



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL PARA SU  
MASIFICACIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
MEDIANTE EL MÉTODO DE EQUIVALENCIA ENERGÉTICA.**

**AUTOR**

González Mendoza Leomar Isnardy

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN MODALIDAD DE INFORME DE  
INVESTIGACIÓN**

Previo a la obtención del grado académico en  
**MAGÍSTER EN PETRÓLEOS**

**TUTOR**

Mgtr. Portilla Lazo Carlos

**La Libertad, Ecuador**

**2026**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**PhD. Álvarez Acosta Roxana  
COORDINADORA DEL PROGRAMA**

---

**Mgtr. Portilla Lazo Carlos  
TUTOR**

---

**PhD. Gutiérrez Hiestroza Marllelis  
DOCENTE ESPECIALISTA**

---

**Mgtr. Malavé Carrera Carlos  
DOCENTE ESPECIALISTA**

---

**Ab. Rivera González María, Mgtr.  
SECRETARIA GENERAL  
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por LEOMAR ISNARDY GONZÁLEZ MENDOZA, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Petróleos.

**TUTOR**

---

**Mgtr. Carlos Portilla Lazo**

**02 días del mes de Febrero del año 2026**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, LEOMAR ISNARDY GONZÁLEZ MENDOZA**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL PARA SU MASIFICACIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE EL MÉTODO DE EQUIVALENCIA ENERGÉTICA, previo a la obtención del título en Magíster en Petróleos, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 03 días del mes de Febrero del año 2026

**EL AUTOR**

---

**Leomar Isnardy González Mendoza**



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL PARA SU MASIFICACIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA MEDIANTE EL MÉTODO DE EQUIVALENCIA ENERGÉTICA, presentado por el estudiante, LEOMAR ISNARDY GONZÁLEZ MENDOZA fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 3%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 INFORME DE ANÁLISIS magister		
<b>TESIS MAESTRÍA - LEOMAR GONZÁLEZ COMPILATIO</b>		
Nombre del documento: TESIS MAESTRÍA - LEOMAR GONZÁLEZ COMPILATIO.docx ID del documento: b3eda2014d9e8bc242757228c5027458db7409ec Tamaño del documento original: 384,06 kB	Depositante: CARLOS ALBERTO PORTILLA LAZO Fecha de depósito: 18/1/2026 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 18/1/2026	Número de palabras: 12.204 Número de caracteres: 78.490

**TUTOR**

---

**Mgr. Carlos Portilla Lazo**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, LEOMAR ISNARDY GONZÁLEZ MENDOZA**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

La Libertad, a los 02 días del mes de Febrero del año 2026

**EL AUTOR**

---

**Leomar Isnardy González**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por encaminar mis pasos y darme la fortaleza para enfrentar los desafíos y cumplir cada una de las metas propuestas.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión, motivación y consejos durante este periodo de estudio, gracias por darme tanto, este triunfo también es de ustedes.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, porque a pesar de las dificultades que tenía al iniciar, me brindó la oportunidad de formarme académicamente por medio de esta maestría, también a mis docentes y tutores, por transmitirme sus conocimientos, experiencias y su guía en mi preparación profesional.

A Ecuador, ya que, como venezolano, no solo me abrió sus puertas y me dio la oportunidad de continuar mi crecimiento profesional, sino que también se ha convertido en mi segundo hogar.

**LEOMAR ISNARDY, GONZÁLEZ MENDOZA**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermana, quienes, con su amor y sus oraciones, han cruzado fronteras y me han sostenido, en especial a mi madre ejemplo de fortaleza, lucha y amor incondicional. Todo lo que soy te lo debo a ti.

A mi esposa, mi compañera de vida, que me incentivo a seguir formándome, creer en mí, y a soñar más alto, por su amor, paciencia y apoyo mientras yo alcanzaba mi objetivo.

A nuestros hijos, motor, razón y motivación de cada sacrificio y búsqueda de metas para construir un mejor futuro.

Finalmente, dedico este logro a mi Venezuela y a todos los que fuimos forzados a migrar y empezar de cero lejos de nuestras familias, esta tesis es testimonio de resiliencia y de que con perseverancia todo sacrificio vale la pena.

**LEOMAR ISNARDY, GONZÁLEZ MENDOZA**

# ÍNDICE GENERAL

<b>TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>I</b>
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>IV</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO .....</b>	<b>V</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>VI</b>
Yo, LEOMAR ISNARDY GONZÁLEZ MENDOZA.....	VI
EL AUTOR.....	VI
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VIII</b>
LEOMAR ISNARDY, GONZÁLEZ MENDOZA.....	VIII
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
Colombia: Masificación del Gas Natural.....	2
Planteamiento de la investigación.....	5
Formulación del problema de investigación .....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	7
Planteamiento hipotético.....	7
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>8</b>
1.1. Contexto nacional de energía.....	8

1.1.1.	Producción total de energía primaria.....	8
1.1.2.	Consumo de energía por fuente.....	9
1.2.	Mercado del gas natural a nivel mundial y Ecuador.....	10
1.2.1.	Mercado del gas natural a nivel mundial.....	10
1.2.1.1.	Oferta de Gas Natural.....	11
1.2.1.2.	Demanda de Gas Natural.....	11
1.2.1.3.	Consideraciones Adicionales.....	13
1.2.2.	Mercado del gas natural en Ecuador.....	15
1.3.	Definiciones.....	16
1.3.1.	Barriles Equivalentes Petróleo.....	16
1.3.2.	Billones.....	16
1.3.3.	BTU.....	17
1.3.4.	Butano.....	17
1.3.5.	Estación de GNV.....	17
1.3.6.	Gas Licuado de Petróleo.....	18
1.3.7.	Gas Natural.....	18
1.3.8.	Gas Natural Comprimido.....	18
1.3.9.	Gas Natural Licuado.....	19
1.3.10.	Gas Natural Vehicular.....	19
1.3.11.	Gasoducto.....	19
1.3.12.	Gasoducto virtual.....	20
1.3.13.	Giga.....	20
1.3.14.	Joule.....	20
1.3.15.	Mega.....	20
1.3.16.	Pies cúbicos.....	21
1.3.17.	Poder Calorífico.....	21
1.3.17.1.	Poder Calorífico Superior.....	21
1.3.17.2.	Poder Calorífico Inferior.....	21
1.3.18.	Propano.....	22
1.4.	Infraestructura energética en la Provincia de Santa Elena.....	22
1.4.1.	Terminal de Almacenamiento de GLP Monteverde.....	22

1.4.2.	Refinería La Libertad .....	23
1.4.3.	Central Térmica Santa Elena .....	24
1.5.	Estadísticas de consumo de energéticos en la Provincia de Santa Elena.....	26
1.5.1.	Gas Licuado de Petróleo.....	26
1.5.2.	Diésel.....	27
1.5.3.	Fuel Oil.....	27
1.5.4.	Gasolina.....	28
1.6.	Estadísticas socioeconómicas de la Provincia de Santa Elena.....	28
1.6.1.	Cantidad de hogares .....	28
1.6.2.	Cantidad de vehículos.....	29
1.6.2.1.	Servicio público .....	29
1.6.2.2.	Particulares.....	29
1.6.3.	Cantidad de establecimientos económicos .....	29
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....</b>		<b>31</b>
2.1.	Contexto de la investigación .....	31
2.2.	Diseño y alcance de la investigación .....	31
2.2.1.	Diseño de la Investigación.....	31
2.2.2.	Alcance de la Investigación.....	32
2.3.	Tipo y métodos de investigación.....	32
2.3.1.	Tipo de Investigación .....	32
2.3.2.	Métodos de Investigación.....	33
2.4.	Población y muestra .....	34
2.4.1.	Población de estudio.....	34
2.4.2.	Muestra .....	34
2.4.3.	VARIABLES.....	34
2.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
2.5.1.	Técnicas de recolección de datos .....	35
2.5.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	35
2.6.	Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.....	36
2.6.1.	Validez de los Instrumentos .....	36

2.6.2. Confiabilidad de los Instrumentos.....	37
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
3.1. Diagnóstico del Consumo Energético Actual en la Provincia de Santa Elena	38
3.1.1. Análisis del consumo de GLP en el sector residencial y comercial .....	38
3.1.2. Caracterización del consumo de Diésel y Fuel Oil en el sector industrial y generación eléctrica.....	40
3.1.3. Evaluación del parque automotor y potencial de consumo de GNV.....	42
3.2. Aplicación del Método de Equivalencia Energética .....	44
3.3. Propuesta de Infraestructura y Logística de Masificación .....	51
3.4. Análisis Económico y Ambiental de la Sustitución.....	60
3.5. Discusión de Resultados .....	65
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>
<b>Anexo 1: Factibilidad Económica.....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Ventas de GLP en la Prov. de Santa Elena en 2023, miles de kg</i> .....	26
<b>Tabla 2.</b> <i>Cantidad de hogares particulares en la Provincia de Santa Elena, 2022</i> .....	28
<b>Tabla 3.</b> <i>Actividades económicas de la Provincia de Santa Elena, 2023</i> .....	30
<b>Tabla 4.</b> Consumo de GLP en Santa Elena .....	40
<b>Tabla 5.</b> Indicadores y valores de proyección para masificación de uso de gas natural. .....	43
<b>Tabla 6.</b> Valores PCI de las variables que intervienen en la investigación .....	45
<b>Tabla 7.</b> Resumen de volúmenes de gas natural necesarios.....	47
<b>Tabla 8.</b> Consumo anual de combustible. ....	49
<b>Tabla 9.</b> Proyección de cantidad de gas necesaria de acuerdo con el porcentaje de crecimiento.....	51
<b>Tabla 10.</b> Parámetros para diseño .....	55
<b>Tabla 11.</b> Características básicas para la Estación de Servicio GNV .....	58
<b>Tabla 12.</b> Comparativa de combustibles a sustituir y diferencial frente al GN .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1. Producción de energía primaria 2023</i> .....	9
<i>Ilustración 2. Consumo de energía por sector 2023</i> .....	10
<i>Ilustración 3. Principales exportadores de GNL 2019-2023</i> .....	11
<i>Ilustración 4. Principales importadores de GNL 2019-2023</i> .....	12
<i>Ilustración 5. Proyección en la demanda de gas natural</i> .....	13
<i>Ilustración 6. Precios del GNL 2023-2025</i> .....	14
<i>Ilustración 6. Oferta y demanda de gas natural</i> .....	15
<b>Ilustración 8. Proyecto de Eficiencia Energética Petroecuador</b> .....	16
<b>Ilustración 9. Terminal de Almacenamiento de GLP Monteverde Petroecuador</b> .....	23
<i>Ilustración 10. Centrales Térmicas Santa Elena II y III</i> .....	25
<b>Ilustración 11. Distribución de las ventas de GLP en Santa Elena en 2023</b> .....	27

## RESUMEN

Este proyecto evalúa la demanda de gas natural en la provincia de Santa Elena, Ecuador, con el objetivo de analizar su viabilidad para una masificación del consumo mediante el método de equivalencia energética. Se estudian los patrones de consumo de energéticos actuales, incluyendo electricidad, GLP y diésel, identificando sectores clave como el residencial, comercial e industrial. A través del método de equivalencia energética, se comparan las ventajas económicas y ambientales de sustituir estos combustibles por gas natural. Se emplean datos históricos, proyecciones de crecimiento y escenarios de demanda para estimar el impacto de la masificación. Además, se consideran factores técnicos y logísticos, como la infraestructura de distribución y almacenamiento. Este estudio busca proporcionar información estratégica para la formulación de políticas energéticas que impulsen una transición hacia el uso eficiente del gas natural en la provincia, contribuyendo a la sostenibilidad y diversificación de la matriz energética ecuatoriana.

**Palabras claves:** gas natural, equivalencia energética, demanda energética, masificación, sostenibilidad.

## ABSTRACT

This project evaluates the demand for natural gas in the province of Santa Elena, Ecuador, with the objective of analyzing the feasibility of mass consumption using the energy equivalence method. Current energy consumption patterns are studied, including electricity, LPG and diesel, identifying key sectors such as residential, commercial and industrial. Through the energy equivalence method, the economic and environmental advantages of replacing these fuels with natural gas are compared. Historical data, growth projections and demand scenarios are used to estimate the impact of massification. In addition, technical and logistical factors, such as distribution and storage infrastructure, are considered. This study seeks to provide strategic information for the formulation of energy policies that promote a transition to the efficient use of natural gas in the province, contributing to the sustainability and diversification of the Ecuadorian energy matrix.

**Keywords:** energy demand, energy equivalence, massification, natural gas, sustainability.

# INTRODUCCIÓN

El gas natural es una fuente de energía que ha cobrado relevancia a nivel mundial debido a su eficiencia, menor impacto ambiental comparado con otros combustibles fósiles y su versatilidad en aplicaciones industriales, vehiculares y domésticas. En la región de América Latina, países como Colombia, Venezuela, Perú, Chile y Argentina han desarrollado estrategias para masificar su uso, sirviendo como referencia para evaluar su potencial en la provincia de Santa Elena, Ecuador (Rebolledo-Smitmans, 2024).

Entre las varias experiencias en torno a la masificación del gas natural tenemos:

## **Colombia: Masificación del Gas Natural**

Colombia ha sido uno de los países pioneros en la masificación del gas natural en América Latina, especialmente en los sectores vehicular y doméstico. En el sector vehicular, el gas natural vehicular (GNV) se introdujo a mediados de los años 90 como una alternativa económica y ambientalmente amigable frente a los combustibles líquidos. Por esta razón, Colombia cuenta con una de las mayores flotas de vehículos a GNV en la región, gracias a incentivos gubernamentales y la expansión de estaciones de servicio (Departamento Nacional de Planeación, 1991).

En el ámbito doméstico, el programa de gasificación rural y urbana ha permitido que más del 80% de los hogares colombianos accedan al gas natural. Esto se logró mediante políticas públicas que promueven la inversión en infraestructura de transporte y distribución de gas, así como subsidios para los sectores más vulnerables (Natural Resource Governance Institute, 2023).

## **Venezuela: Uso del Gas Natural**

Venezuela, con una de las mayores reservas de gas natural del mundo, ha promovido el uso de este recurso principalmente en los sectores industrial y vehicular. En el sector vehicular, el programa de conversión a GNV inició en los años 80 y ha experimentado un crecimiento sostenido debido a la disponibilidad del recurso y el bajo costo del gas en el mercado interno (Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, 2009).

Sin embargo, la penetración del gas natural en el sector doméstico ha sido limitada por la falta de infraestructura de transporte y distribución en ciertas regiones, especialmente en áreas rurales. A pesar de ello, en ciudades como Caracas y Maracaibo, el gas natural es una opción común para cocinar y calefacción (Alvarado et al., 2023).

## **Perú: Avances en Gas Natural para Uso Vehicular y Doméstico**

Perú ha logrado avances significativos en la masificación del gas natural desde el desarrollo del yacimiento de Camisea, uno de los más importantes de la región. Este proyecto permitió ampliar la cobertura del gas natural en los sectores vehicular, industrial y doméstico (Promigas Perú, 2023).

En el sector vehicular, el GNV se ha consolidado como una alternativa económica frente a la gasolina y el diésel, especialmente en Lima y Callao, donde existe una red de estaciones de servicio bien desarrollada. Además, el gobierno peruano ha implementado programas de financiamiento para la conversión de vehículos a GNV (Garamendi Durán & Wakeham Nieri, 2019).

En el ámbito doméstico, se han desarrollado programas de gasificación urbana para ampliar la cobertura en hogares. Sin embargo, la extensión hacia zonas rurales enfrenta

desafíos debido a la geografía compleja del país y los altos costos de infraestructura (Minem Perú, 2024).

### **Chile: Uso del Gas Natural en el Sector Residencial y Vehicular**

Chile ha sido un consumidor importante de gas natural, aunque su dependencia de las importaciones, principalmente desde Argentina y posteriormente de gas natural licuado (GNL), ha influido en su estrategia de masificación (División de Estudios de Mercado, 2021).

