

# DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

## DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE MODELADO Y/O OPTIMIZACIÓN PARA LA INTRODUCCIÓN DE GNL A PEQUEÑA ESCALA EN LOS DISTINTOS SECTORES DE CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN COLOMBIA

Juan Esteban Tibaquirá Giraldo, PhD.  
Carlos Arturo Saldarriaga Cortés, PhD.  
Harold Salazar Isaza, PhD.  
Álvaro Hernán Restrepo Victoria, PhD.  
Juan Camilo López Restrepo, MSc.  
Tatiana Loaiza Vera, MSc.  
Julián Eduardo Ibarra Vadillo, MSc.

**Universidad Tecnológica de Pereira**

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) - Colciencias

Bogotá, 12 de Noviembre del 2019



## Programación del evento:

- ✓ 08.00 a.m. : Inscripciones
- ✓ 08.30 a.m. - 08.50 a.m. : Apertura del evento
- ✓ 08.50 a.m. - 09.30 a.m. : Fundamentos del GNL
- ✓ 09.30 a.m. - 09.45 a.m. : Sesión de preguntas
- ✓ 09.45 a.m. - 10.00 a.m. : Receso
- ✓ 10.00 a.m. - 11.00 a.m. : Herramienta de optimización y valores de referencia para la introducción de GNL a pequeña escala en Colombia
- ✓ 11.00 a.m. - 11.30 a.m. : Sesión de preguntas
- ✓ 11.30 a.m. - 12.00 p.m. : Cierre del evento

## Video



**Sistema de Planeamiento Integral GAS**

# Contenido de la presentación

1. Generalidades del proyecto
2. Parte 1: fundamentos
3. Parte 2: valores de referencia

# Contenido de la presentación

1. **Generalidades del proyecto**
2. Parte 1: fundamentos
3. Parte 2: valores de referencia

# 1. Generalidades del proyecto

- **Asunto:** Desarrollo de una herramienta de modelado y/o optimización para la introducción de GNL a pequeña escala en distintos sectores de consumo final de energía en Colombia
- **Duración del proyecto:** 13 meses
- **Fecha de inicio:** 12 de octubre del 2018
- **Fecha de culminación:** 12 de noviembre del 2019
- **Ejecutor:** Universidad Tecnológica de Pereira

# 1. Generalidades del proyecto

## Grupos de investigación que desarrollaron el proyecto

### UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

#### Grupo de Investigación en Gestión Energética (GENERGÉTICA)

- Combustibles y combustión
- Energías renovables
- Vehículos, movilidad y transporte
- Gestión energética ambiental
- Dinámica de vehículos

#### Grupo de Investigación en Desarrollo de Investigación Operativa (DINOP)

- Optimización aplicada
- Análisis de sistemas energéticos integrados (electricidad y gas natural)
- Estudios de políticas regulatoria en electricidad y gas natural
- Análisis de sistemas de transporte

### UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ

#### Grupo de Investigación en Medio Ambiente, Agua y Energía (GMAE)

- Aprovechamiento de residuos y subproductos de la agroindustria
- Ecoeficiencia y gestión para el medio ambiente
- Infraestructura y construcción para el desarrollo sostenible
- Modelización y control de procesos biológicos
- Recursos hídricos y saneamiento ambiental

# Contenido de la presentación

1. Generalidades del proyecto
2. **Parte 1: fundamentos**
3. Parte 2: valores de referencia

# Contenido parte 1 – Fundamentos del GNL

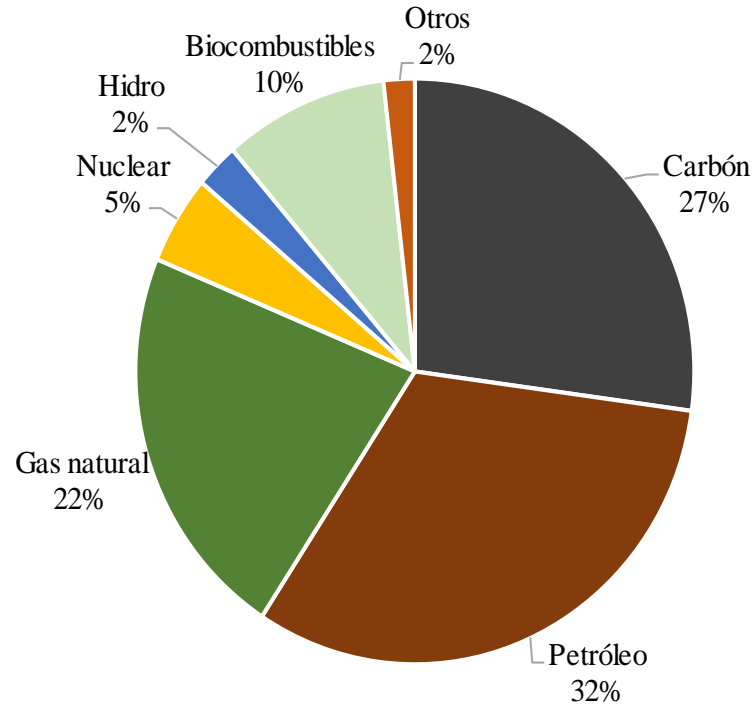
1. Panorama energético actual
2. Generalidades del Gas Natural Licuado – GNL
3. Producción de GNL
4. Usos del GNL

# Contenido parte 1 – Fundamentos del GNL

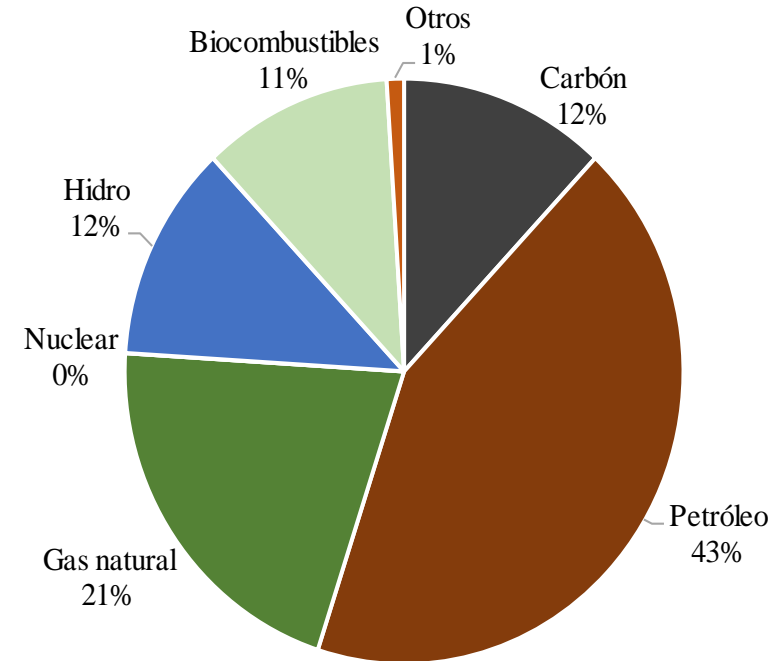
- 1. Panorama energético actual**
2. Generalidades del Gas Natural Licuado – GNL
3. Producción de GNL
4. Usos del GNL

