora YPFB	58,1	1 h 23 min	2
Riberalta	Riberalta, Beni	1,493	28 h	4
Roboré	Roboré, Santa Cruz	529	10 h 33 min	2
Rurrenabaque	Rurrenabaque, Beni	992	16 h 35 min	4
San Borja	San Borja, Beni	840	13 h 48 min	2
San Ignacio de Moxos	San Ignacio de Moxos, Beni	702	11 h 40 min	2
San Ignacio de Velasco	San Ignacio de Velasco, Santa Cruz	514	8 h 40 min	2

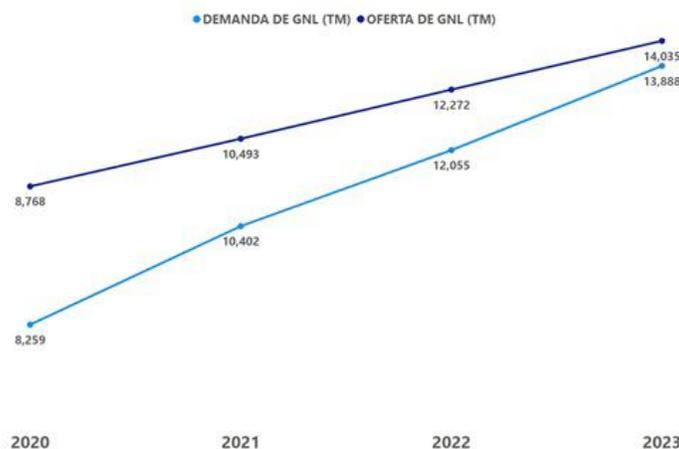
Estación de regasificación	Ubicación	Distancia (km)	Tiempo	Días Viaje
San José De Chiquitos	San José de Chiquitos, Santa Cruz	511	8 h	2
San Julián	San Julián Santa Cruz	201	3h 33 min	2
Santa Ana De Yacuma	Santa Ana De Yacuma	788	14h 2min	2
Trinidad	Trinidad, Beni	606	9 h 18 min	2
Tupiza	Tupiza, Potosí	844	15 h 44 min	2
Uyuni	Uyuni, Potosí	887	17 h 21 min	4
Villazón	Villazón, Potosí	824	15 h 20 min	2

Nota: Elaboración propia con base a información de YPF B

La oferta de GNL se origina a partir de la producción diaria de la Planta de GNL. Por otro lado, la demanda real se refleja en los consumos de Gas Natural regasificado por parte de diversos usuarios, clasificados por categorías que incluyen segmentos industrial, comercial, domiciliario y GNV.

Ilustración 22

Producción de GNL vs Consumo Gas Natural Regasificado



Nota: Elaboración propia con base a información de YPF B

En la Ilustración 22 se observa una tendencia donde la oferta ha mantenido una trayectoria ascendente para satisfacer una demanda en constante crecimiento de Gas Natural regasificado. Los datos, expresados en TM, indican que la oferta de GNL ha sido estratégicamente gestionada para cubrir la creciente demanda del mercado.

La Ilustración 22 ofrece una perspectiva cuantitativa precisa de este fenómeno, destacando la robustez y la adaptabilidad del sistema para ajustarse a las variaciones

estacionales y las dinámicas cambiantes del consumo. Este ilustrativo refleja no solo el eficiente abastecimiento del mercado, sino también la capacidad de anticipación y expansión de la infraestructura de GNL para asegurar una respuesta óptima a las futuras demandas del mercado.

La línea de oferta en la Ilustración 22 exhibe un notorio aumento, particularmente impulsado por los incrementos significativos en las categorías de usuarios de gas domiciliario y GNV.

En el segmento de gas domiciliario, el aumento en la demanda sugiere una mayor disponibilidad de Gas Natural para uso residencial, posiblemente impulsado por una mayor adopción de esta fuente de energía limpia y eficiente en hogares. Este incremento puede deberse a políticas de promoción de energías más sostenibles y a la preferencia de los usuarios por el Gas Natural en lugar de otras fuentes convencionales como es el GLP.

En cuanto al GNV, el aumento en la oferta indica una respuesta a la creciente demanda de este combustible más limpio y económico para vehículos, motivado por los programas de conversión a GNV del Estado Plurinacional de Bolivia. La comercialización de Gas Natural a partir del GNL por medio de las 27 Estaciones de Regasificación ha permitido desde su implementación beneficiar a usuarios que reemplazaron el GLP como las instalaciones de gas domiciliario, y como consumo de GNV en los vehículos como se observa en la Ilustración 23.