En el sector residencial, el gas natural es utilizado principalmente en las grandes ciudades, como Santiago, para calefacción, agua caliente y cocina. Su uso se ha masificado debido a su menor costo e impacto ambiental en comparación con combustibles como el gas licuado de petróleo (GLP) y el kerosene (División de Estudios de Mercado, 2021).

En el sector vehicular, el gas natural ha tenido una adopción limitada debido a la falta de infraestructura y estaciones de servicio dedicadas al GNV. Sin embargo, en los últimos años se han realizado esfuerzos para impulsar esta tecnología como parte de las políticas de descarbonización (Schmidt-Hebbel et al., 2020).

### **Argentina: Liderazgo en el Uso del Gas Natural**

Argentina es uno de los líderes mundiales en el uso de gas natural, tanto en el sector vehicular como en el doméstico. Desde la década de 1980, el país ha desarrollado una red extensiva de estaciones de servicio de GNV, lo que ha permitido la conversión de millones de vehículos a esta tecnología. Hoy, Argentina cuenta con una de las flotas de vehículos a gas más grandes del mundo (Redacción Más Energía, 2024).

En el sector doméstico, el gas natural es la principal fuente de energía para calefacción, cocina y agua caliente. La amplia red de transporte y distribución, junto con las políticas de subsidio, han facilitado su acceso incluso en regiones alejadas (CAMARCO, 2023).

### **Ecuador: Pionero en el Uso de Gas Natural**

Ecuador fue pionero en el uso del gas natural como combustible doméstico en la región gracias a la empresa Anglo Ecuatorian Oilfields Ltd., que operaba en el campo Ancón, en la provincia de Santa Elena. Durante las primeras décadas del siglo XX, esta empresa implementó el suministro de gas natural para abastecer las viviendas de sus trabajadores, marcando el inicio del uso de este recurso en el país. Este hito sentó las bases para futuras aplicaciones del gas natural en Ecuador (Lapuerta-Torres, 2008).

En la actualidad, el uso del gas natural en el país se centra en el sector industrial. Empresas en ciudades como Guayaquil y Cuenca han comenzado a utilizarlo, aunque la demanda sigue siendo incipiente. A pesar de su potencial, el gas natural aún no ha sido ampliamente adoptado en los sectores vehicular y doméstico, dejando una gran oportunidad para su masificación y aprovechamiento en diferentes ámbitos (Rios-Roca & Herrera, 2023).

### **Planteamiento de la investigación**

El abastecimiento de energía en la provincia de Santa Elena depende en gran medida del uso de combustibles como el GLP, la electricidad y el diésel, generando costos elevados y desafíos en términos de sostenibilidad. En este contexto, el gas natural surge como una alternativa viable para diversificar la matriz energética y mejorar la eficiencia del consumo en los sectores residencial, comercial e industrial.

Sin embargo, la falta de estudios específicos sobre la demanda potencial y la viabilidad

de masificación del gas natural en la provincia dificulta la toma de decisiones para su implementación. Por ello, esta investigación busca evaluar la demanda de gas natural mediante el método de equivalencia energética, comparando su uso con otras fuentes de energía.

El estudio permitirá estimar el impacto económico y ambiental de su adopción, proporcionando información clave para el desarrollo de políticas públicas que fomenten su implementación como una opción sostenible y eficiente en Santa Elena.

### **Formulación del problema de investigación**

En la provincia de Santa Elena, el abastecimiento energético depende en gran medida de combustibles como el GLP, la electricidad y el diésel, los cuales presentan limitaciones en términos de costos, disponibilidad y sostenibilidad ambiental. A pesar de que el gas natural representa una alternativa energética más eficiente y con menores emisiones, su uso en la provincia es aún limitado y no se cuenta con estudios detallados sobre su demanda potencial y viabilidad de masificación.

### **Objetivo General**

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la masificación de gas natural dentro de la provincia de Santa Elena, mediante la definición de demanda en base a la equivalencia energética que permita la proposición de una estrategia que facilite la sustitución de combustibles líquidos y coadyuve a la optimización del gasto fiscal.

## **Objetivos Específicos**

1. Determinar el consumo de combustibles líquidos dentro de los sectores residenciales, industriales y de transportación, en la provincia de Santa Elena, que defina una línea base de la demanda energética.
2. Determinar el volumen de gas que permita la sustitución de los combustibles actuales, mediante el método de equivalencia energética, considerando los valores caloríficos específicos.
3. Estimar los requerimientos de infraestructura y CAPEX para la implementación del sistema de transporte y distribución de Gas Natural Licuado dentro de las zonas con mayor demanda.
4. Cuantificar el ahorro representativo y el tiempo de recuperación de la inversión, a través de los flujos de caja neto que ermita la validación de la sostenibilidad del proyecto de masificación.

## **Planteamiento hipotético**

La implementación de un proyecto de masificación de Gas Natural en la provincia de Santa Elena, sustentada en el método de equivalencia energética y el aprovechamiento de la infraestructura existente, es técnica y económicamente factible, logrando una reducción en el gasto público por concepto de subsidio de combustibles líquidos.

# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

## 1.1. Contexto nacional de energía

El gas natural juega un papel estratégico en la matriz energética de Ecuador, aunque su desarrollo y uso han sido limitados en comparación con otros países de la región. Históricamente, la producción nacional de gas natural ha provenido en gran medida de los campos asociados a la extracción de petróleo, como el Bloque 6 en la Península de Santa Elena y el campo Amistad en el Golfo de Guayaquil (EP PETROECUADOR, 2015). Sin embargo, la oferta ha sido insuficiente para cubrir la demanda interna, lo que ha llevado a una fuerte dependencia de otros combustibles, ampliamente utilizados en los sectores residencial, comercial e industrial gracias a los subsidios gubernamentales (Orozco, 2023).

En los últimos años, el país ha mostrado interés en diversificar su matriz energética y reducir la importación de derivados del petróleo, explorando el potencial de la masificación del gas natural. Para ello, se han planteado estrategias como la ampliación de infraestructura de distribución y almacenamiento, así como el fomento del uso del gas natural en generación eléctrica e industria (OLADE, 2024).

Este contexto presenta desafíos y oportunidades para el desarrollo del mercado de gas natural en Ecuador, requiriendo un análisis detallado de la oferta, demanda y viabilidad de su masificación en sectores clave de la economía.

### 1.1.1. Producción total de energía primaria

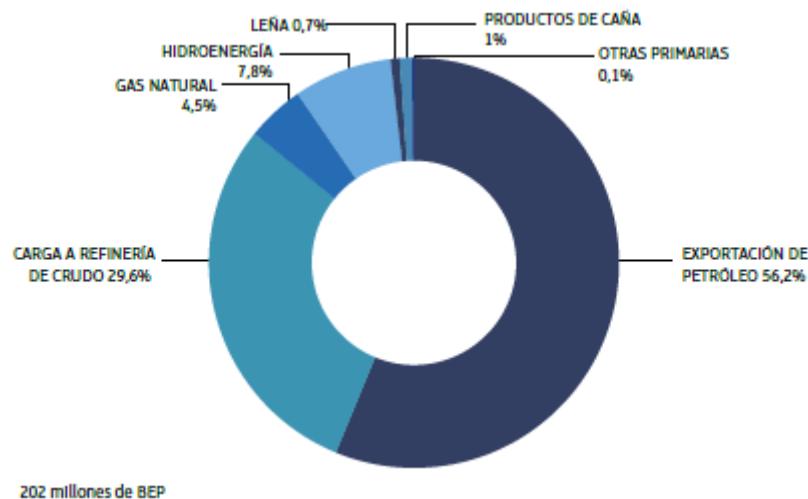
En 2023, la producción total de energía primaria en el país experimentó una disminución del 0,7 % en comparación con 2022, principalmente debido a la reducción en la producción de petróleo crudo en un 1,2 % y de líquidos de gas natural en un 8,2 %. Sin embargo, se observaron incrementos en la generación de hidroenergía (2,9 %), energía fotovoltaica (5,4 %) y energía eólica (244,2 %). En particular, el notable crecimiento de

la energía eólica se atribuye a la entrada en operación del Parque Eólico Huascachaca (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2023).

Por otro lado, la producción de energía a partir de leña y biogás registró descensos del 4,6 % y 7,6 %, respectivamente. La producción total de energía primaria en 2023 alcanzó los 202 millones de BEP, de los cuales el 85,9 % correspondió a petróleo, el 4,1 % a gas natural y el 9,6 % a fuentes renovables como hidroenergía, leña, productos de caña, energía eólica, fotovoltaica y biogás (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2023).

*Ilustración 1.*

*Producción de energía primaria 2023.*



**Fuente:** (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2023)

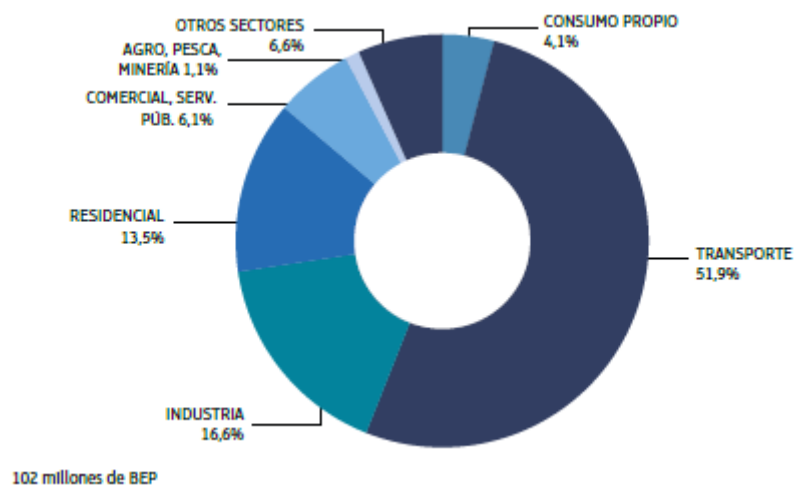
### 1.1.2. Consumo de energía por fuente

Entre 2013 y 2023, la demanda energética en el país aumentó un 18,3 %, pasando de 86,2 a 102 millones de BEP. El sector transporte fue el principal consumidor, con un promedio de 42,7 millones de BEP en los últimos 11 años, seguido por el sector industrial (16,8 millones de BEP) y el sector residencial (12,5 millones de BEP) (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2024).

En 2023, la demanda energética creció un 1,8 % respecto a 2022, con el sector transporte registrando un incremento del 9,5 % y el sector residencial del 5,6 %, mientras que la demanda industrial disminuyó un 6,8 %. En 2023, el sector transporte representó el 51,9 % de la demanda energética, seguido por el sector industrial con 16,6 % y el sector residencial con 13,5 % (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2024).

*Ilustración 2.*

*Consumo de energía por sector 2023*



**Fuente:** (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2023)

## **1.2. Mercado del gas natural a nivel mundial y Ecuador**

### **1.2.1. Mercado del gas natural a nivel mundial**

En 2023, el mercado mundial de gas natural experimentó un crecimiento significativo, impulsado por aumentos en la capacidad de exportación e importación, así como por una demanda creciente en diversas regiones (EIA, 2024<sup>a</sup>).

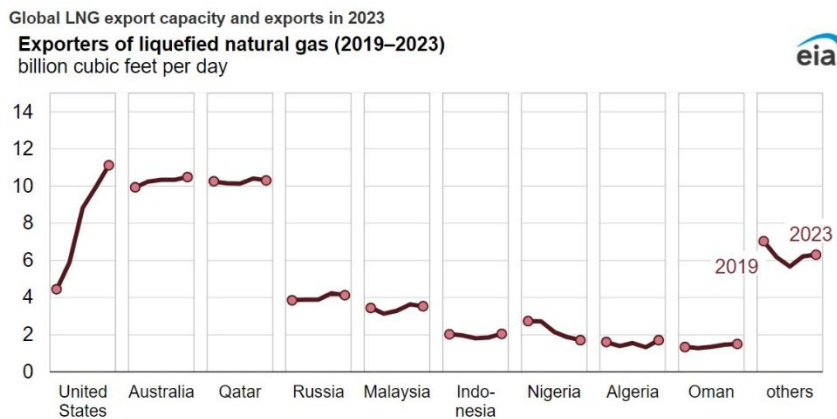
### 1.2.1.1. Oferta de Gas Natural

**Aumento de la Capacidad de Exportación:** La capacidad global de exportación de gas natural licuado (GNL) creció, destacándose incrementos en países como Estados Unidos, Mozambique, Rusia, Indonesia, Noruega y Omán. En Estados Unidos, la planta de Freeport LNG reanudó operaciones en febrero de 2023, alcanzando plena capacidad en abril. Mozambique y Rusia pusieron en marcha nuevos proyectos que alcanzaron plena producción en 2023 (Agnolucci & Makarenko, 2024).

**Principales Exportadores:** Estados Unidos se consolidó como el mayor exportador mundial de GNL en 2023, con un aumento del 12% en sus exportaciones respecto a 2022. Junto con Australia y Qatar, estos tres países representaron el 60% de todas las exportaciones de GNL (Agnolucci & Makarenko, 2024).

Ilustración 3.

#### *Principales exportadores de GNL 2019-2023*



**Fuente:** (Roca, 2024)

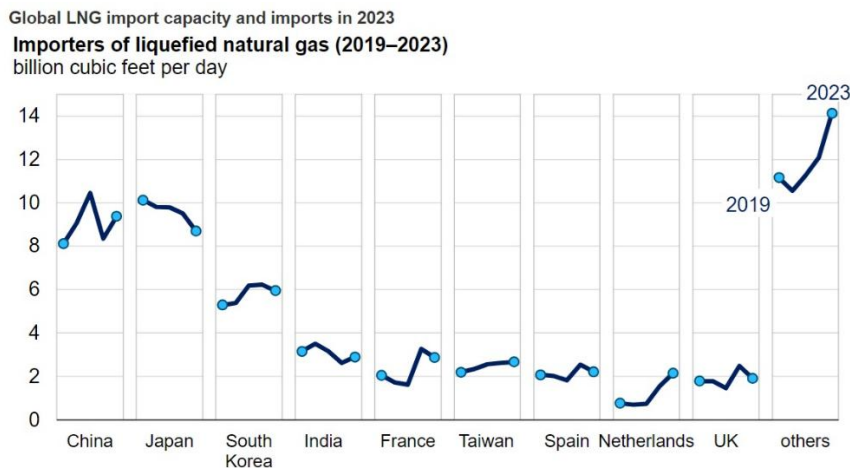
### 1.2.1.2. Demanda de Gas Natural

**Incremento en Importaciones:** Los países asiáticos lideraron el crecimiento de las importaciones de GNL, con un aumento del 3,5% (1,2 Bcf/d) en 2023. China incrementó

sus importaciones en un 12%, convirtiéndose en el mayor importador mundial de GNL por segundo año desde 2021. India también aumentó sus importaciones en un 11% gracias a la puesta en servicio de nuevas terminales de regasificación y a la disminución de los precios del GNL. Ver Fig. 4.