# 1. Panorama energético actual

Oferta de energía primaria en el mundo

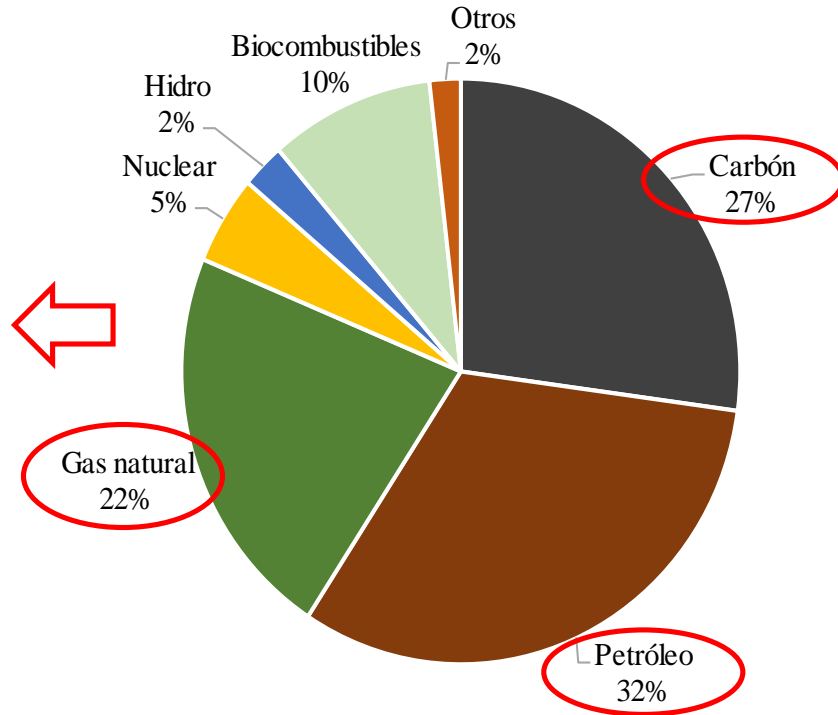


Oferta de energía primaria en Colombia



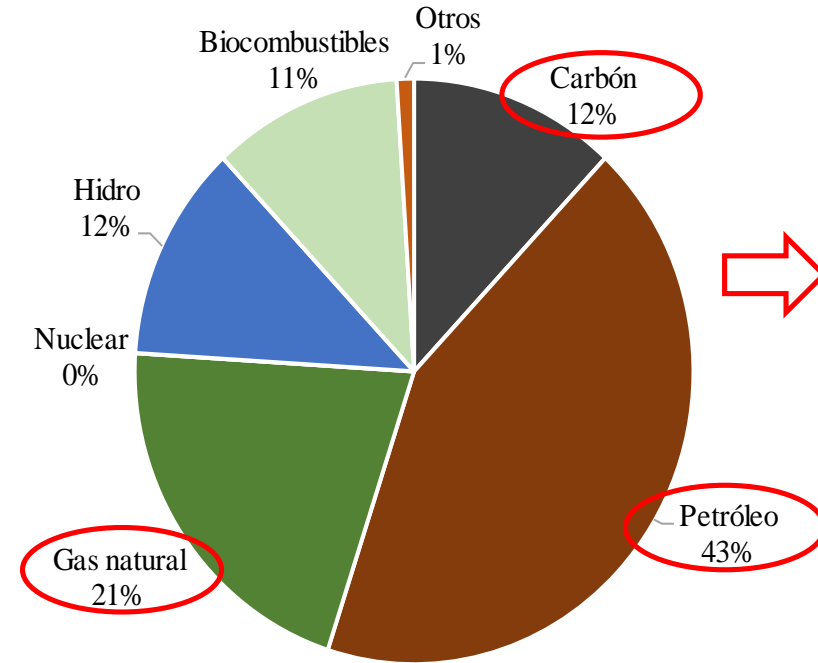
# 1. Panorama energético actual

Oferta de energía primaria en el mundo



Aprox. 81%  
Combustibles  
fósiles

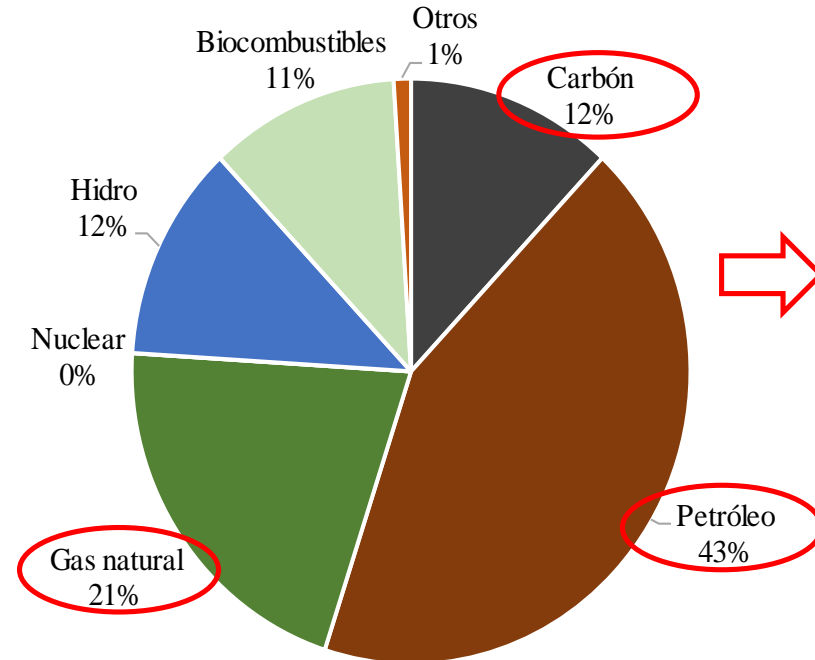