Ilustración 23

Consumo de GNV en m³ en los municipios beneficiarios por las 27 ESR



Nota: Elaboración propia con base a información de YPFB

La ilustración anterior muestra los consumos de GNV desde el 2020 al 2023, de los EESS de GNV beneficiadas con el Gas Natural regasificado por las entregas de GNL en las Estaciones de Regasificación, se aprecia un crecimiento de la demanda con relación a cada gestión.

De la misma manera, desde la implementación de la planta de GNL a través de las 27 ERs, se tuvo un crecimiento considerable en el número de usuarios de Gas Natural en la categoría doméstica como se observa en la Ilustración 24.

Ilustración 24

Consumo de Gas Natural en m³ Categoría Doméstica en los Municipios Beneficiarios por las 27 ESR



Nota: Elaboración propia con base a información de YPF B

Al respecto del consumo, al cierre de la gestión 2023 se reportaron un total de 55.562 usuarios habilitados lo cual representa un crecimiento del 4% con respecto a la anterior.

Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

La comercialización del Gas Natural regasificado a partir de la planta de GNL en comparación con los combustibles convencionales se presenta como una estrategia fundamental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con la generación de energía. La sustitución de los combustibles convencionales por el Gas Natural como energía es sostenible, no solo puede tener un impacto positivo en la reducción de emisiones de GEI, sino que también puede ser un catalizador para la innovación en el sector energético.

Para el cálculo de la emisión de CO₂ se tomarán dos escenarios:

Los volúmenes de Gas Natural regasificado para el uso como GNV y GLP, el volumen equivalente a combustibles convencionales, y considerando el Factor de Emisión de CO₂ como la cantidad de emisiones de CO₂ producidas por unidad de energía liberada durante la combustión del combustible, de la gasolina 2,721 kgCO₂/L y del GLP 1,5 kgCO₂/L¹⁴ y un factor de conversión de KBep a KWh¹⁵, se calcula a continuación:

Para GNV durante la gestión 2023 se tuvo un consumo de GNV en las zonas de incidencia de las 27 ESR igual a 7,3 MMm³:

$$V_{GNV} = 7,3 \text{ MMm}^3 * \frac{5,9806 \text{ Kbep}}{1 \text{ MMm}^3 \text{ GNV}} * \frac{0,8934 \text{ KBbl GES}}{1 \text{ Kbep}} * \frac{158,987 \text{ m}^3 \text{ GES}}{1 \text{ KBbl GES}} = 6.228,818 \text{ m}_{GES}^3 \text{ (Ec. 26)}$$

1) Emisiones de GEI a partir de combustibles convencionales sin sustitución de Gas Natural regasificado como GNV:

$$V_{GE} = 6.228,818 \text{ m}^3 * \frac{1.000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} ** \frac{2,7 \text{ KgCO}_2}{\text{L}} * \frac{1 \text{ TMCO}_2}{1.000 \text{ KgCO}_2} = 16.817,809 \text{ TMCO}_2 \text{ (Ec. 27)}$$

Para la gestión 2023, sin la aplicación del Gas Natural regasificado como GNV, los vehículos que consumirían un volumen de gasolina igual a 6.228,818 m³ generarían una emisión de CO₂ igual a 16.817,809 TM.

2) Emisiones de GEI con sustitución de Gas Natural regasificado en el uso de Gasolinaz:

$$V_{GNV} = 7,3 \text{ MMm}^3 * \frac{5,9806 \text{ Kbep}}{1 \text{ MMm}^3} * \frac{1.162.820 \text{ KWh}}{1 \text{ Kbep}} * \frac{0,182 \text{ KgCO}_2}{\text{KWh}} * \frac{1 \text{ TnCO}_2}{1.000 \text{ KgCO}_2} \\ = 9.280,726 \text{ TMCO}_2 \text{ (Ec. 28)}$$

Para la gestión 2023, con la aplicación del Gas Natural regasificado como GNV, los vehículos consumieron un volumen de 7,3 MMm³ que generarían una emisión de CO₂ igual a 9.280,726 TM.

¹⁴ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (junio de 2023). Factores de Emisión: Registro de Huella de Carbono, Compensación y Proyectos de Absorción de Dióxido de Carbono. Oficina Española de Cambio Climático.

¹⁵ UnitJuggler. (s.f.). Energy - Convert KBOE to kWh. Recuperado de <https://www.unitjuggler.com/energy-convertir-kboe-a-kWh.html>.

Producto del reemplazo de Gasolina por GNV se reducen 7.537,082 TM de CO₂ que representa una reducción del 45%.