*Ilustración 4.*

#### *Principales importadores de GNL 2019-2023*

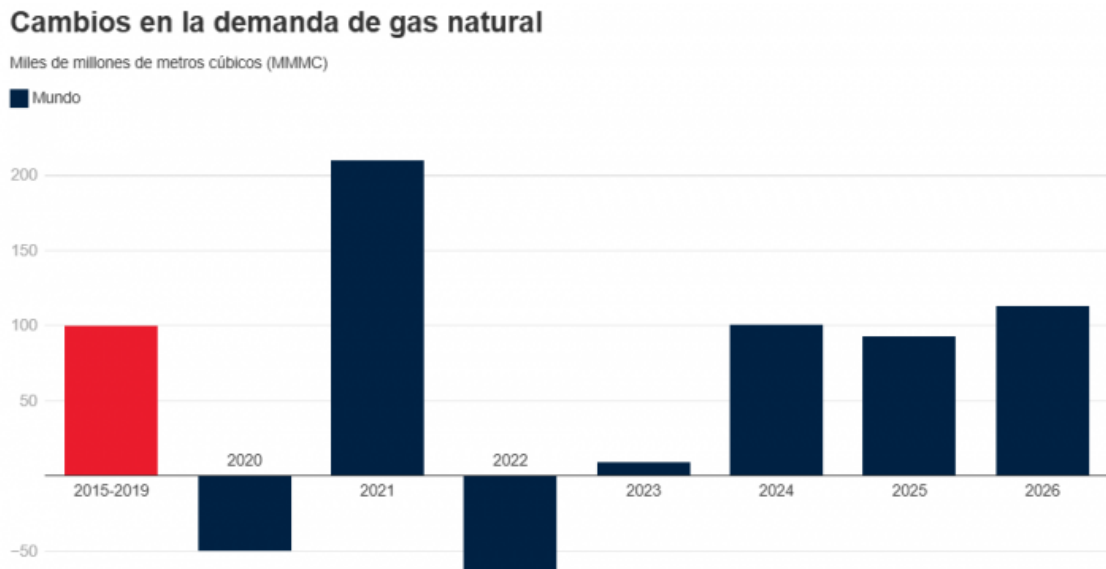


**Fuente:** (Roca, 2024)

**Perspectivas de Consumo:** Según el comportamiento de la demanda mundial de gas natural, se preveía que esta crezca aproximadamente un 2,5% en 2024, retomando niveles anteriores a la pandemia. Este crecimiento está impulsado principalmente por las regiones de Asia y el Pacífico, Oriente Medio y Eurasia. Sin embargo, las proyecciones indican que el consumo en el corto plazo presentará un crecimiento muy acelerado (EIA, 2024b).

## Ilustración 5.

### Proyección en la demanda de gas natural



Fuente:(EIA, 2024b)

#### 1.2.1.3. Consideraciones Adicionales

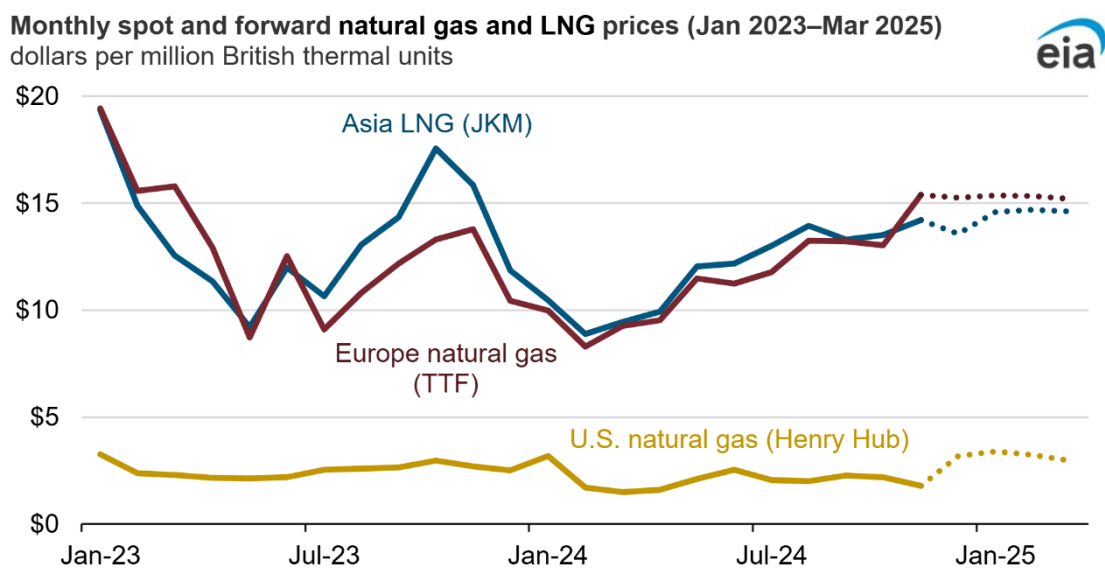
**Mercado Europeo:** Europa enfrentó desafíos en su suministro de gas natural debido a la reducción de importaciones de países como Argelia, Qatar, Túnez y Estados Unidos. Existe incertidumbre sobre la renovación del acuerdo para el transporte de gas ruso a través de Ucrania, lo que podría obligar a Europa a buscar proveedores alternativos de GNL (Agnolucci & Makarenko, 2024).

**Mercado en América Latina:** En América Latina, Colombia registró un incremento en las importaciones de GNL de 0,1 Bcf/d debido a una sequía que redujo la generación hidroeléctrica, lo que llevó al país a utilizar gas natural en sus centrales eléctricas para compensar la demanda. Por el contrario, Brasil redujo sus importaciones de GNL en 0,2 Bcf/d, ya que una mayor producción hidroeléctrica disminuyó la necesidad de generación eléctrica con gas natural en 2023. Asimismo, en Puerto Rico, las importaciones de GNL aumentaron en 0,1 Bcf/d (BLOOMBERG, 2023).

**Precios y Almacenamiento:** En noviembre de 2024, el índice de precios del gas natural del Banco Mundial subió casi un 4%, alcanzando su nivel más alto desde diciembre de 2023. Este aumento se debió a una disminución más pronunciada de lo previsto en los niveles de almacenamiento y a una mayor incertidumbre en torno al transporte de gas ruso a través de Ucrania (EIA, 2024b). Ver la Ilustración 6.

*Ilustración 6.*

*Precios del GNL 2023-2025*



**Fuente:** (EIA, 2024b)

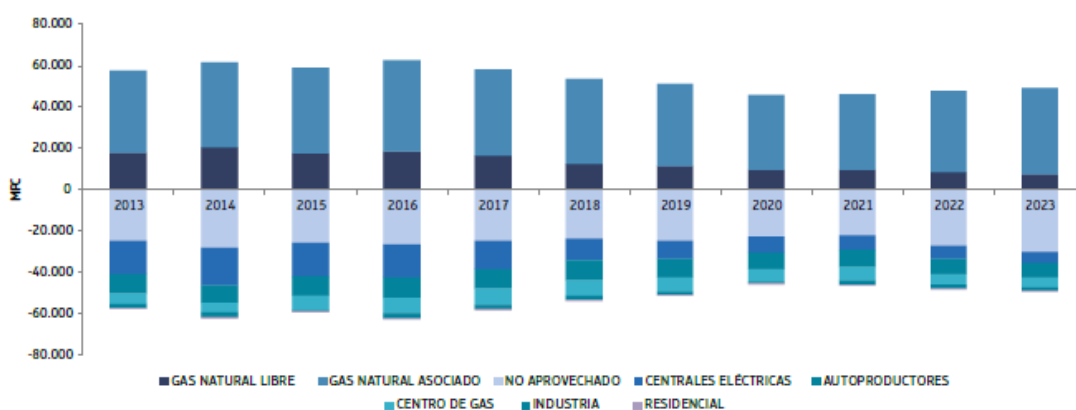
En resumen, el año 2023 fue testigo de un crecimiento sostenido en el comercio de gas natural, con aumentos en la capacidad de exportación e importación y una demanda en ascenso, especialmente en Asia. No obstante, factores geopolíticos y desafíos en el suministro, particularmente en Europa, añadieron complejidad al panorama energético global.

## 1.2.2. Mercado del gas natural en Ecuador

En Ecuador, la producción de gas natural proviene tanto del Campo Amistad, ubicado en el Golfo de Guayaquil, donde se extrae gas natural libre, como de la explotación petrolera, de la cual se obtiene gas asociado. Entre 2013 y 2023, la producción de gas natural libre experimentó una disminución del 57,7 %. En 2023, esta producción alcanzó los 7.680 MPC, reflejando una reducción del 10,4 % en comparación con 2022. El gas natural libre se utiliza principalmente para la generación eléctrica, el consumo en el sector industrial y, en menor medida, para abastecer al sector residencial (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023).

*Ilustración 7.*

*Oferta y demanda de gas natural*



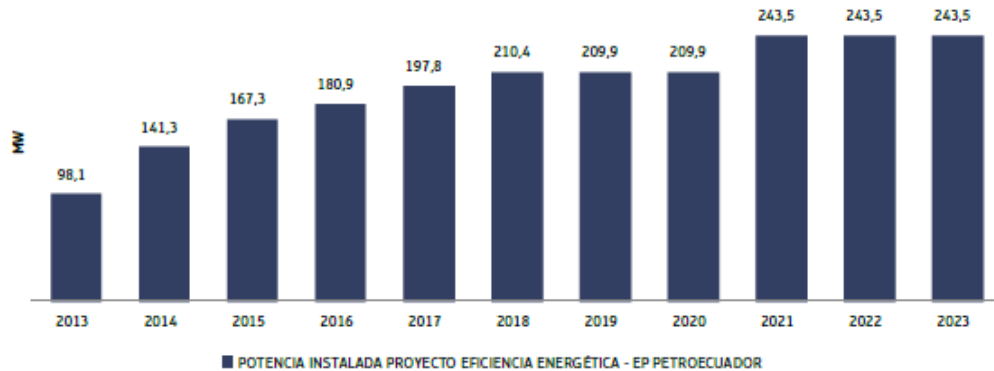
**Fuente:** (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2023)

El gas asociado en Ecuador se emplea en la generación eléctrica dentro del Proyecto de Eficiencia Energética de EP Petroecuador, así como en la producción de derivados de petróleo en el centro de Gas Shushufindi. La evolución de la capacidad instalada para generación eléctrica en este proyecto se muestra en la Ilustración 8, evidenciando un aumento de 98,1 MW en 2013 a 243,5 MW en 2023. Sin embargo, durante 2023, no se registró un incremento en la capacidad instalada en comparación con 2022 (Ministerio de

Energía y Minas del Ecuador, 2023).

*Ilustración 8. Proyecto de Eficiencia Energética Petroecuador*

*Proyecto de Eficiencia Energética Petroecuador*



**Fuente:** (Ministerio de Energía y Minas de Ecuador, 2023)

### 1.3. Definiciones

#### 1.3.1. Barriles Equivalentes Petróleo

El Barril Equivalente de Petróleo (BEP) es una unidad de medida utilizada en el sector energético para estandarizar y comparar diferentes fuentes de energía en términos de su contenido energético. Un BEP representa la cantidad de energía contenida en un barril de petróleo crudo, permitiendo expresar la producción, consumo y reservas de otras fuentes de energía en una unidad común. El contenido energético de un barril de petróleo crudo se estima en aproximadamente 5,8 millones de BTU (British Thermal Units) o 6,12 GJ (Gigajulios) (Cengel & Boles, 2015).

#### 1.3.2. Billones

En el sistema técnico inglés (S.T.I.), billones (B) hace referencia a mil millones de unidades del Sistema Internacional de Unidades (S.I.) (Cengel & Boles, 2015).

### **1.3.3. BTU**

El British Thermal Unit (BTU) es una unidad de medida de energía utilizada principalmente en el sector energético y térmico, definida como la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°F la temperatura de una libra de agua a nivel del mar. Equivale aproximadamente a 1,055 julios y se emplea comúnmente para medir el contenido energético de combustibles como el gas natural, el carbón y el petróleo, así como para expresar la capacidad de equipos de calefacción y aire acondicionado (Cengel & Ghajar, 2015).

### **1.3.4. Butano**

El butano es un hidrocarburo saturado de la familia de los alcanos, con la fórmula química  $C_4H_{10}$ , que se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente y se licúa fácilmente bajo presión. Se obtiene como subproducto del refinamiento del petróleo y del procesamiento del gas natural, siendo un componente principal del Gas Licuado de Petróleo (GLP) junto con el propano. Es utilizado como combustible en aplicaciones domésticas e industriales, en encendedores, en sistemas de calefacción y como propelente en aerosoles. Su combustión es limpia y eficiente, aunque debe manipularse con precaución debido a su inflamabilidad (Speight, 2019).

### **1.3.5. Estación de GNV**

Una Estación de Gas Natural Vehicular (GNV) es una infraestructura diseñada para el abastecimiento de gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GNL) a vehículos que utilizan este combustible como fuente de energía. Estas estaciones pueden ser de carga rápida o lenta y cuentan con sistemas de compresión, almacenamiento y dispensación del gas, garantizando un suministro seguro y eficiente. Su implementación contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y a la diversificación de la matriz energética en el sector transporte (Lyons et al., 2016).

### **1.3.6. Gas Licuado de Petróleo**

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos, principalmente propano y butano, que se obtiene como subproducto del refinamiento del petróleo crudo y del procesamiento del gas natural. Se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente, pero se licúa bajo presión para facilitar su almacenamiento y transporte. Es ampliamente utilizado como combustible en aplicaciones domésticas (cocción y calefacción), industriales, comerciales y en el sector transporte, debido a su alto poder calorífico y baja emisión de contaminantes en comparación con otros combustibles fósiles (Speight, 2019).

### **1.3.7. Gas Natural**

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos, compuesta principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), junto con proporciones variables de etano, propano, butano y otros gases. Su combustión genera menores emisiones de  $\text{CO}_2$  y contaminantes en comparación con otros combustibles fósiles, lo que lo convierte en una opción clave para la transición energética (Lyons et al., 2016).

### **1.3.8. Gas Natural Comprimido**

El Gas Natural Comprimido (GNC) es gas natural almacenado a alta presión, generalmente entre 200 y 250 bares, para su uso como combustible en vehículos y aplicaciones industriales (Speight, 2019).

### **1.3.9. Gas Natural Licuado**

El Gas Natural Licuado (GNL) es gas natural que ha sido enfriado a aproximadamente -162 °C para convertirlo en un líquido, reduciendo su volumen en unas 600 veces para facilitar su almacenamiento y transporte. Compuesto principalmente por metano, el GNL es incoloro, inodoro y no corrosivo, y se utiliza como fuente de energía en sectores industriales, comerciales y de transporte debido a su alta eficiencia y menor impacto ambiental en comparación con otros combustibles fósiles (Mokhatab et al., 2014).

### **1.3.10. Gas Natural Vehicular**

El Gas Natural Vehicular (GNV) es una alternativa de combustible para automóviles que utiliza gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GNL) como fuente de energía. Su uso reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes en comparación con la gasolina o el diésel, además de ofrecer costos operativos más bajos y mayor eficiencia en motores adaptados o diseñados para este combustible (Easton Utilities, 2025).

### **1.3.11. Gasoducto**

Un gasoducto es una infraestructura de transporte diseñada para trasladar gas natural a alta presión desde los puntos de producción o almacenamiento hasta centros de consumo, industrias o plantas de distribución. Construidos con materiales resistentes como acero o polietileno de alta densidad, los gasoductos pueden extenderse a través de grandes distancias y suelen incluir estaciones de compresión para mantener el flujo del gas (Speight, 2019).

### **1.3.12. Gasoducto virtual**

Un gasoducto virtual es un sistema de transporte de gas natural que no requiere infraestructura de tuberías fijas, sino que utiliza camiones, barcos o trenes equipados con contenedores de gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GNL) para abastecer a consumidores ubicados fuera de la red de gasoductos convencionales. Esta solución es flexible y permite llevar gas a regiones aisladas o con baja demanda, funcionando como una alternativa eficiente a las redes de distribución tradicionales (Galileo Technologies, 2025).

### **1.3.13. Giga**

Giga (G) es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades (S.I.) que representa un factor de  $10^9$  o mil millones (1,000,000,000) (Cengel & Boles, 2015).

### **1.3.14. Joule**

El joule (J) es la unidad del Sistema Internacional de Unidades (SI) para medir energía, trabajo y calor. Se define como la cantidad de energía transferida cuando una fuerza de un newton desplaza un objeto un metro en la dirección de la fuerza, equivalente a un vatio por segundo ( $1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m} = 1\text{W}\cdot\text{s}$  |  $1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m} = 1\text{W}\cdot\text{s}$  |  $1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m} = 1\text{W}\cdot\text{s}$ ). Es ampliamente utilizado en física, ingeniería y termodinámica para cuantificar procesos energéticos (Cengel & Ghajar, 2015).