Oferta de energía primaria en Colombia



Aprox. 75%  
Combustibles  
fósiles

# 1. Panorama energético actual

Oferta de energía primaria en Colombia

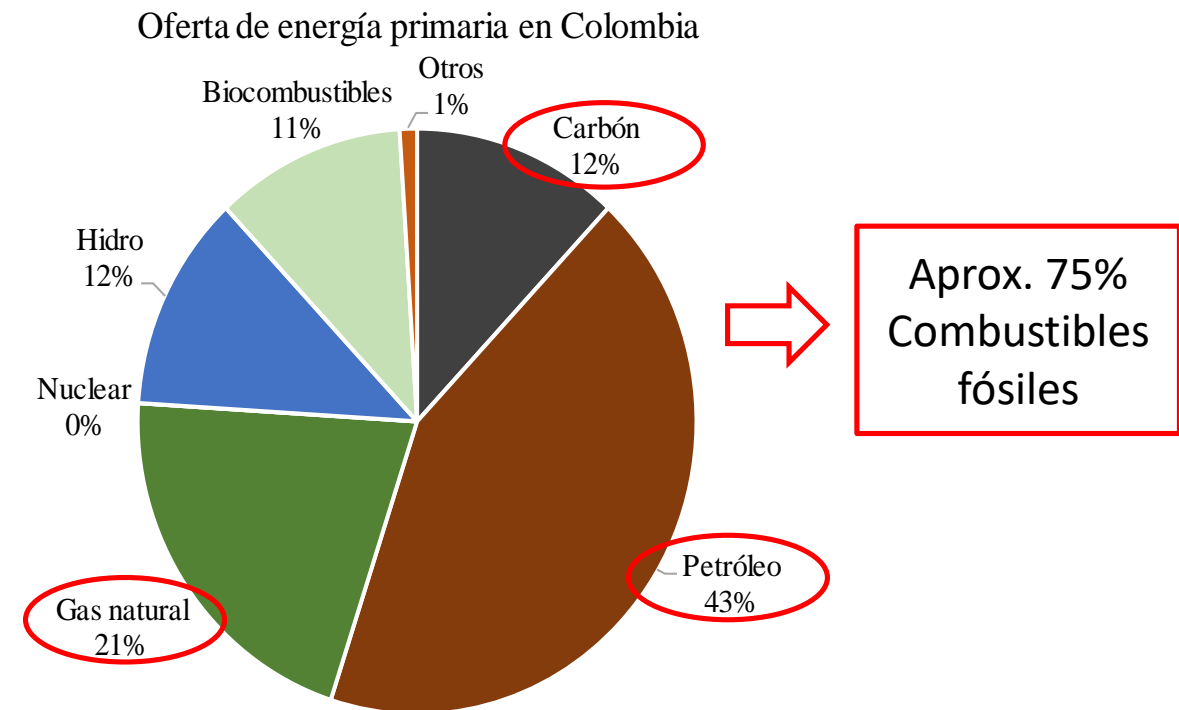
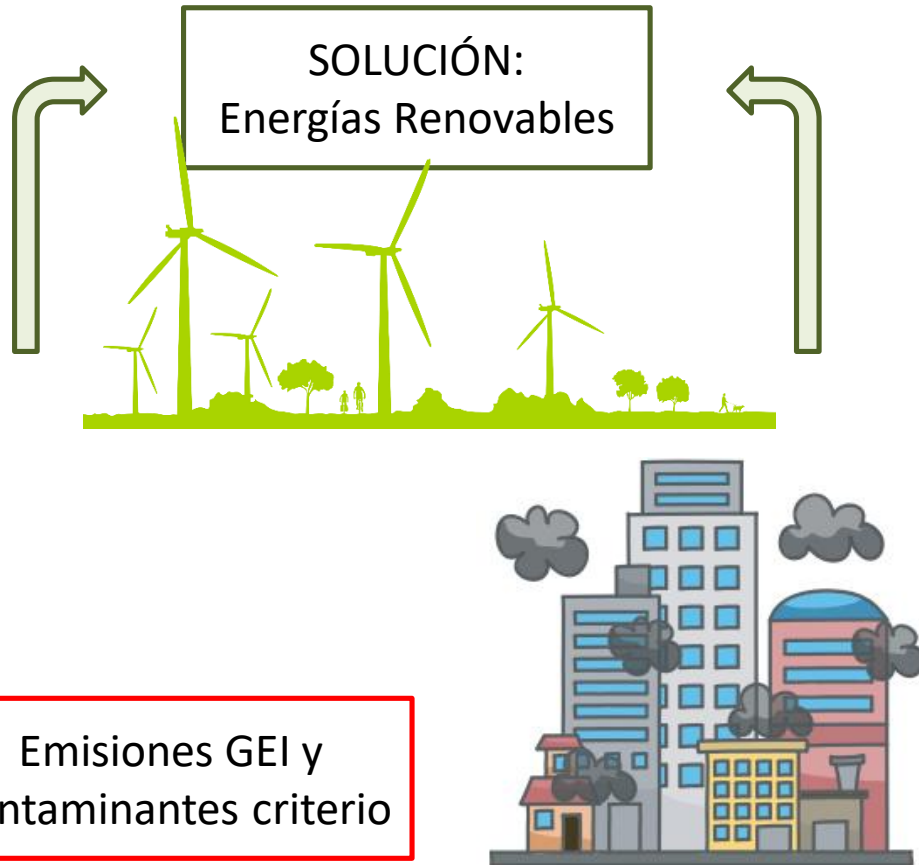


Aprox. 75%  
Combustibles  
fósiles

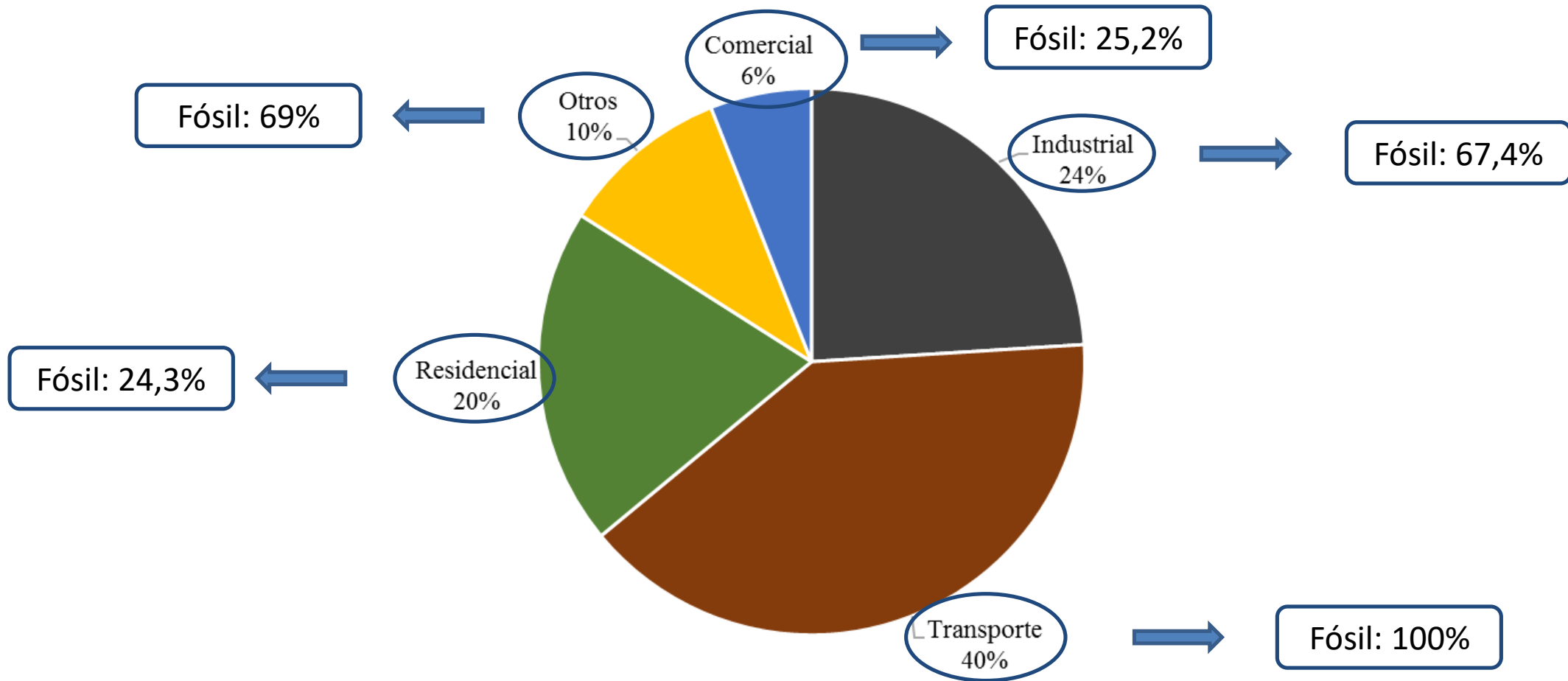
Emisiones GEI y  
contaminantes criterio