Para Gas Natural domiciliario, durante la gestión 2023 se tuvo un consumo de 9,545 MMm³ equivalentes a una comercialización de 707.678 Garrafas de 10 Kg:

$$V_{GN} = 9,545 \text{ MMm}^3 * \frac{5,9806 \text{ KBep}}{1 \text{ MMm}^3 \text{ GN}} * \frac{1 \text{ KBbl GLP}}{0,67010 \text{ KBep}} * \frac{158.987 \text{ L GLP}}{1 \text{ KBbl GLP}}$$

$$= 20.316,10 \text{ L GLP}; 0,5225 \frac{\text{kg}}{\text{L}}; 707.678 (10\text{Kg})\text{Garrafas (Ec. 29)}$$

3) Emisiones de GEI a partir de combustibles convencionales sin sustitución de GLP por gas natural domiciliario:

$$V_{GLP} = 13.544.067,9 \text{ L} * \frac{1,5\text{KgCO}_2}{\text{L}} * \frac{1\text{TMCO}_2}{1.000\text{KgCO}_2} = 20.316,10 \text{ TMCO}_2 \text{ (Ec. 30)}$$

Para la gestión 2023, sin la aplicación del Gas Natural regasificado como GLP, los usuarios de gas natural generarían una emisión de CO₂ igual a 20.316,10 TM.

4) Emisiones de GEI con sustitución de GN regasificado en el uso del GLP:

$$V_{GN} = 9,545\text{MMm}^3 * \frac{5,9806 \text{ KBep}}{1\text{MMm}^3} * \frac{1.62.820\text{KWh}}{1\text{Kbep}} * \frac{0,182\text{KgCO}_2}{\text{KWh}} * \frac{1\text{TMCO}_2}{1.000\text{KgCO}_2}$$

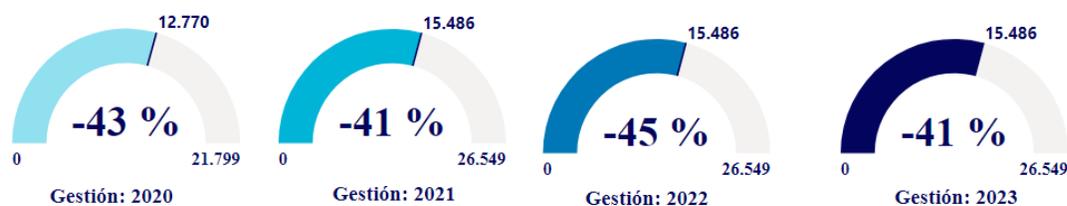
$$= 12.081,226 \text{ TMCO}_2 \text{ (Ec. 31)}$$

Para la gestión 2023, con la aplicación del Gas Natural regasificado a gas domiciliario, se generarían una emisión de CO₂ igual a 12.081,226 TM.

Producto del reemplazo de GLP por Gas Natural regasificado se reducen 8.234,876 TM de CO₂ que representa una reducción del 41%. Aplicando la metodología para los siguientes periodos de estudio, se obtienen los resultados detallados en la siguiente Ilustración 25.

Ilustración 25

Reducción en Emisiones de CO₂ por gestión



Nota: Elaboración propia

Como resultado de la transición de GLP y GNV a Gas Natural regasificado, se logra una significativa disminución de 49.331,49 TM de Dióxido de Carbono (CO₂). Esta notable reducción del 43% en las emisiones de gases de efecto invernadero refleja el impacto positivo y sostenible de la adopción del Gas Natural regasificado como fuente de energía. Este cambio no solo demuestra un compromiso con prácticas más amigables con el medio ambiente, sino que también subraya la importancia de buscar alternativas energéticas más limpias y eficientes.

Resultados

RESULTADO 1: Condiciones de Operación y Logística de Provisión de GNL en Bolivia

La Planta de GNL fue puesta en servicio en la gestión 2016, identificando que su régimen operativo y producción es directamente proporcional a la demanda que se registra en las ERs, toda vez que según los datos históricos se presentan incrementos conforme fueron habilitadas las poblaciones beneficiarias, destacando que en la última gestión se tuvo un crecimiento del 17% anual y totalizando su producción en 65,5 M TM de GNL (149,4 m³). Es importante considerar que además de la planta en la actualidad registra operabilidad para brindar mayor continuidad de servicio, y evitar paros por alto stock y pérdidas por evaporación del fluido por su naturaleza criogénica.