### **1.3.15. Mega**

Mega (M) es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades (SI) que representa un factor de  $10^6$  o un millón (1,000,000) (Cengel & Ghajar, 2015).

### **1.3.16. Pies cúbicos**

El pie cúbico ( $\text{pie}^3$ ) es una unidad de volumen en el sistema imperial y estadounidense, equivalente al espacio ocupado por un cubo con lados de un pie de longitud. Su equivalencia en el Sistema Internacional es aproximadamente 0.0283 metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ) o 28.3 litros. Se usa comúnmente en la medición de gas natural, almacenamiento y construcción (Cengel & Boles, 2015).

### **1.3.17. Poder Calorífico**

El poder calorífico es la cantidad de energía liberada por la combustión completa de una unidad de masa o volumen de un combustible. Se expresa en unidades como Joules por kilogramo ( $\text{J/kg}$ ) o BTU por pie cúbico ( $\text{BTU/pie}^3$ ) (Cengel & Ghajar, 2015).

#### **1.3.17.1. Poder Calorífico Superior**

El poder calorífico superior (PCS) es la cantidad total de energía liberada por la combustión completa de un combustible, incluyendo el calor recuperado por la condensación del vapor de agua contenido en los gases de combustión. Se mide en unidades como  $\text{MJ/kg}$  o  $\text{BTU/pie}^3$  y es mayor que el poder calorífico inferior, ya que considera el calor latente de vaporización del agua (Cengel & Ghajar, 2015).

#### **1.3.17.2. Poder Calorífico Inferior**

El poder calorífico inferior (PCI) es la cantidad de energía liberada por la combustión completa de un combustible, excluyendo el calor contenido en el vapor de agua generado en la reacción. Se expresa en unidades como  $\text{MJ/kg}$  o  $\text{BTU/pie}^3$  y es menor que el poder calorífico superior, ya que no considera el calor latente de vaporización del agua (Cengel

& Ghajar, 2015).

### **1.3.18. Propano**

El propano ( $C_3H_8$ ) es un hidrocarburo saturado de la familia de los alcanos, compuesto por tres átomos de carbono y ocho de hidrógeno. Es un gas incoloro e inodoro en condiciones normales, pero se licua fácilmente bajo presión para su almacenamiento y transporte. Se usa como combustible en calefacción, cocina, industria y motores, además de ser un componente del gas licuado de petróleo (Speight, 2019).

## **1.4. Infraestructura energética en la Provincia de Santa Elena**

### **1.4.1. Terminal de Almacenamiento de GLP Monteverde**

El Terminal Marítimo de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en Monteverde, ubicado en la provincia de Santa Elena, Ecuador, es una infraestructura clave para el almacenamiento y distribución de GLP en el país. La planta cuenta con una capacidad de almacenamiento en tierra de aproximadamente 61.000 toneladas métricas de GLP, distribuidas entre esferas y tanques diseñados para garantizar reservas que cubran la demanda nacional por alrededor de 26 días. El terminal marítimo incluye un muelle de aproximadamente 1.300 metros de longitud, capaz de recibir buques con capacidades de hasta 75.000 toneladas de peso muerto. Esta infraestructura permite la recepción eficiente de propano y butano importados, que posteriormente son mezclados y distribuidos a través de un gasoducto de 124 kilómetros hasta la terminal de almacenamiento y distribución en Chorrillos, provincia del Guayas (Suárez-Méndez, 2024).

*Ilustración 9. Terminal de Almacenamiento de GLP Monteverde Petroecuador*

*Terminal de Almacenamiento de GLP Monteverde Petroecuador*



**Fuente:** (Ecuavisa, 2014).

#### **1.4.2. Refinería La Libertad**

La Refinería La Libertad, ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador, es el complejo refinador más antiguo del país. Construida en 1940 por la compañía Anglo Ecuatorian Oilfields, inició sus operaciones para producir derivados como gasolinas y diésel, reduciendo la dependencia de importaciones (EP PETROECUADOR, 2015).

Actualmente, la refinería tiene una capacidad de procesamiento de 45.000 barriles de petróleo por día y está equipada con tres unidades de destilación primaria (EP PETROECUADOR, 2015):

Planta Parsons, con capacidad de 26.000 barriles por día (BPD)

Planta Universal, con capacidad de 9.500 BPD

Planta Cautivo, con capacidad de 9.500 BPD

La refinería produce una variedad de productos derivados del petróleo, incluyendo gas licuado de petróleo (GLP), gasolinas base, diésel No. 1 y No. 2, jet fuel, fuel oil No. 4, solventes y otros (EP PETROECUADOR, 2024<sup>a</sup>).

En los últimos años, se han realizado mantenimientos programados y se han propuesto proyectos para optimizar sus operaciones y convertirla en un centro regional de almacenamiento de combustibles, con una capacidad proyectada de entre 10 y 15 millones de barriles, integrando la Terminal Marítima de Gas Licuado de Petróleo de Monteverde (EP PETROECUADOR, 2024).

### **1.4.3. Central Térmica Santa Elena**

La Central Térmica Santa Elena, ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador, es una instalación clave para el suministro eléctrico de la región. Está compuesta por dos plantas principales:

**Santa Elena II:** Inició operaciones comerciales el 4 de marzo de 2011 con una potencia efectiva de 90 megavatios (MW). Esta planta cuenta con 53 motores Hyundai 9H21/32 de combustión interna (Castillo-Lindao, 2024).

**Santa Elena III:** Entró en operación comercial el 22 de junio de 2012, aportando una potencia efectiva de 40 MW. Está equipada con tres motores de combustión interna marca Caterpillar 16VM43C, cada uno con un sistema de enfriamiento en circuito cerrado (CELEC EP, 2023).

La central está ubicada en el kilómetro 4.5 de la vía Santa Elena-Ancón, aproximadamente a 10 minutos del centro de Santa Elena. Su infraestructura incluye una casa de máquinas con sala de control, talleres eléctricos y mecánicos, y un puente grúa de 35 toneladas. La energía generada se entrega a niveles de voltaje de 4.6 kV, con

transformadores que elevan el voltaje a 13.8 kV y 138 kV para su distribución (Castillo-Lindao, 2024).

En años recientes, la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) ha realizado mantenimientos y adquisiciones de nuevos equipos para garantizar la operatividad y eficiencia de la central. Por ejemplo, se adquirieron cinco motores para reemplazar equipos que sufrieron siniestros en Santa Elena II. Además, se han planificado proyectos para incorporar 15 MW adicionales a la capacidad actual de Santa Elena II (Beltrán, 2024).

*Ilustración 10. Centrales Térmicas Santa Elena II y III*

*Centrales Térmicas Santa Elena II y III*



**Fuente:** (ARCERNNR, 2021)

## 1.5. Estadísticas de consumo de energéticos en la Provincia de Santa Elena

### 1.5.1. Gas Licuado de Petróleo

En el año 2023 según el Balance Energético Nacional (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023), las ventas de GLP en la Provincia de Santa Elena, en su mayor parte se destinaban al consumo doméstico, como se presenta en la Ilustración 11. En total, el consumo de la provincia representa apenas el 2,17% del consumo nacional total. Las cifras y su comparativa con las ventas a nivel nacional se presentan en la Tabla 1. Es importante notar que el GLP se consume de forma reducida para uso vehicular, el cual se utiliza en montacargas para operaciones portuarias, ya que en la provincia no se ha masificado su uso como combustible vehicular, como sucede en otras ciudades, como Guayaquil, el mismo que sirve para el transporte público en taxis (Mella, 2022).

*Tabla 1. Ventas de GLP en la Prov. de Santa Elena en 2023, miles de kg*

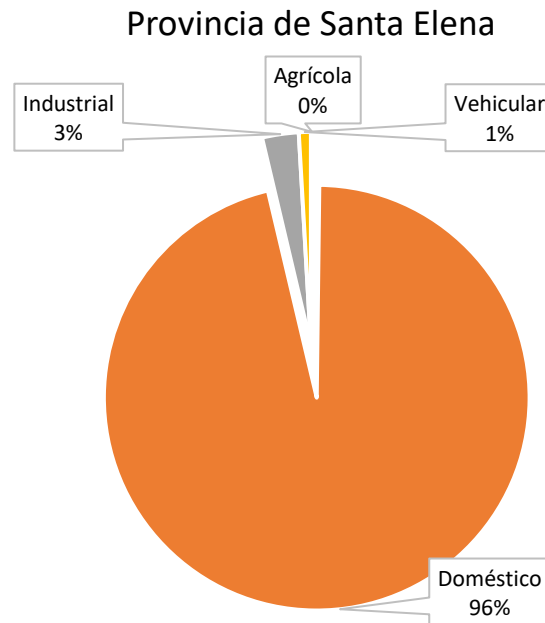
*Ventas de GLP en la Prov. de Santa Elena en 2023, miles de kg*

Provincia	Agrícola	Doméstico	Industrial	Vehicular	Total
Santa Elena	56	27.768	803	263	28.890
Nacional	14.226	1.203.758	88.214	25.450	1.331.648

*Fuente: (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023)*

Ilustración 11. Distribución de las ventas de GLP en Santa Elena en 2023

*Distribución de las ventas de GLP en Santa Elena en 2023*



**Fuente:** (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023)

### 1.5.2. Diésel

Según el Balance Energético Nacional del año 2023, el consumo de Diesel 2 en la Provincia de Santa Elena fue de 279.707 barriles (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023).

### 1.5.3. Fuel Oil

De acuerdo con el Balance Energético Nacional del año 2023, la Provincia de Santa Elena tuvo un consumo de 863.420 barriles de fuel oil (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023).

#### 1.5.4. Gasolina

El Balance Energético Nacional del año 2023, indica que la Provincia de Santa Elena consumió 440.086 barriles de gasolina extra, 24.762 barriles de gasolina super, 167.138 barriles de gasolina para pesca artesanal (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023).

### 1.6. Estadísticas socioeconómicas de la Provincia de Santa Elena

#### 1.6.1. Cantidad de hogares

Según los resultados del Censo de Población y Vivienda de 2022, la cantidad total de hogares particulares de la Provincia de Santa Elena es de 144.336 considerando que en la zona urbana hay 79.178 y 65.158 en el sector rural, respectivamente (INEC, 2024). La relación adicional por cantones se presenta en la Tabla 2.

*Tabla 2. Cantidad de hogares particulares en la Provincia de Santa Elena, 2022*

*Cantidad de hogares particulares en la Provincia de Santa Elena, 2022*

Urbana	Rural	Total	Unidad geográfica
79.178	65.158	144.336	Prov. Santa Elena
23.567	46.060	69.627	Santa Elena
37.319	43	37.362	La Libertad
18.292	19.055	37.347	Salinas

*Fuente: (INEC, 2024)*

## **1.6.2. Cantidad de vehículos**

Según la AEDE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador), a noviembre de 2023 se tenían 6.017 vehículos en la Provincia de Santa Elena (AEDE, 2023).

### **1.6.2.1. Servicio público**

De acuerdo con García-Guillén (2023) el 33% del parque automotor de la Provincia de Santa Elena corresponde a vehículos dedicados al servicio público (García-Guillén, 2023).

### **1.6.2.2. Particulares**

Este mismo autor indica que el 67% del parque automotor corresponde a vehículos particulares (García-Guillén, 2023).

## **1.6.3. Cantidad de establecimientos económicos**

Según el Registro Estadístico de Empresas (REEM) 2023 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la provincia de Santa Elena cuenta con un total de 15.587 establecimientos económicos(INEC, 2025) . Estos se presentan a continuación en la Tabla 3.

**Tabla 3. Actividades económicas de la Provincia de Santa Elena, 2023**

*Actividades económicas de la Provincia de Santa Elena, 2023*

<b>Actividades económicas</b>	<b>Establecimientos</b>	<b>%</b>
Venta al por menor en comercios no especializados con predominio de la venta de alimentos, bebidas o tabaco.	1.301	8%
Otras actividades de servicios personales n.c.p.	1.195	8%
Venta al por menor de alimentos en comercios especializados.	1.060	7%
Actividades de restaurantes y de servicio móvil de comidas.	745	5%
Otras actividades profesionales, científicas y técnicas n.c.p.	431	3%
Actividades inmobiliarias realizadas a cambio de una retribución o por contrato.	429	3%
Otras actividades de venta al por menor en comercios no especializados.	334	2%
Venta al por menor de artículos de ferretería, pinturas y productos de vidrio en comercios especializados.	331	2%
Actividades de alojamiento para estancias cortas.	324	2%
Venta al por mayor de alimentos, bebidas y tabaco.	302	2%
Los 407 sectores restantes	9.135	59%
<b>Total</b>	<b>15.587</b>	<b>100%</b>

*Fuente: (INEC, 2025)*

# **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA**

## **2.1. Contexto de la investigación**

El presente estudio emplea un enfoque cuantitativo para evaluar la demanda de gas natural en la provincia de Santa Elena, con el objetivo de analizar su viabilidad para una posible masificación. Para ello, se aplica el método de equivalencia energética, permitiendo comparar el consumo de diferentes fuentes de energía y determinar el potencial de sustitución por gas natural en sectores clave como el residencial, industrial y de generación eléctrica.

La investigación se basó en la recopilación y análisis de datos históricos de consumo energético en la región, así como en información sobre la producción y disponibilidad de gas natural en Ecuador. Se emplearon herramientas estadísticas y modelos de proyección para estimar la demanda futura y evaluar los beneficios económicos y ambientales de la transición hacia el gas natural.

A través de esta metodología, se pretende proporcionar una base técnica sólida para la toma de decisiones sobre la implementación y expansión del uso de gas natural en Santa Elena.

## **2.2. Diseño y alcance de la investigación**

### **2.2.1. Diseño de la Investigación**

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, descriptivo y proyectivo, con el propósito de evaluar la demanda de gas natural en la provincia de Santa Elena mediante el método de equivalencia energética. Se basa en la recolección y análisis de datos históricos, la modelización de la demanda futura y la comparación con otras fuentes energéticas.

### **2.2.2. Alcance de la Investigación**

El estudio abarca el análisis de la oferta y demanda de gas natural en Santa Elena, considerando su aplicación en los sectores residencial, industrial y de generación eléctrica. También se evalúan las condiciones actuales de infraestructura, políticas energéticas y los factores económicos que influyen en la viabilidad de la masificación del gas natural.

En términos temporales, la investigación analiza datos desde el 2013 hasta el 2023, estableciendo proyecciones para los próximos años. Territorialmente, se centra en la provincia de Santa Elena, Ecuador, una región con potencial para el desarrollo del mercado de gas natural debido a su ubicación estratégica y su relación con la producción de hidrocarburos en el país.

Este enfoque permitió generar información clave para la formulación de estrategias de implementación y expansión del gas natural en la provincia, con base en criterios técnicos, económicos y ambientales.

## **2.3. Tipo y métodos de investigación**

### **2.3.1. Tipo de Investigación**

El estudio se enmarca en una investigación cuantitativa, descriptiva y proyectiva. Esto implica que es:

- **Cuantitativa**, porque se fundamenta en la recopilación y análisis de datos numéricos sobre la oferta y demanda de gas natural en la provincia de Santa Elena.
- **Descriptiva**, ya que analiza las condiciones actuales del mercado energético, identificando patrones de consumo, fuentes de energía utilizadas y la infraestructura existente.

- **Proyectiva**, dado que, con base en modelos de estimación y tendencias históricas, se establecen proyecciones sobre el crecimiento de la demanda y las posibilidades de masificación del gas natural.

Además, la investigación es no experimental, ya que no se manipulan variables directamente, sino que se analizan datos existentes para evaluar posibles escenarios futuros.