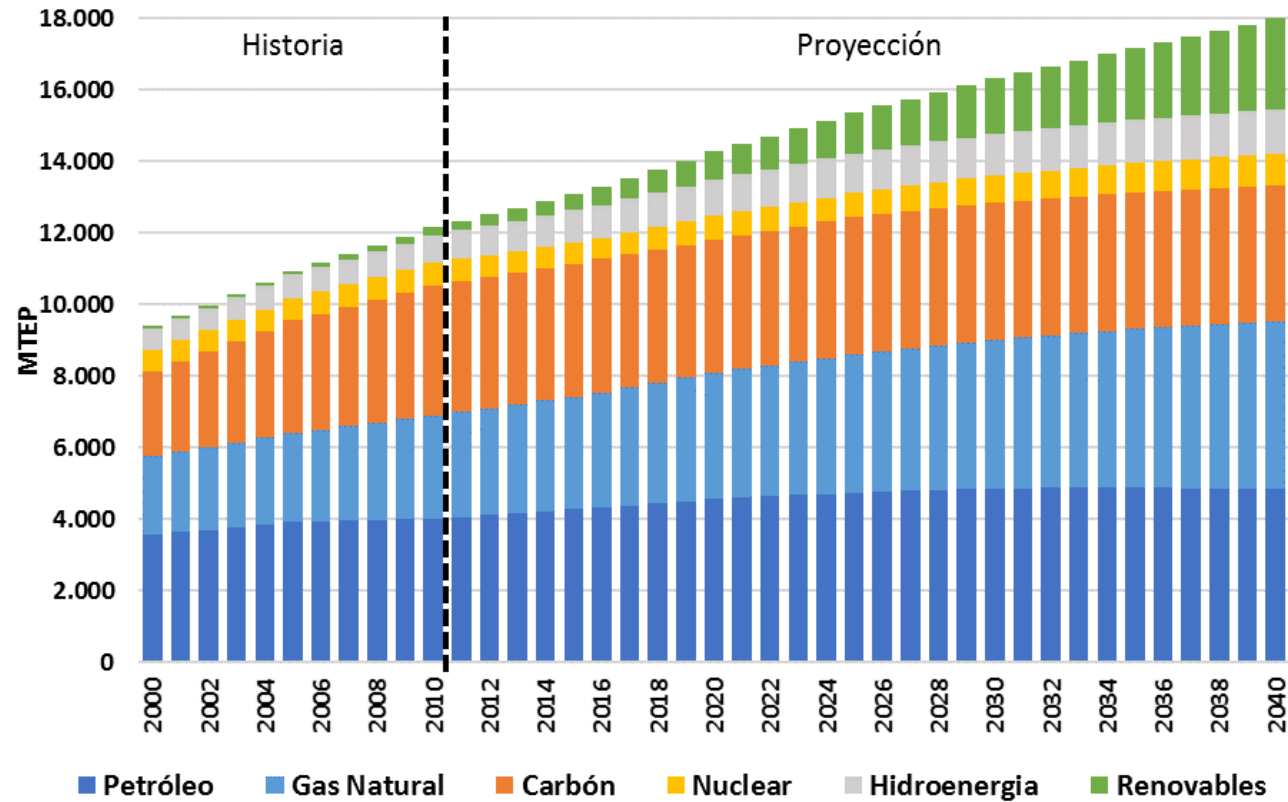
# 1. Panorama energético actual



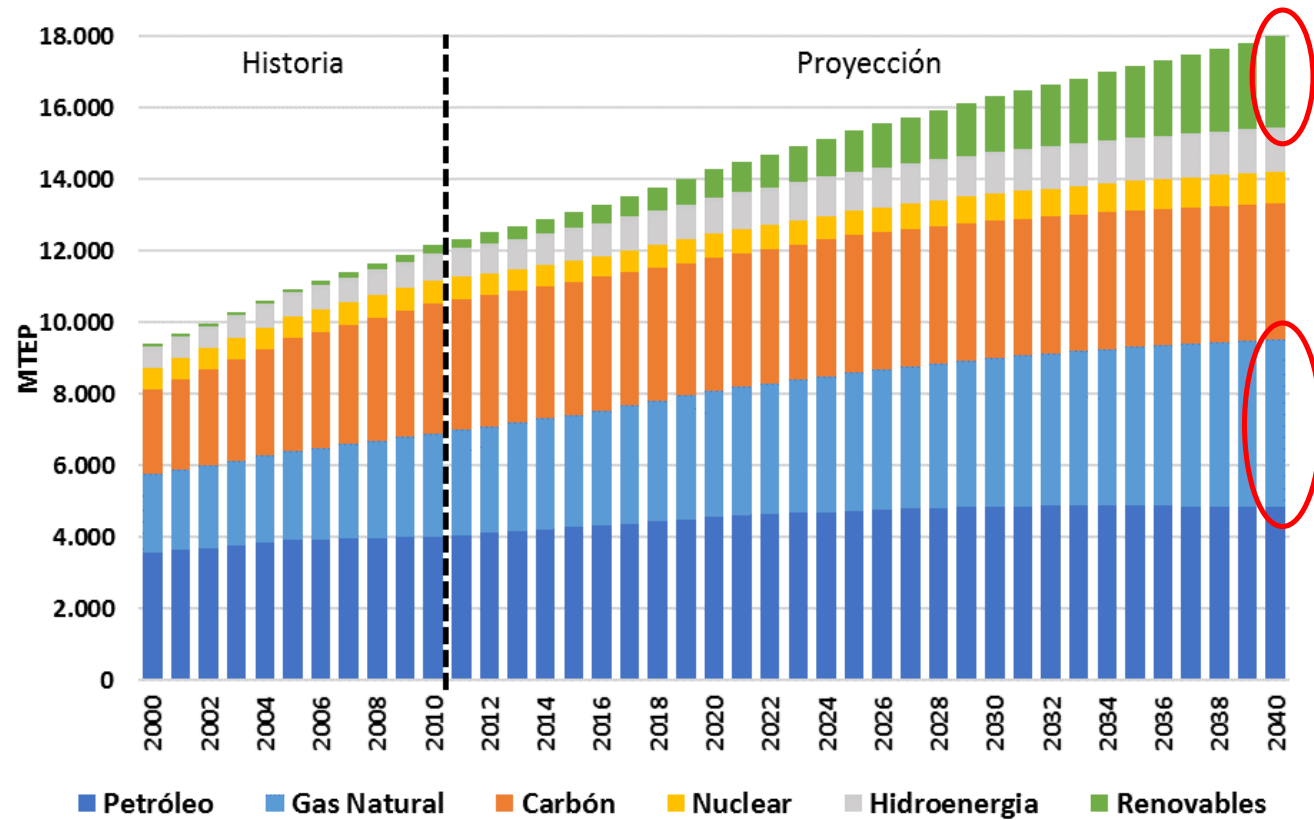
# 1. Panorama energético actual



# 1. Panorama energético mundial



# 1. Panorama energético mundial



# 1. Panorama energético actual – El gas natural



- Combustible de origen fósil.
- Gran disponibilidad y producción mundial (4 billones de m<sup>3</sup> en 2018)<sup>1</sup>.
- Combustible fósil de bajo costo, con uno de los menores costos de generación de energía (LCOE = 41,2 – 46,3 USD/MWh) / (carbón 98,6 – 104,3 USD/MWh)<sup>2</sup>.
- Bajo contenido de carbono (CH<sub>4</sub>) – (Gasolina C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> / Diésel C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>).
- A comparación con la gasolina y el diésel, su combustión genera menores emisiones de CO<sub>2</sub> y de gases contaminantes.

<sup>1</sup> IEA. Natural gas information Overview. 2019.

<sup>2</sup> Energy Information Administration. Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2019. 2019.

Midwest, "Natural Gas Keeps the Manufacturing Industry Strong | Midwest Industrial Supply," 2016. [Online]. Available: <https://blog.midwestind.com/natural-gas-manufacturing-industry/>. [Accessed: 04-Sep-2019].

Energy Futures Initiative, "Evolution of Natural Gas Markets — EFI," 208. [Online]. Available: <https://energyfuturesinitiative.org/the-evolution-of-domestic-and-global-natural-gas-markets>. [Accessed: 04-Sep-2019].