Tabla 12

Cuantificación Producción y Entregas de GNL

Gestión	Entregas (TM)	Producción (TM)	Tasa de Crecimiento de producción (%)
2016	709	1.285	
2017	3.845	4.214	228
2018	6.055	6.860	63
2019	7.209	7.580	11
2020	8.259	8.768	16
2021	10.402	10.493	20
2022	12.055	12.272	17
2023	13.888	14.035	14

Nota: Elaboración Propia

RESULTADO 2: Comercialización del Gas Natural a partir del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia

Las 27 Estaciones de Regasificación se encuentran operando en su totalidad, de las cuales 16 tienen la capacidad de proveer Gas Natural Comprimido para uso vehicular según su diseño, sin embargo, a la fecha operan 9 de ellas están entregando producto a la Estación de

GNV adyacente, siendo los beneficiados con este producto más de 90.000 vehículos¹⁶. No obstante, la totalidad de las ERs, entregan producto para consumo domiciliario.

Tabla 13*Comercialización de Gas Natural por Categoría desde las ERs*

Gestión	GNV (Sm3)	Gas Domiciliario (Sm3)	Usuarios domésticos
2020	1.962.697	8.126.770	47.662
2021	3.076.178	9.158.672	51.728
2022	5.301.994	9.293.190	53.347
2023	7.319.156	9.547.127	55.562

Nota: Elaboración propia

Durante los últimos 4 años Los consumos totalizados refieren 17,7 MM m³ a la categoría GNV y 36,2 MM m³ a Red doméstica, dando un total de 53,9 MM m³ de los cuales se identificó que el 36% del consumo corresponde a Santa Cruz (7 ERs), seguido Potosí (4 ERs) ponderando un 31%, Oruro con un 12% (2 ERs), La Paz 12% (6 ERs), Beni 7% (7 ERs) y Pando (1 ER) el restante 1%. Estos volúmenes ponderan que para el caso del Occidente: Potosí y Oruro el consumo refleja la demanda de los usuarios de la red primaria, en tanto que el Oriente representa mayor consumo el parque automotor con uso de GNV, incidiendo que este aspecto se debe a factores propios de la geografía de esa parte del país conforme la Tabla 14.

Tabla 14*Comercialización de Gas Natural totalizada por Departamento y Estación de Regasificación*

Departamento	Estación de regasificación	Gas Domiciliario (Sm3)	GNV (Sm3)
Beni	Guayaramerín	341.117	-
	Riberalta	1.363.674	-
	Rurrenabaque	394.272	-
	San Borja	403.528	-
	San Ignacio De Moxos	128.195	-
	Santa Ana De Yacuma	158.189	-
	Trinidad	1.204.899	-
	Achacachi	1.775.218	1.473.982
La Paz	Caranavi	987.592	-
	Copacabana	542.406	-
	Coroico	259.704	-
	Desaguadero	388.278	736.324
	Guanay	229.106	-

¹⁶ Vehículos que consumieron GNV durante la gestión 2023 – Sistema B-SISA, Agencia Nacional de Hidrocarburos

Departamento	Estación de regasificación	Gas Domiciliario (Sm3)	GNV (Sm3)
Oruro	Challapata	2.726.426	968.610
	Huanuni	2.533.319	199.624
Pando	Cobija	537.676	-
	Llallagua	4.666.340	-
Potosí	Tupiza	4.139.535	-
	Uyuni	3.121.659	-
	Villazón	5.048.790	-
	Ascensión de guarayos	895.447	2.164.082
	Cabezas	363.952	1.783.586
Santa Cruz	Mora	273.123	1.077.137
	Roboré	640.669	-
	San Ignacio de Velasco	1.219.789	-
	San José de chiquitos	650.493	2.504.072
	San Julián	1.236.289	6.824.020

Nota: Elaboración propia

RESULTADO 3: Características Termodinámicas del GNL en Comparación con Combustibles Convencionales

Eficiencia energética del GNL en comparación con combustibles convencionales.

Según la data analizada en la Tabla 6, se puede inferir que una cisterna de GNL transporta significativamente más energía en comparación con otros combustibles convencionales. Específicamente, al considerar una masa equivalente de 22 TM, se observa que el GNL supera al Gas Licuado de Petróleo (GLP) en un 12%, a la Gasolina en un 13%, y al Diésel Oil en un 15%.

Estos resultados sustentan que la eficiencia energética del GNL en comparación con alternativas más tradicionales transporta más energía. La magnitud de la diferencia resalta la ventaja que posee el GNL en términos de densidad energética, lo que lo convierte en una opción destacada para el transporte de grandes volúmenes de energía.

Emisiones de CO₂ del GNL en comparación con otros combustibles.

La transición de GLP y gasolinas a GNV a Gas Natural regasificado demuestra una significativa disminución de las emisiones de GEI. Esta reducción del 43% en promedio, en las gestiones 2020 al 2023, refleja el impacto positivo y sostenible de adoptar el Gas Natural regasificado como fuente de energía, respaldando la importancia de buscar soluciones más limpias y eficientes en la lucha contra el cambio climático.