### 2.3.2. Métodos de Investigación

Para desarrollar el estudio, se emplearon los siguientes métodos:

- **Método de Equivalencia Energética:** Permite comparar el consumo de diferentes fuentes energéticas y determinar el potencial de sustitución por gas natural en los sectores analizados.
- **Análisis Estadístico:** Se procesan datos históricos de consumo energético en la provincia de Santa Elena y se aplican herramientas estadísticas para identificar tendencias y variaciones en la demanda de gas natural.
- **Revisión Documental:** Se recopila información de fuentes oficiales, como balances energéticos nacionales, informes gubernamentales y publicaciones científicas, para contextualizar la situación del gas natural en Ecuador.
- **Proyección de Demanda:** Se utilizan modelos de proyección para estimar la evolución del consumo de gas natural en distintos escenarios, considerando factores como crecimiento poblacional, expansión industrial y políticas energéticas.

Este enfoque metodológico permitió generar información relevante con la cual se evaluó la viabilidad de la masificación del gas natural en Santa Elena y su impacto en el sistema energético ecuatoriano.

## **2.4. Población y muestra**

### **2.4.1. Población de estudio**

La población para la investigación será el consumo total de combustibles derivados de petróleo, Gasolina, Diesel y Fuel Oil dentro de los sectores residencial, Industrial y transporte de la provincia de Santa Elena.

### **2.4.2. Muestra**

La muestra se conforma por los registros históricos de consumo anual de combustibles líquidos durante el año 2023 en la provincia de Santa Elena, otorgado por el informe de Balance Energético Nacional y el Ministerio de Energía y Minas.

### **2.4.3. Variables**

- Dependiente: Volumen equivalente de Gas Natural.
- Independiente: Consumo de combustibles líquidos.

## **2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de esta investigación, se emplearán diversas técnicas e instrumentos

que permitirán obtener y analizar información relevante sobre la oferta y demanda de gas natural en la provincia de Santa Elena.

#### **2.5.1. Técnicas de recolección de datos**

1. Revisión documental: Se analizarán fuentes oficiales y académicas, como balances energéticos nacionales, informes gubernamentales, estudios previos y publicaciones científicas relacionadas con el mercado de gas natural en Ecuador.
2. Análisis estadístico: Se empleará el procesamiento de datos históricos de consumo energético en la provincia de Santa Elena para identificar tendencias y patrones en la demanda de gas natural.
3. Proyección y modelado de demanda: Se aplicarán modelos matemáticos y estadísticos para estimar el comportamiento futuro del consumo de gas natural, considerando variables como crecimiento poblacional, industrialización y políticas energéticas.

#### **2.5.2. Instrumentos de recolección de datos**

1. Bases de datos oficiales: Se utilizarán fuentes como el Balance Energético Nacional (BEN), información del Ministerio de Energía y Minas, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), y organismos internacionales.
2. Software de análisis de datos: Se emplearon herramientas como Excel y SPSS para procesar y analizar la información recopilada.

3. Entrevistas y encuestas: Se realizaron entrevistas con expertos del sector energético y encuestas dirigidas a consumidores industriales y residenciales para conocer su percepción sobre la transición al gas natural.

## **2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.**

Para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos recopilados en la investigación, se aplicarán estrategias que permitan validar los instrumentos utilizados en el levantamiento de información y asegurar la consistencia de los resultados obtenidos.

### **2.6.1. Validez de los Instrumentos**

Para garantizar la validez de los instrumentos aplicados, se implementaron los siguientes criterios:

- **Validez de contenido:** Se verificaron que las fuentes de información utilizadas (balances energéticos, informes gubernamentales y académicos) sean pertinentes y aborden los aspectos clave del mercado de gas natural.
- **Validez de criterio:** Se compararon los datos obtenidos con referencias internacionales y estudios previos para asegurar su consistencia.
- **Validez de constructo:** En el caso de las encuestas y entrevistas, se diseñaron de manera que las preguntas reflejaron con precisión las variables de interés, garantizando su alineación con los objetivos del estudio.

### 2.6.2. Confiabilidad de los Instrumentos

Para garantizar la confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos, se aplicaron las siguientes estrategias:

- **Prueba de consistencia interna:** Se evaluaron la coherencia de los datos recopilados mediante análisis estadísticos, como el coeficiente de correlación de Pearson o el alfa de Cronbach (en el caso de las encuestas).
- **Triangulación de fuentes:** Se contrastaron datos provenientes de diferentes fuentes (informes oficiales, estudios académicos y bases de datos internacionales) para verificar su precisión y reducir sesgos.
- **Revisión por expertos:** Se consultaron a especialistas del sector energético para evaluar la pertinencia y precisión de los instrumentos utilizados.

A través de estas estrategias, se garantizó que la información recopilada y analizada en el estudio sea válida, confiable y representativa de la realidad energética en la provincia de Santa Elena.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El siguiente apartado presenta los resultados y el análisis cuantitativo de los datos obtenidos de la aplicación del Método de Equivalencia Energética. Dentro de este capítulo se expone la evaluación de la demanda potencial de Gas Natural para los sectores residenciales, comerciales e industriales dentro de la Península de Santa Elena. Este análisis permite el desarrollo de estrategias técnicas, operacionales y económicas para el proceso de masificación efectiva del Gas Natural.

### 3.1. Diagnóstico del Consumo Energético Actual en la Provincia de Santa Elena

#### 3.1.1. Análisis del consumo de GLP en el sector residencial y comercial

El Gas Licuado de Petróleo, GLP, es considerada como una fuente primaria de energía térmica dentro de la provincia de Santa Elena, tabla 4, donde se registra un consumo intensivo que justifica de manera técnica la transición de GN mediante el uso de una red de distribución (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

**A. Análisis de Ventas y Consumos en Santa Elena.** – Para el año 2023 se registró una cifra de ventas totales de 44.11 millones de Kg (Ministerio de Energías y Minas, 2023), denotando de esta manera que la provincia puede ser considerado como un mercado de alta demanda dentro de la costa ecuatoriana, donde se puede encontrar los siguientes perfiles:

- **Residencial:** A nivel nacional el consumo de GLP tuvo un aumento del 5.6% referente al año 2022, lo que significa una liberación de 7415 KBEP, Kilo Barriles Equivalentes de Petróleo, lo que indica que existe una alta dependencia para la cocción de alimentos y sistemas de regulación de temperatura de agua (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

- **Comercial:** Las ventas que se destinaron para el sector comercial y servicios públicos, llegaron a cifras de 3.307 millones de Kg, para este mismo año. Esta cifra se refleja en las actividades turísticas de los cantones Salinas y Libertad debido a las actividades turísticas (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

**B. Estructura y Dinámica del Consumo.** - La estructura del consumo final de energía dentro del territorio ecuatoriano denota que los consumos para los sectores residencial y comercial referente a la demanda total son del 13.5% y 6.1%, respectivamente. Adicionalmente, se define un crecimiento promedio anual sostenido del 2% en el consumo de GLP para el periodo 2013 – 2023, donde la provincia de Santa Elena consume un 3.7 % de GLP que se vende a nivel nacional, representando un total de 1'203,758 kg, cifra que deja ver una alta demanda, lo que demuestra la existencia de un panorama positivo para la masificación del GN mediante el uso de una red de tuberías (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

**C. Justificación para la Masificación.** – La mejoría de la eficiencia energética, al sustituir el GLP por GN, no es la única justificación que presenta el proyecto, sino también la optimización de la logística regional, donde el GLP llega al usuario final mediante cilindros y una red de distribución móvil (camiones), mientras que la existencia de la infraestructura del Terminal Monteverde dentro de la provincia, que ofrece una ventaja técnica – operativa para la implementación de un sistemas de desgasificación y distribución de GN que reduzca la dependencia de combustibles subsidiados (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

**Tabla 4.**

## Consumo de GLP en Santa Elena

<b>Indicador (2023)</b>	<b>Valor en Santa Elena</b>	<b>Unidad</b>
Ventas Totales de GLP	44,11	M de kg
Ventas Sector Comercial	3,307	M de kg
Participación Nacional (Ventas)	3.66%	Porcentaje
Crecimiento Residencial (Nacional)	5.60%	Variación anual

*(Ministerio de Energías y Minas, 2023)*

### **3.1.2. Caracterización del consumo de Diésel y Fuel Oil en el sector industrial y generación eléctrica**

Los informes levantados en 2023 por CENACE y CELEC EP permiten a este estudio realizar un dimensionamiento de volúmenes de uso de combustibles y el impacto que estos generan en la matriz energética local de la provincia de Santa Elena, donde esta se ve sustentada en derivados líquidos de petróleo (CELEC EP, 2023; Operador Nacional de Electricidad - CENACE, 2023).

**A. Generación Eléctrica.** – A través del parque termoeléctrico, la provincia de Santa Elena es parte de la seguridad del Sistema Nacional Interconectado, SIN. De acuerdo con los informes de las entidades reguladoras, la generación térmica fue clave para los tiempos de estiaje. La central Santa Elena III se logró recuperar en el año 2023 con una generación de 165 MW (CELEC EP, 2023). Para lograr esta generación de energía la infraestructura depende del flujo constante de combustible Fuel Oil, para la generación, y Diesel Oil, para el arranque de las turbinas. Lo que representa altos costos operativos frente al consto del GN (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

- B. Sector Industrial y Agroindustrial.** – Estos sectores, dentro de la provincia de Santa Elena, se vincula a las actividades de pesca y acuicultura y manufactura, donde se evidencia una alta dependencia de los combustibles fósiles para procesos térmicos. Para el año 2023 el sector industrial reporto un consumo de 156.3 millones de galones de Diesel Oil, en la provincia se demuestra que es el insumo principal para las flotas pesqueras y calderas de procesamiento de harina de pescado y calderas de calefacción de agua para los laboratorios de larvas. Mientras que el Fuel Oil reporta un consumo nacional de 72.5 millones en industrias con un alto índice de demanda térmica, este indicador ha presentado una disminución del 5.3% frente al año 2022, indicando de manera contundente que las industrias se encuentran en la búsqueda de fuentes térmicas alternativas. Lo que sugiere un panorama positivo para la masificación del gas natural (CELEC EP, 2023; Ministerio de Energías y Minas, 2023).
- C. Análisis de oportunidad de sustitución.** – Es conocido que la activación de las termoeléctricas genera un alza en los costos de producción energética. Por lo tanto, la sustitución por el gas natural presenta ventajas importantes como: **Reducción de costos de generación**, debido a la cercanía de la terminal Monteverde a la termoeléctrica Santa Elena III, es factible la alimentación con gas natural, lo que permite disminuir los costos por MWh que se genere; otra ventaja que presentaría es la **Eficiencia Industrial**, donde se podrá observar la migración de los sectores pesqueros, acuícolas de Diesel / Fuel oil a gas natural, mejorando de esta manera la competitividad debido a la reducción de costos energéticos; finalmente se presenta la **Seguridad de Suministro**, donde la importancia de diversificar las fuentes de energía para el SIN es mencionado por el informe CENACE, e identifica al gas natural como una fuente de respaldo más limpia y económica que las estaciones termoeléctricas actuales que funcionan a base de combustibles líquidos (Operador Nacional de Electricidad - CENACE, 2023).

### **3.1.3. Evaluación del parque automotor y potencial de consumo de GNV.**

La determinación de la viabilidad del uso de Gas Natural Vehicular, GNV, dentro de la provincia de Santa Elena, se debe contrastar las cifras de vehículos matriculados y el consumo de combustible bajo la normativa NTE INEN 2310.

- A. Datos del parque automotor y consumo de combustible.** - De acuerdo con el Anuario de Estadísticas de Transporte 2023, AET, y el Boletín Técnico 2023, ESTRA, determinan que el comportamiento de este sector en la zona de estudio, Santa Elena, presenta un incremento de matriculación vehicular de transporte liviano y pesado de un 6.42%, lo que coherente con el crecimiento nacional (Hidalgo, 2025; Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2024), además este sector es el de mayor demanda de energía, en la provincia de Santa Elena, la gasolina EcoPaís y Diesel Premium son los combustibles de mayor uso (Ministerio de Energías y Minas, 2023). Es importante mencionar que bajo el Acuerdo Ministerial 126, el Terminal Monteverde se encuentra facultado para ejercer funciones como centro de transferencia de gas natural para el uso en los vehículos (Acuerdo No. 126: Reglamento para la Comercialización de Gas Natural para uso en Vehículos Automotores, 2008).
- B. Valores reales frente a proyección.** - Para poder realizar el cálculo de equivalencia energética y el diseño de la demanda potencial, se establecen valores en la tabla 5

**Tabla 5.**

Indicadores y valores de proyección para masificación de uso de gas natural.

<b>Indicador</b>	<b>Valor Real (Fuente: BEN/INEC)</b>	<b>Valor proyectado</b>	<b>Coherencia Técnica</b>
<b>Población Vehicular (SE)</b>	~45,000 vehículos matriculados	4,500 unidades (10%)	Meta de conversión inicial (Taxis/Buses).
<b>Consumo Promedio</b>	12.5 galones/día (Taxi)	13.2 GNC/día	Aplicando factor de equivalencia 1:1.05.
<b>Precio Combustible</b>	\$2.40 / gal (Gasolina Extra)	\$1.50 / GNV	Precio proyectado para competitividad.
<b>Eficiencia Térmica</b>	Variable según estado motor	95% de eficiencia	Equipos de 5ta generación (NTE INEN 2310).
<b>Autonomía</b>	350 km / tanque	180 km / cilindro GNC	Capacidad estándar de cilindro de 60L.

C. **Estimación del potencial de consumo semanal.** - Se ha realizado la siguiente proyección considerando que el parque automotor de transporte público en Santa Elena consta de 2500 unidades en el eje Salinas – La Libertad Santa Elena (Hidalgo, 2025), donde la demanda actual de gasolina de manera semanal es de 175,000 galones, lo que se convierte en 230,000 m<sup>3</sup> de gas natural, de acuerdo con el método de equivalencia, sustituyendo el combustible es posible la reducción de importación de naftas de alto octanaje, contribuyendo a la economía del país (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

D. **Análisis de viabilidad normativa.** - La implementación de este proyecto de masificación de gas natural tiene sus bases en las normas NTE INEN 2260, misma que rige la instalación de gases combustibles, para esta implementación se propone la colocación de 3 estaciones en puntos estratégicos: Ingreso a la vía Santa Elena (Vía a la Costa), Zona industrial (La Libertad) y Sector turístico en Salinas. De esta manera se espera que el 80% del parque automotor sea capaz de tener un punto de

carga en un rango no mayor a 5 Km, lo que cumple con la normativa de logística de última milla para combustibles gaseosos (Acuerdo Ministerial 127: Reglamento de Comercialización de Gas, Uso Residencial y Comercial, 2008)

### **3.2. Aplicación del Método de Equivalencia Energética**

Para la determinación de los Poderes Caloríficos Inferiores se utilizan los datos establecidos en el Balance Energético Nacional – 2023 y las constantes físicas de hidrocarburos que permitan la conversión de los valores.

#### **3.2.1. Determinación de los Poderes Caloríficos Inferiores (PCI) de los combustibles sustituibles**

Se aplica el método de Equivalencia Energética para la evaluación de la sustitución de combustibles líquidos por gas natural. De esta manera es posible la determinación de la cantidad de gas necesaria que equipare el trabajo realizado por unidad de combustible tradicional, con base en el PCI de los elementos analizados.