# 1. Panorama energético actual – El gas natural



- Combustible de origen fósil.
- Gran disponibilidad y producción mundial (4 billones de m<sup>3</sup> en 2018)<sup>1</sup>.
- Combustible fósil de bajo costo, con uno de los menores costos de generación de energía (LCOE = 41,2 – 46,3 USD/MWh) / (carbón 98,6 – 104,3 USD/MWh)<sup>2</sup>.
- Bajo contenido de carbono (CH<sub>4</sub>) – (Gasolina C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> / Diésel C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>).
- A comparación con la gasolina y el diésel, su combustión genera menores emisiones de CO<sub>2</sub> y de gases contaminantes.

**COMBUSTIBLE DE TRANSICIÓN**

<sup>1</sup> IEA. Natural gas information Overview. 2019.

<sup>2</sup> Energy Information Administration. Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2019. 2019.

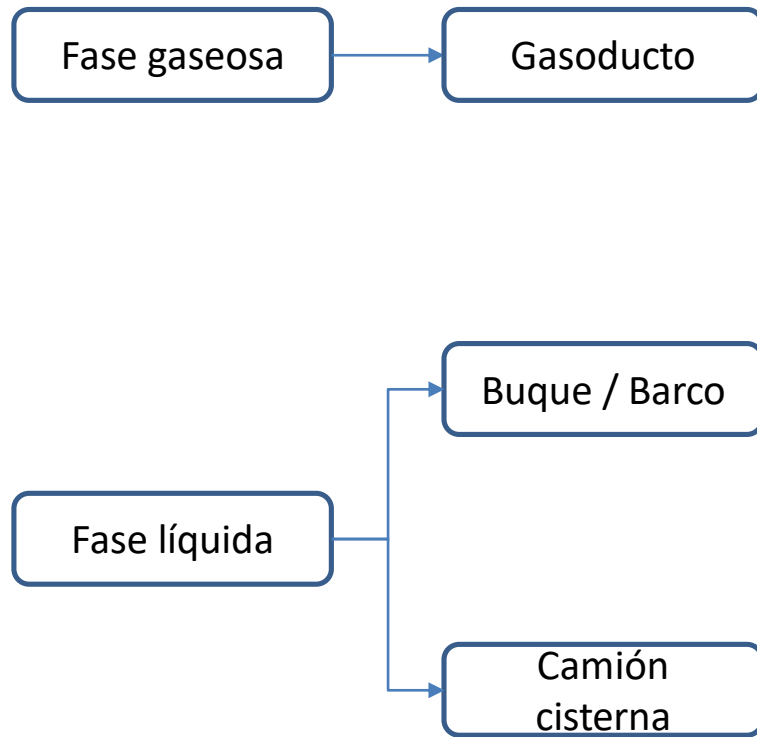
Midwest, "Natural Gas Keeps the Manufacturing Industry Strong | Midwest Industrial Supply," 2016. [Online]. Available: <https://blog.midwestind.com/natural-gas-manufacturing-industry/>. [Accessed: 04-Sep-2019].

Energy Futures Initiative, "Evolution of Natural Gas Markets — EFI," 208. [Online]. Available: <https://energyfuturesinitiative.org/the-evolution-of-domestic-and-global-natural-gas-markets>. [Accessed: 04-Sep-2019].

# 1. Panorama energético actual - El gas natural

¿Cómo llevarlo a las demás regiones del país?

Transporte de GN:



Daily News, "Approve this natural gas pipeline," 2019. [Online]. Available: <https://www.nydailynews.com/opinion/ny-oped-pipeline-20190529-h65iir7bu5dmnn5yx55h57k75i-story.html>. [Accessed: 04-Sep-2019].

LNG alliance, "Want to know more about LNG shipping on the B.C. Coast? - First Nations LNG Alliance," 2017. [Online]. Available: <https://www.fnlngalliance.com/2017/03/16/want-know-lng-shipping-b-c-coast/>. [Accessed: 04-Sep-2019].

LogiNews, "Puerto de Huelva opera primer suministro de camión a barco de GNL |," 2019. [Online]. Available: <https://noticiaslogisticaytransporte.com/logistica/18/06/2019/puerto-de-huelva-opera-primer-suministro-de-camion-a-barco-de-gnl/138262.html>. [Accessed: 04-Sep-2019].

# Contenido parte 1 – Fundamentos del GNL

1. Panorama energético actual
- 2. Generalidades del Gas Natural Licuado – GNL**
3. Producción de GNL
4. Usos del GNL

## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

Gas Natural Licuado – GNL: Gas natural en condiciones criogénicas.

- Combustible incoloro, inodoro, no tóxico, no explosivo, ni corrosivo.
- Temperatura:  $-162\text{ °C @ }P_{\text{atm}}$ .
- Es la forma más pura del gas natural (contenido de metano de hasta el 99,8%).
- Bajo volumen específico (600 veces menor al del GN).
- Densidad energética entre 21 y 24 GJ/m<sup>3</sup>.

## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

Gas Natural Licuado – GNL: Gas natural en condiciones criogénicas.

- Combustible incoloro, inodoro, no tóxico, no explosivo, ni corrosivo.
- Temperatura:  $-162\text{ °C @ }P_{\text{atm}}$ .
- Es la forma más pura del gas natural (contenido de metano de hasta el 99,8%).
- Bajo volúmen específico (600 veces menor al del GN).
- Densidad energética entre 21 y 24 GJ/m<sup>3</sup>.



Menor contenido de azufre e impurezas:

Menores emisiones de SO<sub>2</sub> y otros contaminantes



## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

Gas Natural Licuado – GNL: Gas natural en condiciones criogénicas.

- Combustible incoloro, inodoro, no tóxico, no explosivo, ni corrosivo.
- Temperatura:  $-162\text{ °C @ }P_{\text{atm}}$ .
- Es la forma más pura del gas natural (contenido de metano de hasta el 99,8%).
- Bajo volumen específico (600 veces menor al del GN).
- Densidad energética entre 21 y 24 GJ/m<sup>3</sup>.



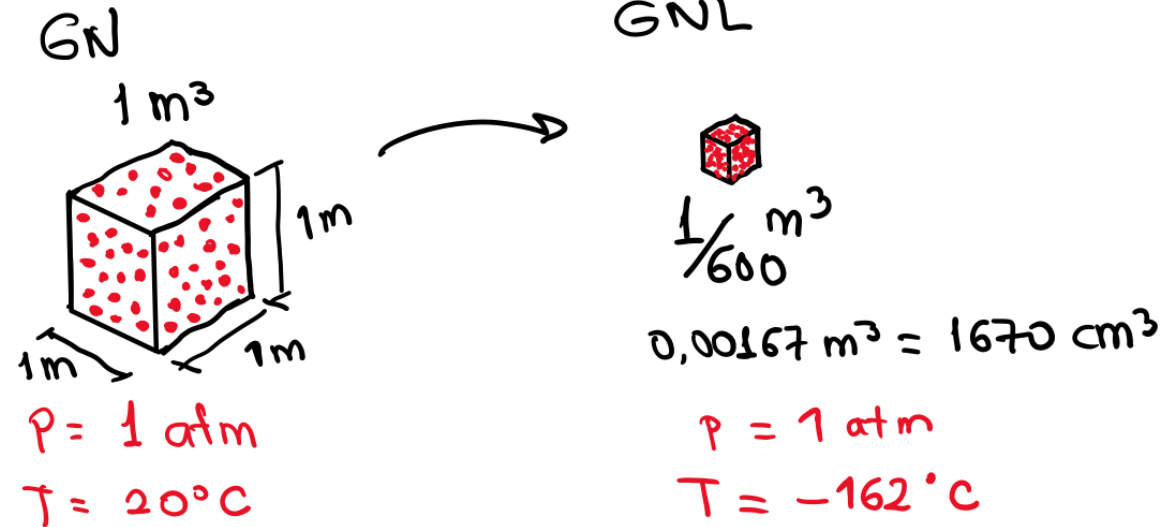
Logística de transporte  
fácil y económico

Portador de energía  
estratégico.



## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

GNL: Gas natural licuado  
 ↓  
 Metano líquido



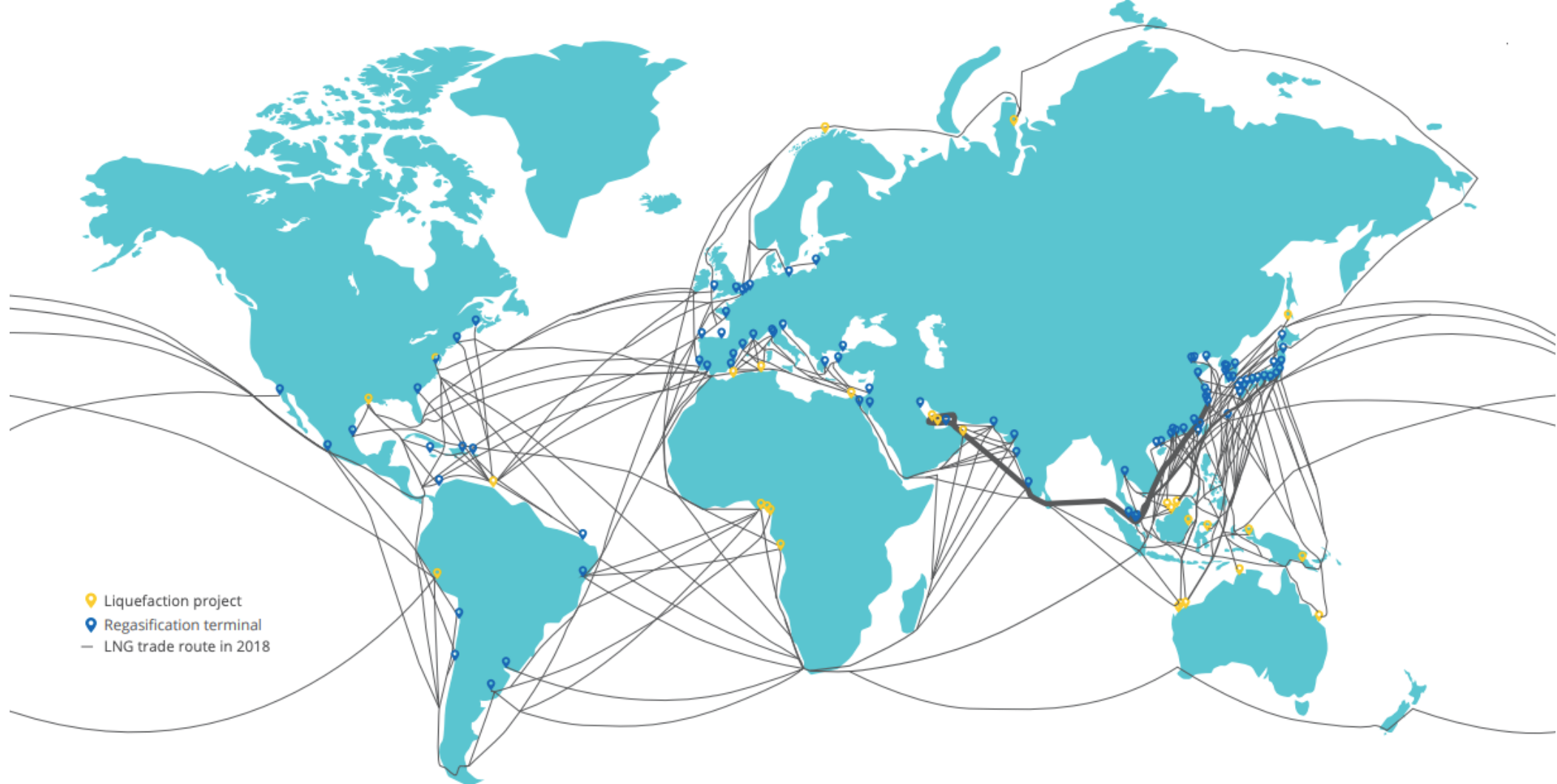
38000 BTU  
 9500 Kcal.  
 40000 KJ

## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

Shortest LNG voyage length in 2018:  
130nm (Algeria to Spain)

Number of LNG voyages in 2018:  
5,119

Longest LNG voyages length in 2018:  
15,520 nm  
(Sabine Pass LNG to Japan via Cape of Good Hope)



## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

Shortest LNG voyage length in 2018:  
130nm (Algeria to Spain)

Number of LNG voyages in 2018:  
5,119

Longest LNG voyages length in 2018:  
15,520 nm  
(Sabine Pass LNG to Japan via Cape of Good Hope)

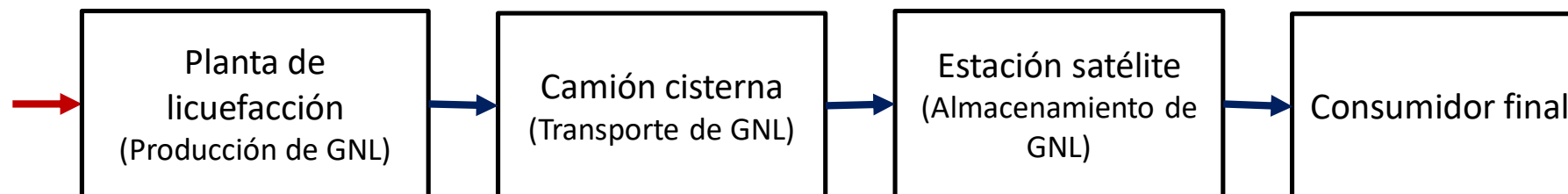


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- *Gasoducto*
- *Pozo*
- *Biogás*

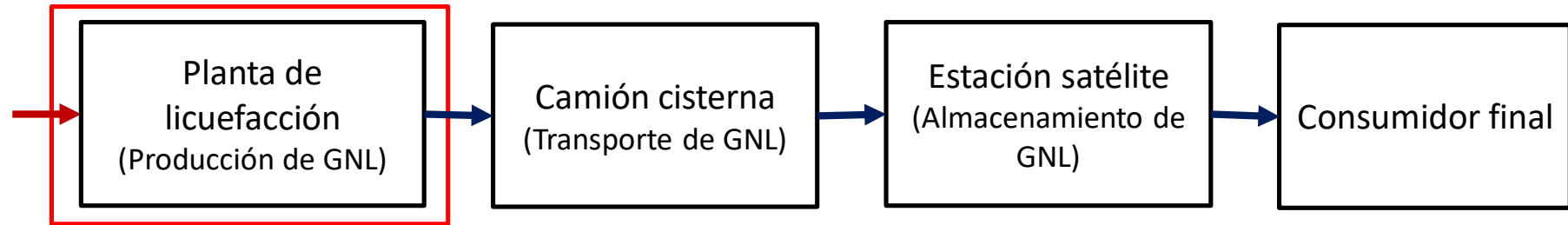


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- *Gasoducto*
- *Pozo*
- *Biogás*