RESULTADO 4: Indicadores de eficacia de la comercialización del Gas Natural a partir de GNL en relación con la transformación de la matriz energética, en reemplazo a los combustibles convencionales en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Contribución de la comercialización de Gas Natural a partir del GNL en la diversificación de la matriz energética.

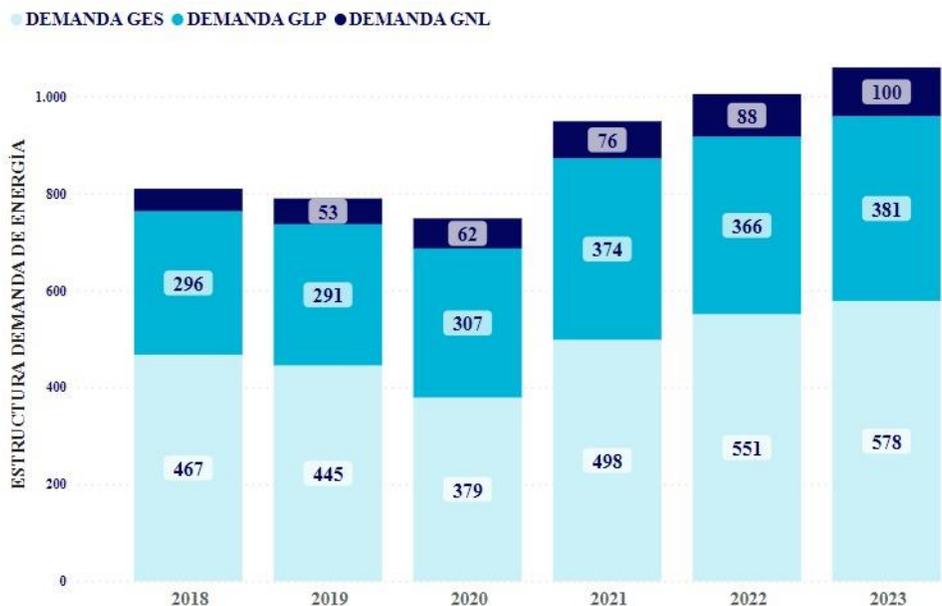
Desde la gestión 2020 hasta 2023, se convirtieron los volúmenes de Gasolinas en metro cúbico, GLP en toneladas métricas y GNL en metro cúbico, de la demanda de los municipios de las 27 Estaciones de Regasificación a metros cúbicos equivalentes de Gas Natural y a su equivalente en Barriles Equivalentes de Petróleo, lo que permite evaluar la participación del Gas Natural a partir del GNL en la matriz energética.

El GNL es una alternativa más limpia y menos contaminante en comparación de las Gasolinas y el GLP, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la mejora de la calidad del aire en los municipios o zonas de influencia de las 27 ER. Además, el GNL es una fuente de energía más eficiente en términos de consumo y aprovechamiento de recursos, lo que conduce a una mayor eficiencia energética en el transporte y otros sectores relevantes como se mostró en capítulos anteriores.

La introducción del GNL en el Estado Plurinacional de Bolivia ha permitido diversificar la oferta de combustibles líquidos, reduciendo la dependencia de fuentes tradicionales y promoviendo la seguridad energética. Además, el GNL ha demostrado ser una opción más económica en términos de costos de combustible en la comercialización de Gas Natural en el área de influencia como se observa en el Ilustrativo 26, lo que beneficia tanto a los consumidores como a las empresas. Además, la infraestructura de regasificación asociada al plan de GNL ha generado nuevas oportunidades de empleo y desarrollo económico en los municipios, fortaleciendo la sostenibilidad y el progreso local.

Ilustración 26

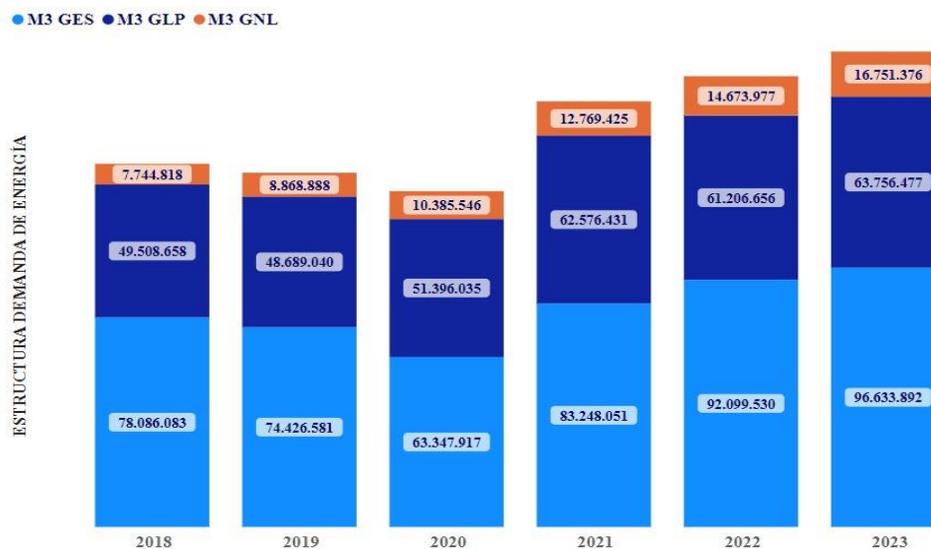
Participación del GNL en la matriz energética en KBEP