##### **A. Definición de variable, Unidades de medida y Cálculo de la tasa de sustitución**

La tabla 6 muestra los valores PCI normados en Unidades Térmicas Británicas, BTU. Estos valores se obtienen del Balance Energético Nacional y de los estándares petroleros (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

**Tabla 6.**

Valores PCI de las variables que intervienen en la investigación

<b>Combustible</b>	<b>Estado / Unidad</b>	<b>PCI (Unidad Local)</b>	<b>PCI (BTU Equivalente)</b>
<b>Gas Natural</b>	Gaseoso (m <sup>3</sup> )	9,300 kcal/ m <sup>3</sup>	35,314
<b>Gasolina Extra/Eco</b>	Líquido (gal)	30,750 kcal/gal	122,020
<b>Diésel Premium</b>	Líquido (gal)	34,780 kcal/gal	138,015
<b>GLP</b>	Líquido (kg)	11,080 kcal/kg	43,968
<b>Fuel Oil #6</b>	Líquido (gal)	37,200 kcal/gal	147,610

*(Ministerio de Energías y Minas, 2023)*

**B. Fórmulas de equivalencia energética.** - Para determinar la equivalencia energética se aplica la siguiente ecuación matemática (Moran & Shapiro, 2018):

$$V_{GN} = \frac{V_{sust} \cdot PCI_{sust}}{PCI_{GN} \cdot \eta_{rel}}$$

Donde:

$V_{GN}$ : Volumen de gas equivalente (m<sup>3</sup>)

$V_{SUST}$ : Volumen de combustible a sustituir (galones)

$PCI_{SUST}$ : Poder calorífico del combustible a sustituir

$PCI_{GN}$ : Poder calorífico del Gas Natural

$\eta_{rel}$ : Factor de eficiencia relativa (adimensional) valores tomados para este estudio  
0.95 para vehículos y 1.03 para calderos

**C. Cálculo de tasa de sustitución por sector.** - Se realiza el cálculo para cada uno de los sectores analizados dentro del trabajo de investigación.

Para el sector vehicular se utiliza el poder calorífico de la gasolina EcoPaís, para conocer la cantidad de gas natural necesaria para la realización del mismo trabajo.

$$V_{GN} = \frac{1 \text{ gal} \cdot 122,020 \text{ BTU/gal}}{35,314 \text{ BTU/m}^3 \cdot 0.95}$$

$$V_{GN} = 3.64 \text{ m}^3$$

De igual manera para el sector residencial y comercial, se considera a estandarización de un cilindro de gas, el cual pesa 15 kg.

$$PCI_{GLP} = 15 \text{ kg} \cdot 2.204 \text{ lb/kg} \cdot 21,500 \text{ BTU/lb}$$

$$PCI_{GLP} = 710,790 \text{ BTU}$$

$$V_{GN} = \frac{710790 \text{ BTU}}{35,314 \text{ BTU/m}^3}$$

$$V_{GN} = 20.13 \text{ m}^3$$

$$V_{GN} = 1.34 \text{ m}^3$$

Finalmente, para el sector industrial, se utiliza el CPI del Diesel y del Fuel Oil utilizado para las calderas, aplicando la siguiente fórmula:

$$V_{GN} = \frac{1 \text{ gal} \cdot 138,015 \text{ BTU/gal}}{35,314 \text{ BTU/m}^3 \cdot 1.03}$$

$$V_{GN} = 3.79 \text{ m}^3$$

$$V_{GN} = \frac{1 \text{ gal} \cdot 147,610 \text{ BTU/gal}}{35,314 \text{ BTU/m}^3 \cdot 1.03}$$

$$V_{GN} = 3.98 \text{ m}^3$$

D. **Matriz Resumen de factores de conversión.** - Los cálculos realizados permiten estimar el volumen de gas natural necesario para realizar el mismo trabajo que los combustibles líquidos en los procesos industriales dentro de la provincia de Santa Elena, tabla 7.

**Tabla 7.**

Resumen de volúmenes de gas natural necesarios.

<b>Combustible a Sustituir</b>	<b>Unidad Origen</b>	<b>Factor de Conversión (m3 GN)</b>
<b>Gasolina EcoPaís</b>	1 Galón	3.64
<b>Diésel Premium</b>	1 Galón	3.79
<b>GLP (Cilindro)</b>	15 kg	20.13
<b>Fuel Oil #6</b>	1 Galón	3.98

Es importante mencionar que para el caso de Fuel Oil a pesar de necesitar mayor cantidad de gas natural, su mejora radica en el costo MMBTU debido a que el Fuel Oil requiere de precalentamiento y mantenimiento de boquillas por su densidad y contaminación por contenido de azufre, a diferencia del gas natural que ingresa de manera gaseosa en los calderos.

### 3.2.2. Modelado de la demanda potencial proyectada

El modelado de la demanda potencial para la provincia de Santa Elena tiene su base en los datos de consumos históricos y los factores de equivalencias calculados en el apartado anterior.

A. **Algoritmo de Conversión Sectorial.** - Cada uno de los sectores económicos mencionados se calcula la demanda de Gas Natural,  $D_{GN}$ , mediante la siguiente ecuación:

$$D_{GN} = C_{actual(i)} \times FE_{(i)} \times f_{eff}$$

Donde:

$C_{actual(i)}$ : Consumo de combustible actual

$FE_{(i)}$ : Factor de equivalencia energética

$F_{eff}$ : Factor de eficiencia técnica

**B. Desarrollo de Cálculo por Segmento de Mercado.** - El sector residencial y comercial dentro de la provincia de Santa Elena, para el año 2023, consumió 44'115,000 kg de GLP (Ministerio de Energías y Minas, 2023). Por lo tanto, se utiliza el factor de conversión que expresa que 1 kg de GLP equivale a 1.342 m<sup>3</sup> gas natural.

$$D_{GN} = 44'115,000kg \times \frac{1.342m^3}{kg}$$

$$D_{GN} = 59'202,330 m_{GN}^3/año$$

Para el reemplazo de la gasolina, dentro del sector de la transportación, se utiliza el factor de conversión del combustible EcoPaís (3.64 m<sup>3</sup>), mismo que dentro de la provincia de Santa Elena, registró un consumo de 28 millones de galones para el año 2023 (Ministerio de Energías y Minas, 2023).

$$D_{GN} = \frac{28'000,000 gal \times \frac{3.64 m^3}{gal}}{0.95}$$

$$D_{GN} = 107'284,210 m_{GN}^3/año$$

La demanda industrial en el sector pesquero, acuicultor, agrícola y la central de térmica Santa Elena III han tenido un consumo estimado de 20.7 millones de galones de destilados pesados , Diesel y Fuel Oil (Hidalgo, 2025; Ministerio de Energías y

Minas, 2023). Para este cálculo se ha utilizado un factor de conversión promedio, entre el Diesel y el Fuel Oil.

$$D_{GN} = \frac{20'700,000 \text{ gal} \times \frac{3.885 \text{ m}^3}{\text{gal}}}{1.05}$$

$$D_{GN} = 76'590,000 \text{ m}_{GN}^3/\text{año}$$

C. **Proyección total de la Demanda.** - La tabla 8, muestra los valores de la demanda de gas para la sustentación de la matriz energética local.

**Tabla 8.**

Consumo anual de combustible.

Sector	Cantidad	Gas Natural
Residencial / Comercial (GLP)	44'115,000 <i>kilogramos</i>	59'202,330 $m_{GN}^3$
Transporte	28'000,000 <i>galones</i>	107'284,210 $m_{GN}^3$
Industrial y Generación	20'700,000 <i>galones</i>	76'590,000 $m_{GN}^3$
<b>Total de la demanda</b>		<b>243'076,540 <math>m_{GN}^3</math></b>

D. **Proyección a 10 años.** - Para la proyección a 10 años se ha considerado la tasa de crecimiento del parque automotor del 3.5% interanual (Hidalgo, 2025) y la expansión de la zona industrial.

Para esto es necesario la aplicación del modelado matemático de crecimiento geométrico (Valbuena, 2000).

$$D_n = D_0 \cdot (1 + r)^n$$

Donde:

$D_n$ : Demanda en el año  $n$  ( $m^3$  / anual)

$D_0$ : Demanda del año base

$r$ : Tasa de crecimiento

$n$ : Periodo de tiempo en años

En la tabla 9, se plantean 3 escenarios para la evaluación de la sensibilidad del proyecto: Un escenario conservador con  $r=2\%$ , bajo crecimiento industrial y lenta tasa de conversión vehicular; El segundo escenario que responde a la tasa de crecimiento mencionada anteriormente con  $r=3.5\%$ , cuya base se sientan en las tendencias históricas del sector de hidrocarburos en la provincia de Santa Elena; Finalmente, un escenario optimista, para  $r=5\%$ , donde se planteen incentivos gubernamentales agresivos para alcanzar un alto índice de sustitución de los combustibles líquidos.

Conservador:

$$D_{10} = 243'076,540 \cdot (1 + 0.02)^{10}$$

$$D_{10} = 296'308,945.89 \text{ m}^3$$

Probable:

$$D_{10} = 243'076,540 \cdot (1 + 0.035)^{10}$$

$$D_{10} = 342'883,466.06 \text{ m}^3$$

Optimista:

$$D_{10} = 243'076,540 \cdot (1 + 0.05)^{10}$$

$$D_{10} = 395'946,069.90 \text{ m}^3$$

**Tabla 9.**

Proyección de cantidad de gas necesaria de acuerdo con el porcentaje de crecimiento.

Año	Tipos de Escenarios		
	Conservador 2% (m <sup>3</sup> )	Probable 3.50% (m <sup>3</sup> )	Optimista 5% (m <sup>3</sup> )
0	243'076,540	243'076,540	243'076,540
1	247'938,071	251'584,219	255'230,367
2	252'896,832	260'389,667	267'991,885
3	257'954,769	269'503,305	281'391,480
4	263'113,864	278'935,921	295'461,054
5	268'376,142	288'698,678	310'234,106
6	273'743,664	298'803,132	325'745,812
7	279'218,538	309'261,241	342'033,102
8	284'802,908	320'085,385	359'134,757
9	290'498,967	331'288,373	377'091,495
10	296'308,946	342'883,466	395'946,070

### 3.3. Propuesta de Infraestructura y Logística de Masificación

#### 3.3.1. Evaluación Técnica del Terminal Monteverde como centro de acopio y distribución

El Terminal Marítimo Monteverde, se encuentra ubicado en la provincia de Santa Elena, se puede considerar como la infraestructura de mayor relevancia para un proyecto de masificación de uso de Gas Natural dentro del territorio ecuatoriano. En la actualidad, esta infraestructura se encuentra diseñada para receptor, almacenar y realizar despachos de GLP. La infraestructura con cambios a pequeña y mediana escala es capaz de manejar Gas Natural Licuado, GNL (Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador, 2024).

A. **Infraestructura Marítima y de Atraque.** - El terminal Marítimo cuenta con un puente de acceso de longitud de 3.8 km conectando la costa con el muelle de atraque en aguas profundas. Además, cuenta con un diseño para la recepción de buques tipo *Gas Carrier* de hasta 75,000 DWT, permitiendo el arribo de buques de transportación de Gas Natural Licuado sin la necesidad de dragados adicionales. Adicional a esto,

el muelle cuenta con un calado de 15 metros para la operatividad durante las 2 horas (Diario El Telégrafo, 2019).

**B. Capacidad de Almacenamiento y Potencial de Conversión.** - En la actualidad, el Terminal Marítimo Monteverde opera con una esfera de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo, GLP, y un sistema de almacenamiento refrigerado (Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador, 2024). Para la masificación del uso de Gas Natural, GN, se evalúa la implementación de tanques de almacenamiento criogénico de tipo *Full Containment* en el espacio disponible dentro de los predios, de igual manera se pretende la implementación de infraestructura para la regasificación con la instalación de Vaporizadores de Aire Ambiental, AAV.

**C. Análisis de Integración con el Gasoducto Virtual.** - La proyección de la demanda del sector de transportación registra un aproximado de 107.28 millones de m<sup>3</sup> anuales. Por lo tanto, es necesario la habilitación de una estación de carga de cisternas, capaz de cubrir la demanda, para ello utilizamos los siguientes parámetros:

- Capacidad de cisterna de GNL: 50 m<sup>3</sup> en estado líquido
- Factor de expansión: 600:1, esto implica que por cada 1 m<sup>3</sup> líquido se obtienen 600 m<sup>3</sup> en estado gaseoso.
- Gas por cisterna: 50 \* 600 = 30,000 m<sup>3</sup> por cada camión cisterna

Por lo tanto, el número de despachos a realizar desde la estación Monteverde, se obtiene mediante la siguiente expresión matemática.

$$N_{cisterna} = \frac{107'284,210 \text{ m}^3 / \text{año}}{30,000 \text{ m}^3 / \text{cisterna}}$$

$$N_{cisterna} = 3,576 \text{ despachos} / \text{año}$$

$$N_{cisterna} = \frac{3,576 \text{ despachos / año}}{365 \text{ días / año}}$$

$$N_{cisterna} = 9.8 \text{ despachos diarios}$$

Este cálculo predice que la estación Monteverde debe realizar el despacho de 10 camiones cisterna diarios hacia las estaciones de distribución del sector de transporte.

- D. **Cumplimiento Normativo.** - La integridad de la planta será garantizada por la evaluación de cumplimiento de las normativas internacionales y nacionales vigentes, como las NFPA59A, que regula la estandarización para la producción, almacenamiento y manejo de GNL; Así como también la norma NTE INEN 2260, que regula las instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial; Finalmente, de manera local, los acuerdo ministeriales 126 y 127 que regulan la comercial de Gas Natural en vehículos yuso residencial.
- E. **Determinación del Caudal de Diseño.** - El dimensionamiento de las tuberías para la estación de regasificación en el Terminal Monteverde es necesario el cálculo de Caudal Máximo Diario,  $Q_{MD}$ , y Horario,  $Q_{MH}$  (Bateman, 2007).

**Caudal Medio Diario ( $Q_{med}$ ):** Para determinar esta variable se utiliza la cantidad de gas necesaria en la proyección a 10 años realizada en el modelado de demanda en el acápite anterior, es decir:

$$Q_{med} = \frac{\text{Demanda Anual}}{\text{Días del año}}$$

$$Q_{med} = \frac{342'883,466}{365}$$

$$Q_{med} = 939,406.76 \text{ m}^3 / \text{día}$$

**Caudal Máximo Diario ( $Q_{MD}$ ):** La determinación de este caudal se realiza mediante la premisa de que se espera o se diseña para abastecer la población con un aumento del 30%, Por lo tanto, el factor de mayoración será de 1.3.

$$Q_{MD} = \text{Demanda Diaria} \times \text{Factor Mayoración}$$

$$Q_{MD} = 939,406.76 \times 1.3$$

$$Q_{MD} = 1'221,228.78 \text{ m}^3 / \text{día}$$

**Caudal Máximo Horario ( $Q_{MH}$ ):** Este volumen es el que fluye en momentos de máximo consumo, en el sector residencial el consumo se maximiza entre las 11:30 y las 13:30, mientras que en el sector vehicular, las horas de mayor consumos se encuentran en la mañana 07:00 y por la tarde 18:30-19:00 en los cambios de turnos (Ministerio de Energías y Minas, 2023). En Ingeniería es importante realizar el diseño de las tuberías con un margen superior al promedio, debió a que llegado el momento de horas pico de consumo, la presión podría descender drásticamente. Por ende, se establece un factor de variación horaria de 1.5, lo que representa el 50% de la demanda total (Bateman, 2007)

$$Q_{MH} = \frac{\text{Demanda Diaria}}{24 \text{ horas}} \times \text{Factor variación}$$

$$Q_{MH} = \frac{1'221,228.78}{24} \times 1.5$$

$$Q_{MH} = 76,326.80 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Los cálculos indican que el sistema de masificación debe ser capaz de mantener un flujo máximo de 76,327 m<sup>3</sup>/h

### 3.3.2. Diseño conceptual de la red de distribución

Para la provincia de Santa Elena se propone la implementación de una red híbrida que combina Gasoducto Virtual (corto plazo) para los abastecedores del sector de transporte y Redes de distribución por tuberías (mediano y largo plazo) en las zonas urbanas para los sectores residenciales e industriales en las zonas urbanas.

**A. Parámetros de Diseño y Caudales de Cálculo.** - El dimensionamiento tiene su base en el Caudal Máximo Horario,  $Q_{MH}$ , que se determinó en el apartado anterior, adicional es necesario cumplir con los parámetros definidos en las normativas vigentes que regulan el uso y la comercialización de GN.