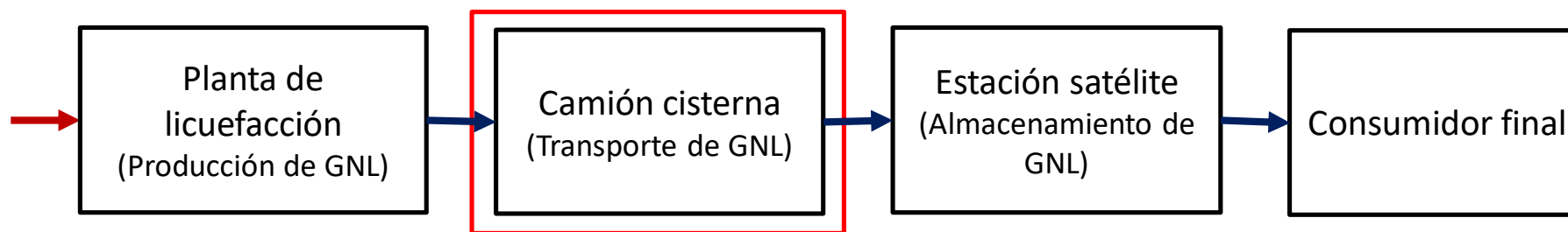


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- *Gasoducto*
- *Pozo*
- *Biogás*

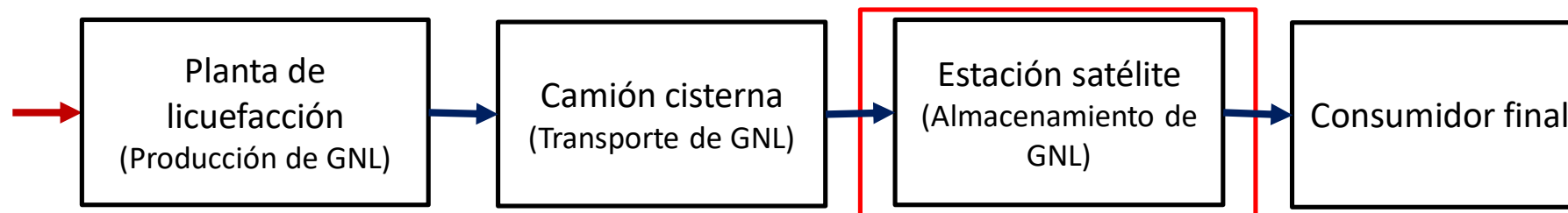


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- *Gasoducto*
- *Pozo*
- *Biogás*

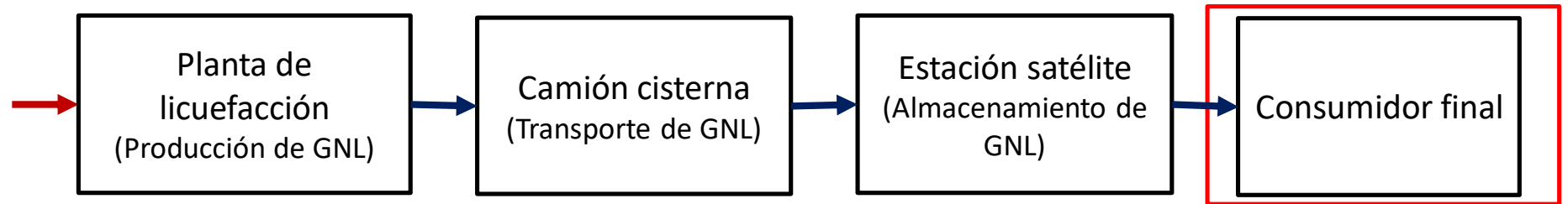


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- Gasoducto
- Pozo
- Biogás

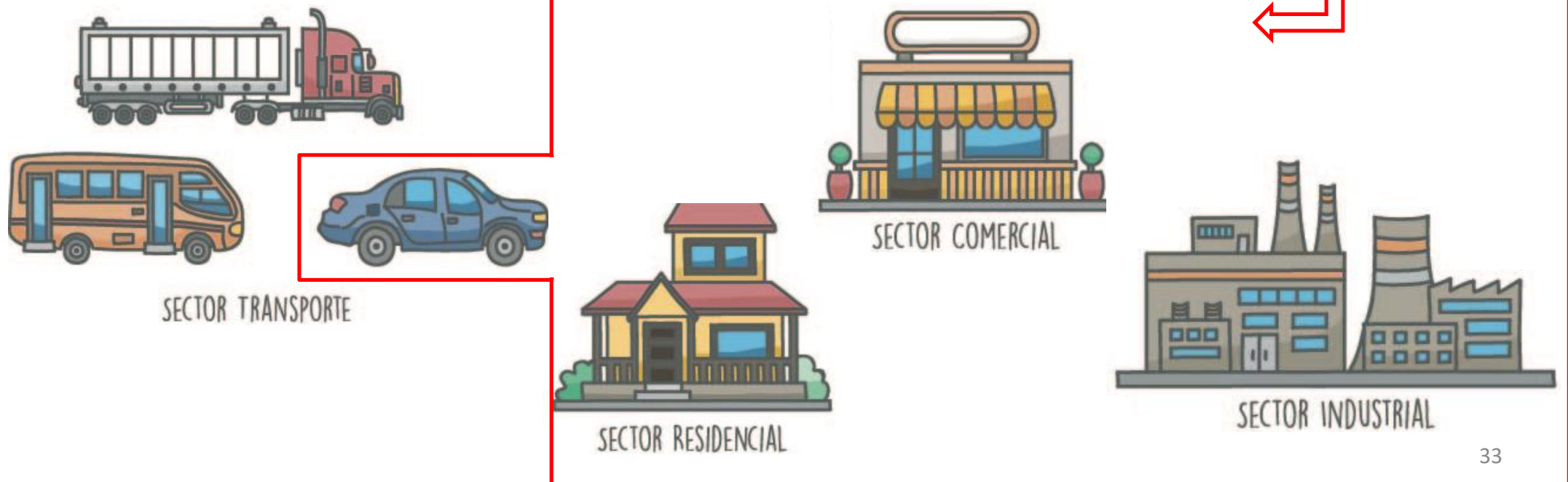
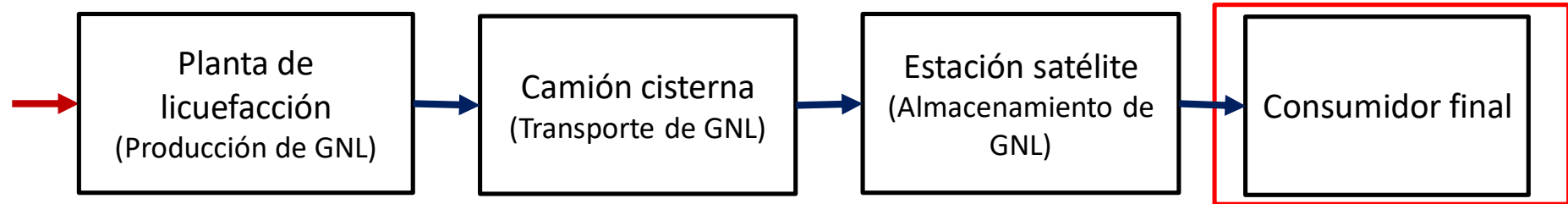