Nota: Elaboración propia

Ilustración 27

Participación del GNL en la matriz energética en m3 equivalentes



Nota: Elaboración propia

En términos de participación o contribución del Gas Natural a partir del GNL en la matriz energética, para el 2020, fue de 2 %, para el 2021 fue de 2,5%, 2022 fue de 3 % y para el cierre

de la gestión 2023, un 5 %. La inclusión del GNL en la matriz energética ha demostrado ser beneficiosa en términos de diversificación, eficiencia, sostenibilidad y desarrollo económico.

Índice de reemplazo de la comercialización de Gas Natural a partir del GNL a combustibles convencionales.

El Índice de Reemplazo de la comercialización de Gas Natural a partir del GNL para efectos de la presente investigación es una medida que cuantifica la proporción de Gasolina y GLP que se sustituye por el Gas Natural a partir del GNL en un determinado período de tiempo. Este índice se calcula mediante la conversión de los volúmenes de Gasolina y GLP a metros cúbicos equivalentes de Gas Natural y comparando dicho volumen con el suministro de Gas Natural a partir del GNL utilizado en su lugar en el periodo 2020 a 2023. Un índice de reemplazo alto indica una mayor dependencia del Gas Natural a partir del GNL como fuente de energía en comparación con los combustibles convencionales. Esta conversión se basa en los factores de conversión aceptados internacionalmente para cada combustible, que tienen en cuenta las diferencias en la densidad energética establecidos por la OLADE.

El índice de reemplazo se define como el cociente entre el volumen en metros cúbicos equivalente de Gas Natural a partir GNL, y la demanda de GLP y GES en metros cúbicos equivalentes de Gas Natural.

$$I_i = \frac{GNL_i}{GLP_i + GES_i} \text{ (Ec. 32)}$$

Tabla 15

Índice de Reemplazo de GLP, GES y GN a partir del GNL

GESTIÓN	ÍNDICE
2020	9,1%
2021	8,8%
2022	9,6%
2023	10,4%

Nota: Elaboración propia en base a datos de la Ilustración 27

En la Tabla 14, se expresan los resultados calculados del índice de reemplazo para cada gestión, los datos para el cálculo se determinan en base a la ilustración 27, del anterior acápite.

El Índice de Reemplazo proporciona una medida cuantitativa del grado en que el Gas Natural a partir del GNL ha sustituido a la Gasolina y al GLP como fuentes de energía. Durante el período de gestión entre 2020 y 2023, se observó un aumento en el índice de reemplazo, lo que indica una mayor adopción y preferencia por parte de los usuarios en general. Estos hallazgos respaldan la importancia del GNL como una alternativa viable y sostenible en la transformación de la matriz energética de Bolivia.

Conclusiones

El régimen operativo y producción de la Planta de GNL incrementó de forma gradual desde su puesta en operación hasta alcanzar el 15% anual en la última gestión, conforme el crecimiento de la demanda de Gas Natural en las 27 Estaciones de Regasificación, lo cual demuestra que el impacto fue positivo para satisfacer la demanda creciente de combustibles convencionales en las zonas beneficiadas.

A partir de la comercialización de Gas Natural en las 27 poblaciones de las Estaciones de Regasificación se beneficiaron 260.000 personas y 90.000 vehículos del parque automotor, registrando consumos de 17,7 MM m³ para red doméstica y 36,2 para GNV con corte a la gestión 2023, evidenciando que estos volúmenes incidieron en la sustitución de los combustibles convencionales. Es importante considerar que el uso de Gas Natural se pondera en mayor proporción en el occidente para Red Domiciliaria (Potosí, Oruro y La Paz) en tanto que para el oriente presenta mayor demanda en GNV debido a su geografía.