Para ello se definen los siguientes parámetros, tabla 10 (Acuerdo Ministerial 127: Reglamento de Comercialización de Gas, Uso Residencial y Comercial, 2008; Acuerdo No. 126: Reglamento para la Comercialización de Gas Natural para uso en Vehículos Automotores, 2008; Bateman, 2007; Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010):

**Tabla 10.**

Parámetros para diseño

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de Diseño, $Q_{MH}$	76,327	m <sup>3</sup>
Velocidad Máxima de Flujo, $V_{max}$	20	m/s
Presión de Operación, Red Troncal	50	bar
Presión de Operación, Red de Distribución	4	bar

**B. Dimensionamiento de la Tubería Troncal.** - La transportación del suministro de gas desde la Terminal Monteverde hacia los centros de consumo es necesario el uso de la ecuación de continuidad de flujo compresible (Bateman, 2007):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{op}}{\pi \cdot V_{max} \cdot 3600}}$$

Para encontrar el Caudal de Operación,  $Q_{op}$ , es necesario realizar la conversión del Caudal Máximo Horario a las condiciones de operación a 50 bar.

$$Q_{op} = \frac{Q_{HM}}{\text{Presión de Operación}}$$

$$Q_{op} = \frac{76,327}{50}$$

$$Q_{op} = 1,526.24 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Seguido a esto se procede a realizar el cálculo de diámetro interno de la tubería para la red troncal

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,526.24}{\pi \cdot 20 \cdot 3600}}$$

$$D = \sqrt{0.027}$$

$$D = 0.1643 \text{ m}$$

Por lo tanto, es necesario convertir este valor en una medida estándar de comercialización, mediante la conversión de metros a pulgadas con el uso de la siguiente ecuación matemática:

$$D = 0.1643 \text{ m} \times 39.37 \frac{\text{pulgadas}}{\text{metro}}$$

$$D = 6.42 \text{ pulgadas}$$

Una vez determinado el diámetro interno, es posible verificar que dentro del mercado local existen tuberías de 6 pulgadas, sin embargo, esta medida queda por debajo de la medida mínima lo que ocasionaría demasiada fricción y ruido. Por lo tanto, se selecciona el diámetro comercial superior inmediato, de 8 pulgadas, esto asegura que las velocidades de flujo se mantengan dentro de los rangos permitidos por la normativa ASME B31.8.

- C. Red de Distribución Urbana.** - Para las ciudades de Salinas y La Libertad se propone el uso de tuberías de Polietileno de Alta Densidad debido a su resistencia a la corrosión por la salinidad de la zona. En la red primaria urbana se propone el uso de una tubería de 110 mm capaz de resistir presiones de hasta 4 bar, mientras que para la red secundaria, las acometidas, se propone el uso de tuberías de 32 mm que soporte hasta 20 mbar, baja presión, en los puntos de consumo (Acuerdo Ministerial 127: Reglamento de Comercialización de Gas, Uso Residencial y Comercial, 2008; Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).
- D. Componentes del Gasoducto Virtual.** - Debido a las distancias dispersas de las industrias y las diferentes estaciones de servicios para GNV, se debe integrar un sistema de logística con características criogénicas con cisternas con capacidad de 50 m<sup>3</sup> de GNL y estaciones de regasificación satélite que de lo posible se integren en las zonas industriales y tengan la capacidad de albergar tanques verticales de almacenamiento y vaporizadores de aire ambiental.
- E. Seguridad y Control.** - La red de distribución debe contar con válvulas de rápido que estén automatizadas y ubicadas a cada 5 km dentro de la red troncal. Es necesario mantener un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de presiones y detecciones de fugas. Finalmente, deben existir estaciones de regulación y mediciones que permitan la reducción de presión de 50 bar, de la red troncal, a 4 bar,

de la red de distribución urbana (Acuerdo No. 126: Reglamento para la Comercialización de Gas Natural para uso en Vehículos Automotores, 2008).

### 3.3.3. Especificaciones de las estaciones de servicio y centros de regulación

Para la etapa final de la masificación del uso de Gas Natural es necesaria la implementación de puntos estratégicos para el despacho hacia el usuario final. Esta investigación para la provincia de Santa Elena, se propone infraestructura de Estación de Servicio GNV, para el sector de transporte, y Estaciones de Regulación y Medición, para el sector residencial e industrial.

**A. Estación de Servicio de Gas Natural Vehicular, GNV.** - Como se propone en apartados anteriores, el suministro para las estaciones de servicios desde la Terminal Monteverde se llevará a cabo mediante Gasoducto Virtuales. Por lo tanto, es necesario que estas estaciones presenten las siguientes características básicas de acuerdo con la normativa, tabla 11 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2008)

**Tabla 11.**

Características básicas para la Estación de Servicio GNV

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tanque de Almacenamiento</b>	Deben ser tanques verticales, aislados al vacío, con capacidades de 30 a 60 m <sup>3</sup> , capaz de mantener el GN a -160 °C
<b>Unidad de Vaporización</b>	Vaporizadores de tipo AAV para la transformación de líquido a gas con aprovechamiento de la temperatura ambiente
<b>Compresor de Respaldo</b>	En caso de necesitar GNC, Gas Natural Comprimido, a 200 bar
<b>Dispensador</b>	Debe tener mangueras capaces de soportar altas presiones y boquillas de conexión rápida que sea compatible con los kits de conversión

- B. Estaciones de Regulación y Medición, EMR.** – El sector residencial, industrial y acuícola de la provincia de Santa Elena deberán realizar cambios en su infraestructura para incorporar las ERM y poder realizar la reducción de presión para la distribución óptima dentro de su ambiente de trabajo.

Esto se realiza en 4 etapas: La primera, el proceso de filtrado que permite la eliminación de sólidos y condensados para asegurar la integridad de los medidores; La segunda etapa, la regulación de presión, aquí se instala un sistema de doble rama, una para la operatividad y otra para reserva. En esta etapa es importante realizar la reducción de 50 bar de la red troncal a 4 bar en la red de distribución y finalmente a 0.02 bar para el uso doméstico; La tercera etapa consiste en la medición fiscal, es importante incorporar un medidor de turbina o ultrasónico para la facturación (Acuerdo Ministerial 127: Reglamento de Comercialización de Gas, Uso Residencial y Comercial, 2008); La última etapa, un sistema de odorización, que permita la inyección de mercaptano que mitigue el olor característico del gas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

- C. Centros de Regulación Industrial.** – En este grupo entra los centros de procesamiento de harina de pescado y la central termoeléctrica Santa Elena III, mismas que deben adaptar su infraestructura para la instalación de centros de regulación capaces de mantener un flujo de caudal de  $76,327 \text{ m}^3 / \text{h}$ , además de instalar intercambiadores de calor que eviten la congelación de las válvulas por el efecto Joule-Thompson durante el proceso de expansión del gas cuando pasa de alta a baja presión.

### 3.4. Análisis Económico y Ambiental de la Sustitución

#### 3.4.1. Análisis de costos: Precio por MMBTU del Gas Natural frente a combustibles tradicionales

La investigación referente a la competitividad del Gas Natural tiene su fundamentación en el costo por cada unidad de energía proporcionada. Debido a que los combustibles líquidos tienen diferentes características energéticas, se utiliza el MMBTU para realizar las comparaciones técnicas y financieras.

**A. Definición de la Unidad de Comparación, MMBTU y Estructura de Costos de Combustibles Líquidos.** – Esta unidad está representada por la cantidad de 1'000,000 de BTU, para obtener los valores de los MMBTU se utilizan los precios actuales de los combustibles (Decreto Ejecutivo No. 308: Reglamento Codificado de Regulación de Precios de Derivados de Hidrocarburos, 2024), y la siguiente ecuación matemática de la termodinámica y economía energética (Cengel & Boles, 2011):

$$C_{MMBTU} = \frac{\text{Precio}_{\text{Combustible}} \times 1'000,000 \text{ BTU}}{PCI}$$

Donde:

$C_{MMBTU}$ : Costo de MMBTU

$\text{Precio}_{\text{Combustible}}$ : Precio actual del combustible a evaluar

$PCI$ : Poder calorífico

### 1. Gasolina EcoPaís

$$C_{MMBTU} = \frac{2.722 \times 1'000,000}{122,020}$$

$$C_{MMBTU} = 22.31 \text{ USD / MMBTU}$$

### 2. Diesel Premium

$$C_{MMBTU} = \frac{1.797 \times 1'000,000}{138,015}$$

$$C_{MMBTU} = 13.02 \text{ USD / MMBTU}$$

### 3. Fuel Oil #6

$$C_{MMBTU} = \frac{1.35 \times 1'000,000}{147,610}$$

$$C_{MMBTU} = 9.15 \text{ USD / MMBTU}$$

#### 4. Gas Natural

$$C_{MMBTU} = \frac{0.657 \times 1'000,000}{35,314}$$

$$C_{MMBTU} = 18.60 \text{ USD / MMBTU}$$

**B. Análisis de Matriz Comparativa de Competitividad Económica.** – A continuación, la tabla 12 presenta una comparativa entre los precios y el diferencial frente al Gas Natural.

**Tabla 12.**

Comparativa de combustibles a sustituir y diferencial frente al GN

<b>Combustible</b>	<b>Precio (USD/Unidad)</b>	<b>PCI (BTU/Unidad)</b>	<b>Costo (USD/MMBTU)</b>	<b>Diferencial vs GN</b>
<b>Gasolina EcoPaís</b>	\$2.722 / gal	122,020	\$22.31	+19.9%
<b>Diésel Premium</b>	\$1.797 / gal	138,015	\$13.02	-30.0%
<b>Fuel Oil #6</b>	\$1.350 / gal	147,610	\$9.15	-50.8%
<b>Gas Natural (GN)</b>	\$0.657 / m <sup>3</sup>	35,314	\$18.60	Base

Es importante mencionar que el análisis comparativo para la provincia de Santa Elena refleja escenarios de alta competitividad de acuerdo con el sector aplicado. Para el sector de transportación se observa una ventaja del 19.9% con una diferencia de 3.71 USD/MMBTU dando relevancia al proyecto de masificación del uso de Gas Natural.

En contraste con el Diesel Premium y el Fuel Oil, el uso de Gas Natural presenta una desventaja del 30% (5.58 USD) y 50.8% (9.45 USD), respectivamente. Sin embargo, este diferencial es únicamente bajo el concepto de costo por millón de unidad térmica. Por lo tanto, es necesario el análisis bajo el concepto de costo de operación, si bien es cierto los costos térmicos son más elevados, estos se ven compensados en

los bajos costos de mantenimientos al tener menor cantidad de contenido de azufre, posicionando al Gas Natural como una alternativa favorable que permita la masificación del consumo de este.

### 3.4.2. Estimación del ahorro por reducción de subsidios estatales

El proyecto de masificación de uso de Gas Natural dentro de la provincia de Santa además de representar un beneficio para el consumidor final si no también constituye una estrategia a nivel fiscal que permite una reducción en el gasto público. Esto debido a que el estado ecuatoriano utiliza miles de millones de dólares que permiten la importación de derivados como nafta, Diesel y GLP para cubrir la falta de refinación y venderlos con un precio inferior al de la adquisición.

**A. Metodología de Cálculo del Ahorro Estatal.** – Este cálculo se lleva a cabo mediante la diferencia entre el subsidio unitario del combustible y el costo de oportunidad de implementación de Gas Natural (Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 2017).

$$A_s = \sum [V_{sust(i)} \times (CP_{(i)} - PVP_{(i)})]$$

Donde:

$A_s$ : Ahorro Estatal

$V_{sust(i)}$ : Volumen anual de combustible para sustitución

$CP_{(i)}$ : Costo de importación por galón

$PVP_{(i)}$ : Precio de venta al público subsidiado (Decreto Ejecutivo No. 308: Reglamento Codificado de Regulación de Precios de Derivados de Hidrocarburos, 2024)

**B. Análisis de Ahorro en el Sector Transporte.** – Para este análisis se utiliza los valores correspondientes al combustible EcoPaís consumida en el año. De acuerdo al Manual de Planificación Energética el costo de importación es de aproximadamente 3.50 Usd/Galón (Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 2017), el valor de venta al público es de 2.72 USD/Galón (Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 2017). Por lo tanto, el valor costado por el gobierno es de 0.778 Usd/Galón. Es decir, el ahorro anual por la sustitución de este combustible líquido se define de la siguiente manera:

$$A_s = \sum [28'000,000 \times (3.50 - 2.722)]$$

$$A_s = 21'784,000 \text{ USD/año}$$

**C. Análisis de Ahorro en el Sector Industrial y Generación**

La condición del Diesel Premium y el Fuel Oil es un caso especial, puesto que el subsidio de este es mayor, de acuerdo con el consumo promedio de estos derivados pesados es de 12.5 millones de galones. El costo de importación de estos es de 3.80 USD/Galón (Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 2017), mientras que el precio al público subsidiado es de 1.797 USD/Galón, Es decir el valor que el estado cubre es de 2.003 USD/Galón. Por lo tanto, el ahorro estimado podría definirse mediante la ecuación:

$$A_s = \sum [12'500,000 \times (3.80 - 1.797)]$$

$$A_s = 25'037,500 \text{ USD/año}$$

El ahorro estimado al evitar el subsidio debido a la sustitución de los combustibles líquidos por Gas Natural puede llegar a los 46.82 millones USD/año, análisis realizado únicamente en la provincia de Santa Elena. Esto llevado a una proyección sencilla a 5 años se estima un ahorro estatal de 230 millones USD.

### **3.5. Discusión de Resultados**

#### **3.5.1. Comparativa con modelos de masificación exitosos en la región**

Es importante mencionar que proyectos similares se han realizado en países vecinos como Perú y Colombia, donde se ha visto resultados favorables, con la adopción de buenas prácticas puede resultar en el éxito de la masificación del uso de Gas Natural en la provincia de Santa Elena, impulsándolo como plan piloto replicable en otras ciudades, considerando las necesidades propias de los sectores.

En Perú uno de los proyectos con mejores referencias es el programa BonoGas y el FISE, los cuales consisten en la implementación de gasoductos virtuales de GNL para las ciudades satélites de los centros de producción. Mediante la implementación del Fondo de inclusión Social Energético, FISE, se lleva a cabo el subsidio de las conexiones domiciliarias y los kits de conversión para el sector de transportación. Los resultados más destacados son la implementación de más de 1.5 millones de conexiones en un periodo de 10 años. Donde queda demostrado que el subsidio se debe trasladar de la molécula a la infraestructura para obtener un mejor resultado (Promigas Perú, 2023).

Otro país con buenos resultados en proyectos similares de masificación de uso de Gas Natural es Colombia, donde se ha logrado la mayor cobertura de una red de distribución con un aproximado del 80% de la población. La estrategia utilizada fue la implementación de áreas de servicios exclusivos y extensivo de estaciones de compresión para la transportación hacia las zonas costeras, además de incluir la participación de inversión privada en la construcción de redes locales lo que ha permitido la estabilización de precios en el transporte del nuevo combustible (Promigas Colombia, 2022).

Es importante mencionar que Santa Elena tiene una ventaja notable que los países mencionados no tenían, la infraestructura de aguas profundas de Monteverde, lo que permite una importante reducción en los tiempos de implementación.

### **3.5.2. Factibilidad Técnica y Económica de la Propuesta en Santa Elena**

La fundamentación para la masificación del uso de Gas Natural tiene como base un análisis multidimensional para obtener una validación de la transición de combustibles líquidos a gaseosos.

**A. Factibilidad Técnica.** – Dentro de la investigación se puede definir que la implementación de este proyecto es técnicamente viable debido a que posee las siguientes características:

**Capacidad de Infraestructura:** Con el Terminal Marítimo Monteverde que posee un calado de 15 metros permitiendo la operación de buques gaseros de gran capacidad sin necesidad de inversión adicional en dragado.

**Logística de Suministro:** La implementación de Gasoductos Virtuales con el uso de cisternas criogénicas de GNL se considera la solución temprana y temporal óptima para la geografía de Santa Elena mientras se inicia la ejecución de las redes de polietileno de última milla.

**Acondicionamiento Energético:** Al tener temperaturas promedio de 26 °C la zona cuenta con una condición climática favorable para la implementación de sistemas AAV, lo que reduce de manera importante el consumo de energía durante el proceso de regasificación.