El análisis detallado de las propiedades termodinámicas del gas natural, junto con su proceso de licuefacción y transporte, demuestra que el GNL boliviano tiene un mayor contenido energético en comparación con el GLP (más del 15%), gasolina (más del 13%) y diésel (más del 12%) que se traduce en una mayor eficiencia energética. Con relación a los aspectos medioambientales del gas natural a partir del GNL puede tener un impacto positivo en la reducción de las emisiones de GEI. Según los cálculos realizados, la transición del GLP y GNV al gas natural de la Planta de GNL, podría reducir las emisiones de CO₂ en 49.331,49 Ton, es decir, una reducción del 43%, durante el periodo 2020 a 2023, lo que demuestra el potencial del gas natural como una alternativa más limpia y sostenible.

La comercialización de gas natural a partir del GNL en la matriz energética de combustibles líquidos ha demostrado ser beneficiosa en términos de diversificación, eficiencia, sostenibilidad y desarrollo social. La participación en relación con la matriz energética para el 2020, fue de 2 %, para el 2021 fue de 2,5%, 2022 fue de 3 % y para el cierre de la gestión 2023, un 5 %. Respecto al índice de reemplazo, se observó un aumento de 12 % comparando la gestión 2022 y 2023, lo que indica una mayor adopción y preferencia por parte de los usuarios en general que respalda la importancia del GNL como una alternativa viable y sostenible en la transformación de la matriz energética del Estado Plurinacional de Bolivia.

Recomendaciones para Futuras Investigaciones

Se recomienda revisar las alternativas para la habilitación y comercialización de GNV de las Estaciones de Servicio adyacentes a las Estaciones de Regasificación conforme normativa vigente, toda vez que la misma podría considerarse una nueva tecnología en aplicación al no disponer de un compresor como las estaciones convencionales, así mismo se deberá evaluar a mayor detalle los factores que inciden en el uso del GNV, puesto que esta categoría supone el incremento más notable en la última gestión al ser un reemplazo a los combustibles líquidos.

Se recomienda realizar un análisis detallado de los factores económicos y regulatorios que impulsan el crecimiento y la adopción del gas natural licuado (GNL) en la matriz energética de combustibles líquidos de Bolivia para examinar las políticas gubernamentales y los incentivos económicos que respaldan la comercialización del gas natural a partir del GNL, así como el impacto en la generación de empleo, el crecimiento económico y la competitividad en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Capítulo IV: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

Introducción

En el contexto actual de la necesidad de transición hacia fuentes de energía más sostenibles, la transformación de la matriz energética se ha convertido en un objetivo primordial en muchos países. Esta propuesta se centra en el desarrollo de políticas orientadas al impulso del consumo de Gas Natural de la Planta de GNL, para su aplicación en la expansión de redes de gas y nuevas tecnologías dual fuel en vehículos de transporte pesado y GNV para vehículos de transporte liviano, con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes y promover la eficiencia energética.

El incremento gradual en el régimen operativo y producción de la Planta de GNL ha sido proporcional al crecimiento de la demanda de Gas Natural en las 27 Estaciones de Regasificación, lo que demuestra el impacto positivo para satisfacer la creciente demanda de combustibles convencionales en las áreas beneficiadas.

La comercialización de Gas Natural en estas estaciones ha beneficiado a una considerable cantidad de personas y vehículos del parque automotor, registrando consumos significativos tanto para uso doméstico como para el GNV. Además, este combustible puede ser aplicado en nuevas tecnologías para su diversificación en el uso del Diésel Oil para el sector transporte pesado.

Basándonos en las conclusiones mencionadas y en el trabajo previo realizado, esta propuesta se enfoca en la mejora y ampliación de las políticas existentes, la expansión de la infraestructura de GNV, gas domiciliario y la promoción de tecnologías dual fuel en el sector del transporte pesado. Estas medidas buscan maximizar los beneficios del gas natural en términos de reducción de emisiones, eficiencia energética y desarrollo sostenible, y sentar las bases para una transformación efectiva de la matriz energética en Bolivia.

Objetivo

Promover el impulso del Gas Natural de la Planta de GNL a través del desarrollo de políticas de fomento al GNV, la expansión de redes de gas y la implementación de nuevas tecnologías dual fuel.

Alcance

La propuesta abarca la implementación de políticas y medidas enfocadas en el impulso del Gas Natural de la Planta de GNL a través de la expansión de la infraestructura de GNV, gas domiciliario y la promoción de tecnologías dual fuel en el sector del transporte pesado en Bolivia. Se busca reducir las emisiones contaminantes, mejorar la eficiencia energética y contribuir a la transformación sostenible de la matriz energética del país

Resumen Ejecutivo

La propuesta tiene como objetivo principal impulsar la transformación de la matriz energética a través de políticas de fomento al Gas Natural, la expansión de redes de gas y la aplicación de tecnologías dual fuel., que se desarrollaría en 5 puntos mínimos desde el diagnóstico del uso del GNV en vehículos pesados, desarrollo de políticas y regulaciones que garanticen una masificación en la población en general y la aplicación de tecnología dual fuel para incentivar el uso de vehículos a diésel y a GNV.

Desarrollo de la Propuesta

Se plantea el siguiente desarrollo;

1. Análisis de viabilidad y beneficios del GNV en el transporte pesado:
 - Evaluar los beneficios económicos, ambientales y energéticos del uso del GNV en comparación con los combustibles convencionales.
 - Establecer criterios para la expansión de las redes de suministro de gas y determinar su viabilidad en áreas estratégicas.

2. Desarrollo de políticas y marcos regulatorios:
 - Elaborar políticas de fomento al GNV, incluyendo incentivos fiscales y financieros para la conversión de vehículos y la instalación de infraestructuras.
 - Establecer marcos regulatorios que promuevan el uso del GNV y la implementación de tecnologías dual fuel en el transporte pesado.

3. Expansión de redes de gas:
 - Identificar zonas estratégicas para la expansión de las redes de suministro de gas, considerando la demanda actual y potencial del transporte pesado.

- Establecer alianzas con empresas de gas y desarrollar acuerdos para la construcción de estaciones de servicio de GNV.
4. Aplicación de tecnologías dual fuel en vehículos de transporte pesado:
- Promover la adopción de tecnologías dual fuel en flotas de transporte pesado, permitiendo la utilización tanto de GNV como de combustibles líquidos.
 - Facilitar la capacitación y formación de conductores y técnicos en el manejo y mantenimiento de vehículos con tecnología dual fuel.
5. Monitoreo y evaluación:
- Establecer sistemas de monitoreo para evaluar el impacto de las políticas implementadas, tanto en términos de reducción de emisiones como de eficiencia energética.
 - Realizar evaluaciones periódicas de los avances y ajustar las políticas y estrategias según sea necesario.

El desarrollo de esta propuesta se basa en el enfoque integral de políticas de fomento al GNV, la expansión de redes de gas y la aplicación de tecnologías dual fuel, con el objetivo de lograr una transformación efectiva de la matriz energética en el sector del transporte pesado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baulch, D. L., Cobos, C. J., Cox, R. A., Frank, P., Hayman, G., Just, Th., et al. (2005). Evaluated Kinetic Data for Combustion Modeling: Supplement II. *J. Phys. Chem.*
- Burcat, A., Ruscic, B., & Burcat, A. (2005). Third Millennium Ideal Gas and Condensed Phase Thermochemical Database for Combustion with Updates from Active Thermochemical Tables. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 34(2), 1709-1858.
- Katz, D. L., Lee, C. M., & Rogers, W. L. (1959). *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. McGraw-Hill.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *Reporte especial: Calentamiento global de 1,5 °C. IPCC*. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Smith, P., et al. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813.
- International Energy Agency. IEA. Reporte especial; CO2 Emissions from Fuel Combustion 2020. IPCC <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-2020>
- Wang, M., et al. (2016). Well-to-wheel analysis of alternative fuel pathways for light-duty vehicles in the U.S. *Environmental Science & Technology*, 50(8), 4301-4311.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Jacobson, M. Z. (2009). Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy and Environmental Science*, 2(2), 148-173.
- Mokhatab, S., Poe, W. A., & Mak, J. Y. (2006). *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. Gulf Professional Publishing.
- Nguyen, T. H., Lee, J. S., & Kim, S. G. (2011). Review on liquefied natural gas cold energy utilization options. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*.
- Peng, X., Yang, M., Zhang, M., & Zhang, D. (2017). Review on optimization of natural gas liquefaction processes. *Energy Procedia*, 105, 4079-4084.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2010). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. McGraw-Hill.
- Speight, J. G. (2014). *Industrial Gas Handbook: Gas Separation and Purification*. Gulf Professional Publishing.

ANEXOS

Anexo A: Estructura del Consumo

Anexo B: Balance de Oferta y Demanda GNL y combustibles líquidos

Anexo C: Producción y logística de GNL

Anexo D: Balance Energético Nacional 2022 (pertenece al análisis y procesamiento de datos, hasta resultados)

Anexo E: Data del Parque Automotor INE - Boletín del Parque Automotor 2018-2023

Anexo F: Factores de Conversión de la OLADE

Anexo G: Procesamiento y Visualización de Datos Power BI

Anexo H: Hoja de Datos Cisternas Criogénicas