**B. Factibilidad Ambiental y Social.** – El Fuel Oil y el Diesel, al ser reemplazados por GN se puede lograr una reducción de por lo menos el 25% en emisiones de CO<sub>2</sub> y la eliminación total de óxidos de azufre protegiendo el ecosistema marino y turístico de

la provincia. Además, el desarrollo de servicios de GNV y los mantenimientos de los kits de conversión son capaces de generar plazas de empleo técnico dentro de la localidad.

- C. Factibilidad Legal y Regulatoria.** – La propuesta se alinea con el marco jurídico que rige dentro del territorio ecuatoriano: Gestión de sectores estratégicos, Marco de regulación de precios de derivados, Normativa para la comercialización de gas natural y estándares de seguridad para instalaciones residenciales y vehiculares.
- D. Factibilidad Económica.** – El proyecto presenta una alta rentabilidad con base en reducción de costos operativos y ahorro fiscales.

**Competitividad de la molécula:** El uso de Gas Natural se proyecta en un costo de 18.60 USD/MMBTU, siendo un 19.9% más económico que el combustible EcoPaís garantizando la migración del sector transportación.

**Retorno de Inversión:** Con el ahorro proyectado de 46.82 millones USD/anual por temas de reducción de subsidios se pretende que el tiempo de recuperación del capital de inversión se de en un periodo menor de 4 años.

**Eficiencia Industrial:** Las empresas pesqueras y acuícolas, el uso de GN evita procesos de precalentamiento y reduce el mantenimiento de calderas, lo que se traduce en un importante ahorro de costos operativos y permite la mejora en el margen de utilidad.

## CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación determinan que la provincia de Santa Elena tiene una matriz energética que depende de manera crítica de los combustibles líquidos, observando que mantiene un consumo proyectado de 28 millones de galones de combustible EcoPaís para el sector de transportación y un uso intensivo de aproximadamente de 12.5 millones de galones de combustible pesados, Diesel y Fuel Oil en el sector industrial y de generación. Es importante recalcar que la demanda de los combustibles no es uniforme, sino que se concentra en nodos logísticos y comerciales dentro de los cantones Santa Elena, La Libertad y Salinas, lo que valida la necesidad para proponer una solución de masificación a nivel provincial.

Mediante el método de equivalencia energética se logra concluir que el Gas Natural se presenta como una alternativa técnica donde su precio puede alcanzar un costo de 18.60 USD/MMBTU. Esto permite la definición de volúmenes de sustitución, teniendo como venta la infraestructura existente en el Terminal Marítimo Monteverde, mismo que tiene la capacidad técnica para actuar como un centro de recepción y despacho, asegurando de esta manera un suministro constante de GNL suficiente para la cobertura de la demanda provincial proyectada.

La estrategia principal de la propuesta es la implementación de un modelo de logística multimodal donde el punto de origen es la Terminal Marítima Monteverde donde se integrará una estación de carga de cisternas (*Truck Loading*), una red troncal de acero y redes de distribución urbana en zonas de alta densidad. Esta propuesta se complementa. Con la creación de 5 estaciones de servicio de GNV, Gas Natural Vehicular como plan piloto, garantizando una transición escalable y organizada para el parque automotor y del sector industrial hacia el Gas Natural.

Finalmente, los indicadores financieros confirman la rentabilidad del proyecto, donde se considera un CAPEX de 132.5 millones de dólares con una Tasa Interna de Retorno de

27.33 %. Esto concluye que el estado ecuatoriano recibe un impacto significativo en materia de ahorro económico por un valor de 46.82 millones de dólares anuales, generando un flujo de caja de 36.22 millones de dólares logrando un tiempo de recuperación de inversión de 3.65 años, ratificando de esta manera la sostenibilidad financiera y la conveniencia de la sustitución de los combustibles líquidos en un periodo corto.

## **RECOMENDACIONES**

Una de las readecuaciones prioritarias dentro del Terminal Monteverde, es la implementación de sistemas de carga de cisternas, mismas que permitan mantener un suministro constante a las estaciones de servicios mediante el gasoducto virtual.

De igual manera se sugiere la implementación de incentivos estatales para la masificación de conversión de las flotas de transporte pesado, de esta manera se podrá ir desvinculando el subsidio del Diesel, que mantiene costos de 2.003 USD/Galón. La recomendación principal es el financiamiento del kit de conversión vehicular y poder generar el ahorro proyectado de 25 millones USD/anuales.

La implementación de establecimientos con sistemas de monitoreo de emisiones que permita la certificación de la reducción de 25% de la huella de carbono, con la finalidad de garantizar el cumplimiento de normativas ambientales y de esta manera tener acceso a sistemas de financiamiento verde e internacional, lo que aumentaría y fortalecería la rentabilidad social del proyecto.

## REFERENCIAS

Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. (2009). La industria del gas natural en Venezuela. [https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/LA\\_INDUSTRIA\\_DEL\\_GAS\\_NATURAL\\_EN\\_VENEZUELA.pdf](https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/LA_INDUSTRIA_DEL_GAS_NATURAL_EN_VENEZUELA.pdf)

Acuerdo Ministerial 127: Reglamento de Comercialización de Gas, Uso Residencial y Comercial, Registro Oficial 320 (2008).

Acuerdo No. 126: Reglamento para la Comercialización de Gas Natural para uso en Vehículos Automotores, Registro Oficial No. 319 (2008).

AEADE. (2023). Sector automotor en cifras. <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2025/01/12.-Sector-en-Cifras-Resumen-Noviembre.pdf>

Agnolucci, P., & Makarenko, N. (2024, 17 de diciembre). Perspectivas del mercado mundial de gas natural: Los desafíos de la oferta de Europa y la dinámica de la demanda regional. Blog de Datos Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/opendata/global-natural-gas-market-outlook--european-supply-challenges-an>

Alvarado, A., Marín, L., & Valera, A. (2023). Gas para todos: Transición Energética y Justicia Social en Venezuela. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/caracas/20381.pdf>

ARCERNNR. (2021). Centrales de Generación No Renovables. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Mapa-Nro.-5-Centrales-de-generación-no>

renovables.pdf

Bateman, A. (2007). Hidrología Básica y Aplicada. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) - GITS.

Beltrán, J. (2024, 29 de julio). Instalan cinco motores adicionales en la central de Santa Elena, para generar 8 megavatios de energía. Primicias. <https://www.primicias.ec/economia/motores-termoelectricidad-santa-elena-crisis-electrica-cortes-luz-75148/>

BLOOMBERG. (2023). Colombia aumentó importaciones de GNL ante clima seco del fenómeno de El Niño. La República.

CAMARCO. (2023). Futuro del gas natural y su aporte a la transición energética. <https://www.camarco.org.ar/wp-content/uploads/2023/07/17-Gas.pdf>

Castillo-Lindao, A. (2024). Estudio de una propuesta para el mejoramiento de un sistema de automatización... Central Termoeléctrica Santa Elena II [Tesis de ingeniería, Universidad Estatal Península de Santa Elena].

CELEC EP. (2023a). Reseña Histórica de la Central Santa Elena. ELECTROGUAYAS.

CELEC EP. (2023b). Rendición de Cuentas 2023 [Informe Técnico - Administrativo].

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). Termodinámica (7ma ed.). McGraw-Hill.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Termodinámica (8va ed.). McGraw-Hill.

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Transferencia de Calor y Masa. Fundamentos y Aplicaciones (4ta ed.). McGraw-Hill.

Decreto Ejecutivo No. 308: Reglamento Codificado de Regulación de Precios de Derivados de Hidrocarburos, Pub. L. No. 308 (2024).

Departamento Nacional de Planeación. (1991). Programa para la masificación del consumo de gas.  
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/2571.pdf>

Diario El Telégrafo. (2019). Terminal Marítimo de Monteverde, Ecuador: Recomiendan tomar medidas para su adecuado funcionamiento.

División de Estudios de Mercado. (2021). Estudio de Mercado del Gas (EM06-2020). Fiscalía Nacional Económica (Chile).

Easton Utilities. (2025). Vehículos a gas natural. <https://eastonutilities.com/natural-gas-vehicle/?lang=es>

Ecuavisa. (2014, 26 de junio). Presidente Correa recorrió estación de GLP en Monteverde [Broadcast].

EIA. (2024a). El comercio mundial de gas natural licuado siguió creciendo en 2023. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=62464>

EIA. (2024b, 25 de noviembre). Global natural gas market may experience a tighter supply-demand balance this winter. Today in Energy.

EP PETROECUADOR. (2015). El Petróleo en el Ecuador La Nueva Era (2nd. Ed.).  
<https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/EI-Petróleo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf>

EP PETROECUADOR. (2024a). Informe Estadístico Anual 2021.  
<https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/2024/06/INFORME-ESTADISTICO-ANUAL-2021.pdf>

EP PETROECUADOR. (2024b). Transporte y Almacenamiento.  
<https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/2024/12/Transporte-y-almacenamiento.pdf>

Galileo Technologies. (2025). Gasoducto Virtual® de GNL.  
<https://www.galileotechnologies.com/es/productos/gasoducto-virtual-de-gnl/>

Garamendi Durán, G., & Wakeham Nieri, L. (2019). Mercado de gas natural vehicular en el Perú: impulso y desarrollo [Tesis de maestría, Universidad de Piura].

García-Guillén, Á. P. (2023). Análisis de la emisión de gases producto de la combustión de vehículos livianos en la Provincia de Santa Elena [Tesis, UPSE].

Hidalgo, G. (2025). Boletín Técnico N° 01-2025-Transporte: Estadísticas de Transporte (ESTRA). Instituto Nacional de Estadística y Censos.

INEC. (2024). Censo de población y vivienda 2022.  
<https://www.censoecuador.gob.ec/resultados-censo/>

INEC. (2025). Censo Nacional Económico.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2008). NTE INEN 2310:2008. Vehículos automotores. Funcionamiento de vehículos con GLP.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 2260:2010. Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). Anuario de Estadísticas de Transporte, 2023 (No. ESTRA-2023).

Lapuerta-Torres, A. (2008). El Gas Natural: Una posibilidad de combustible limpio en el mercado automotriz de Ecuador [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar].

Lyons, W. C., Plisga, G. J., & Lorenz, M. D. (2016). Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering. Elsevier.

Mella, C. (2022, 22 de junio). Gas, el combustible barato que aumenta entre taxistas de Guayaquil. Primicias.

Minem Perú. (2024, 7 de noviembre). Minem presenta avances en la masificación de gas natural en la Macrorregión sur del Perú.

Ministerio de Energía y Minas de Ecuador. (2023a). Balance Energético Nacional 2023. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/5900-2/>

Ministerio de Energía y Minas de Ecuador. (2023b). Balance Energético Nacional (p. 21) [Informe Técnico].

Mokhatab, S., Mak, J. Y., Valappil, J. V., & Wood, D. A. (2014). Handbook of Liquefied Natural Gas. Elsevier.

Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2018). Fundamentos de termodinámica técnica. Reverte.

Natural Resource Governance Institute. (2023). Gas Natural: Desafíos para Colombia. <https://resourcegovernance.org/sites/default/files/2023-07/gas-natural-desafios-para-colombia-resumen.pdf>

OLADE. (2024). Panorama Energético de América Latina y el Caribe. [https://www.olade.org/wp-content/uploads/2024/12/PANORAMA-ENERGETICO-ALC\\_202418-12-2024.pdf](https://www.olade.org/wp-content/uploads/2024/12/PANORAMA-ENERGETICO-ALC_202418-12-2024.pdf)

Operador Nacional de Electricidad - CENACE. (2023). Informe Anual CENACE 2023. <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/Parte-1-Informe-Anual-CENACE-2023.pdf>

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (2017). Manual de Planificación Energética. OLADE / Cooperación Canadiense.

Orozco, M. (2023, 1 de junio). Campo Amistad dejaría de ser rentable en 2027 si no

hay inversión. Primicias.

Promigas Colombia. (2022). Informe del Sector Gas Natural en Colombia 2022. Promigas S.A. E.S.P.

Promigas Perú. (2023). Informe del Sector Gas Natural en Perú 2023: Cifras 2022. Promigas / Quavii.

Rebolledo-Smitmans, A. (2024). Gas natural: el energético de la transición energética en América Latina y el Caribe. OLADE.

Redacción Más Energía. (2024, 24 de agosto). Por qué el GNC se expande a nivel mundial, pero se estanca en la Argentina.

Rios-Roca, A., & Herrera, P. (2023, 14 de marzo). Incorporación del gas natural en Ecuador: Una necesidad a todas luces. PV Magazine.

Roca, J. A. (2024, 14 de julio). El comercio mundial de GNL siguió creciendo en 2023. El Periódico de La Energía.

Schmidt-Hebbel, K., Quiroz, J., Givovich, F., Rojas, M., & Araya, F. (2020). El Rol del Gas Natural en la Transición Energética de Chile: Chile 2020-2050.

Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador. (2024). Informe Rendición de Cuentas 2023.

Speight, J. G. (2019). Natural Gas: A Basic Handbook. Elsevier.

Suárez-Méndez, F. (2024). Desarrollo de una Metodología en la Recuperación de Vapores de GLP para su Uso en la Planta de Monteverde [Tesis de maestría, UPSE].

Valbuena, R. (2000). La Evaluación del Proyecto en la Decisión del Empresario. UNAM.

# ANEXOS

## Anexo 1: Factibilidad Económica

### ANÁLISIS DEL RETORNO DE INVERSIÓN (ROI) Y PERÍODO DE RECUPERACIÓN (PRI)

El análisis financiero de la masificación de gas natural en Santa Elena se evalúa bajo la perspectiva de "Eficiencia del Gasto Público". El objetivo es determinar en qué tiempo el Estado ecuatoriano recupera la inversión inicial mediante el ahorro generado por la sustitución de combustibles subsidiados.

#### A. Estimación de la Inversión Inicial (CAPEX)

Para la implementación de la Fase 1 del proyecto (Monteverde - La Libertad - Salinas), se estima una inversión inicial que comprende:

Componente de Infraestructura	Valor Estimado (USD)
Adecuación de atraque y descarga GNL (Monteverde)	\$45,000,000
Estación de carga de cisternas (Truck Loading)	\$15,000,000
Red troncal de acero (8") y City Gates	\$35,000,000
Redes de distribución urbana (PE-100)	\$25,000,000
Estaciones de servicio GNV piloto (5 unidades)	\$12,500,000
<b>TOTAL CAPEX (Inversión Inicial)</b>	<b>\$132,500,000</b>

## **B. Flujo de Caja Neto Anual (Beneficio)**

Ahorro Estatal Bruto: \$46,820,000 / año.

Gastos Operativos (OPEX): 8% del CAPEX.

$$\text{OPEX} = 132,500,000 \times 0.08 = \$10,600,000 / \text{año.}$$

Flujo de Caja Neto (FCN):

$$\text{FCN} = 46,820,000 - 10,600,000 = \$36,220,000 / \text{año.}$$

## **C. Período de Recuperación de la Inversión (PRI)**

$$\text{PRI} = \text{CAPEX} / \text{FCN}$$

$$\text{PRI} = 132,500,000 / 36,220,000 = 3.65 \text{ años.}$$

Equivalente a 3 años, 7 meses y 24 días.

## **D. Tasa de Retorno Simple (ROI)**

$$\text{ROI} = (\text{FCN} / \text{CAPEX}) \times 100$$

$$\text{ROI} = (36,220,000 / 132,500,000) \times 100 = 27.33\%.$$

## **E. Conclusiones del Análisis Financiero**

**Viabilidad:** Un PRI de 3.65 años es excepcional para proyectos de infraestructura energética, donde lo habitual son periodos de 7 a 12 años.

**Sostenibilidad:** A partir del cuarto año, el proyecto genera un excedente anual de \$36.22 millones.

**Sensibilidad:** El retorno es sensible al precio internacional del petróleo (WTI). Un incremento del precio acelera la recuperación de la inversión.

Fuente: EPP Petroecuador (2018) y Sercop.