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- Gasoducto
- Pozo
- Biogás

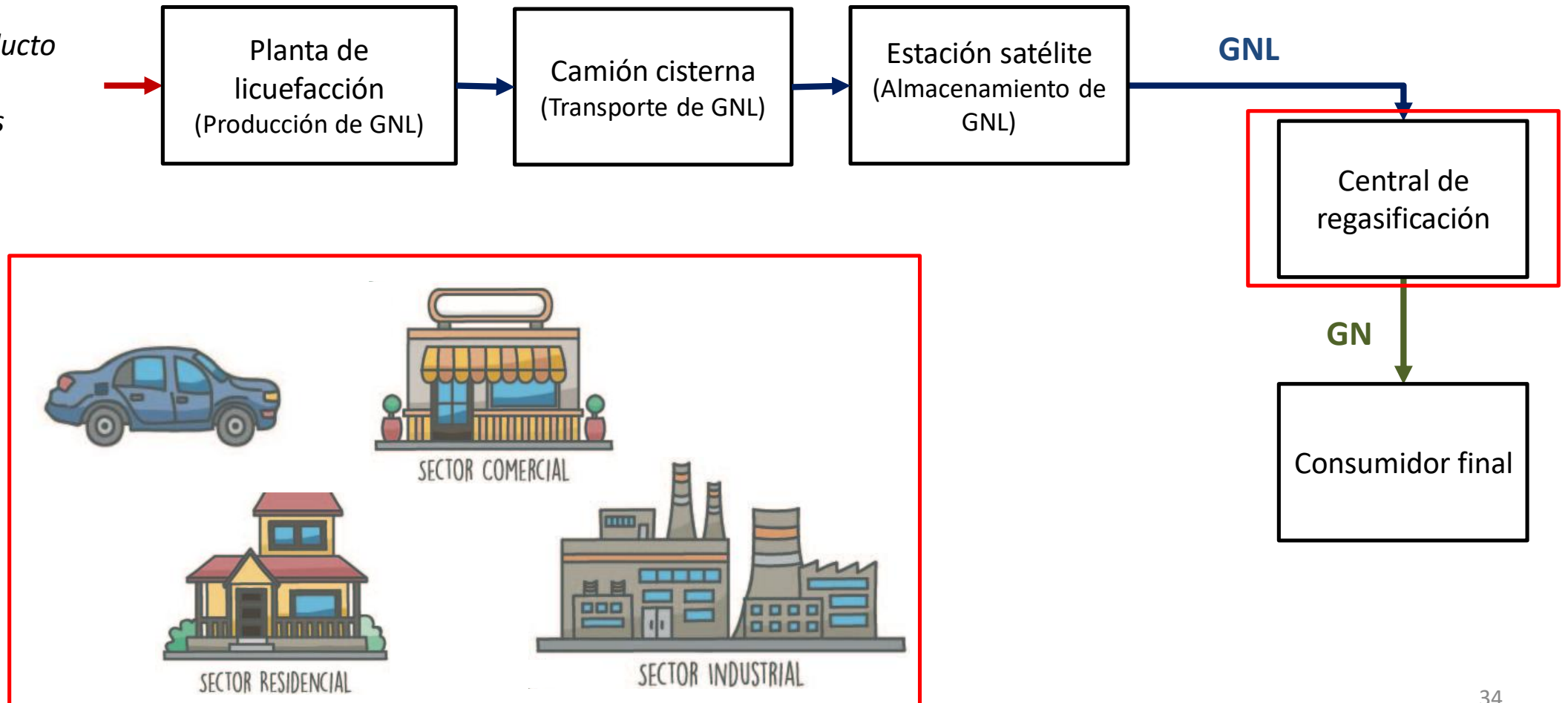


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- Gasoducto
- Pozo
- Biogás

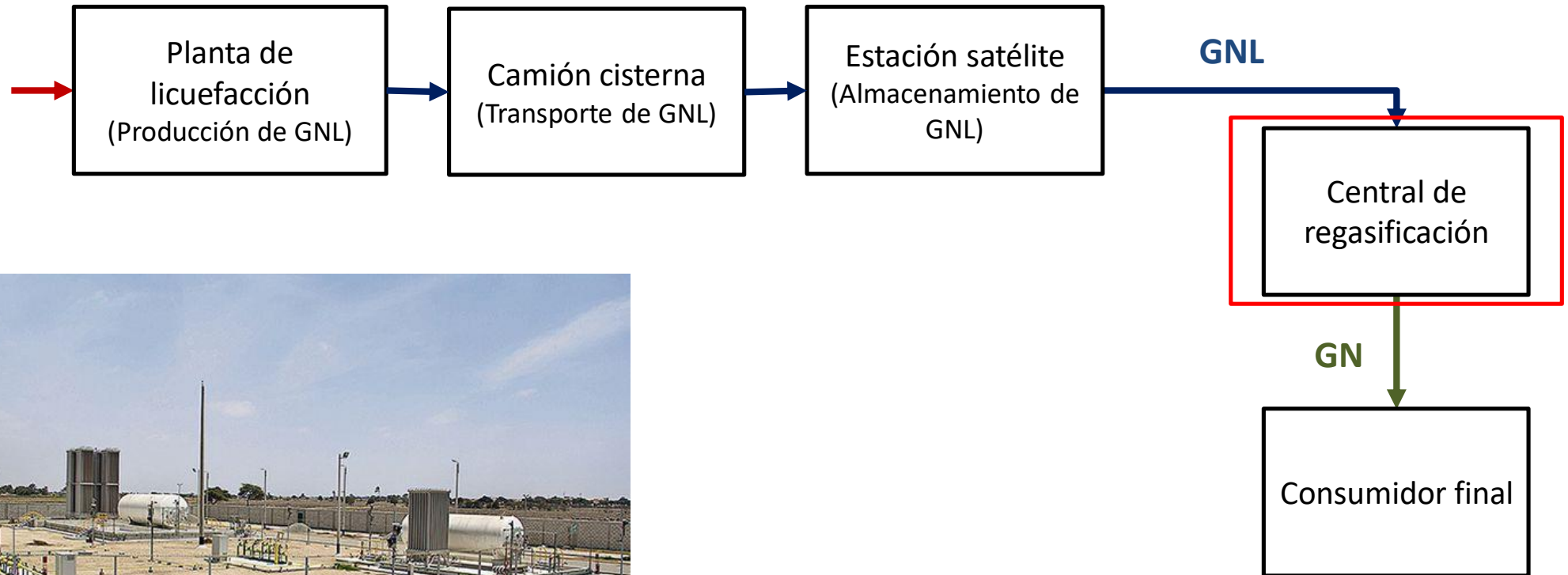


## 2. Generalidades del gas natural licuado – GNL

### Cadena productiva

Fuente de Gas Natural:

- Gasoducto
- Pozo
- Biogás



# Contenido parte 1 – Fundamentos del GNL

1. Panorama energético actual
2. Generalidades del Gas Natural Licuado – GNL
- 3. Producción de GNL**
4. Usos del GNL

## 3. Producción de GNL

### Escalas de producción

Parámetro	Producción de GNL			
	[t/día]		[x10 <sup>6</sup> Btu/día]	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Gran escala	9589	21918	497669	1137544
Mediana escala	2740	5480	142206	584412
Pequeña escala	60	800	3114	41520
Mini escala	10	50	519	2595
Micro escala	16	50	779	2595
Nano escala	10	15	519	778,5

### 3. Producción de GNL

#### Escalas de producción

		COLOMBIA				
		Sector	Demanda x10 <sup>6</sup> Btu/día			
			2015	2016		
Parámetro					[x10 <sup>6</sup> Btu/día]	
					Mínimo	Máximo
Gran escala	Residencial	131,300	137,700	7669	1137544	
Mediana escala	Comercial	37,300	38,200	2206	584412	
Pequeña escala	<b>Industrial</b>	<b>263,400</b>	<b>267,300</b>	14	41520	
Mini escala	Petroquímico	17,400	16,900	19	2595	
Micro escala	Transporte (GNVC)	87,400	73,200	779	2595	
Nano escala	Petrolero	135,300	181,000	519	778,5	
	Eléctrico	324,900	262,400			
	<b>TOTAL</b>	<b>997,000</b>	<b>976,700</b>			

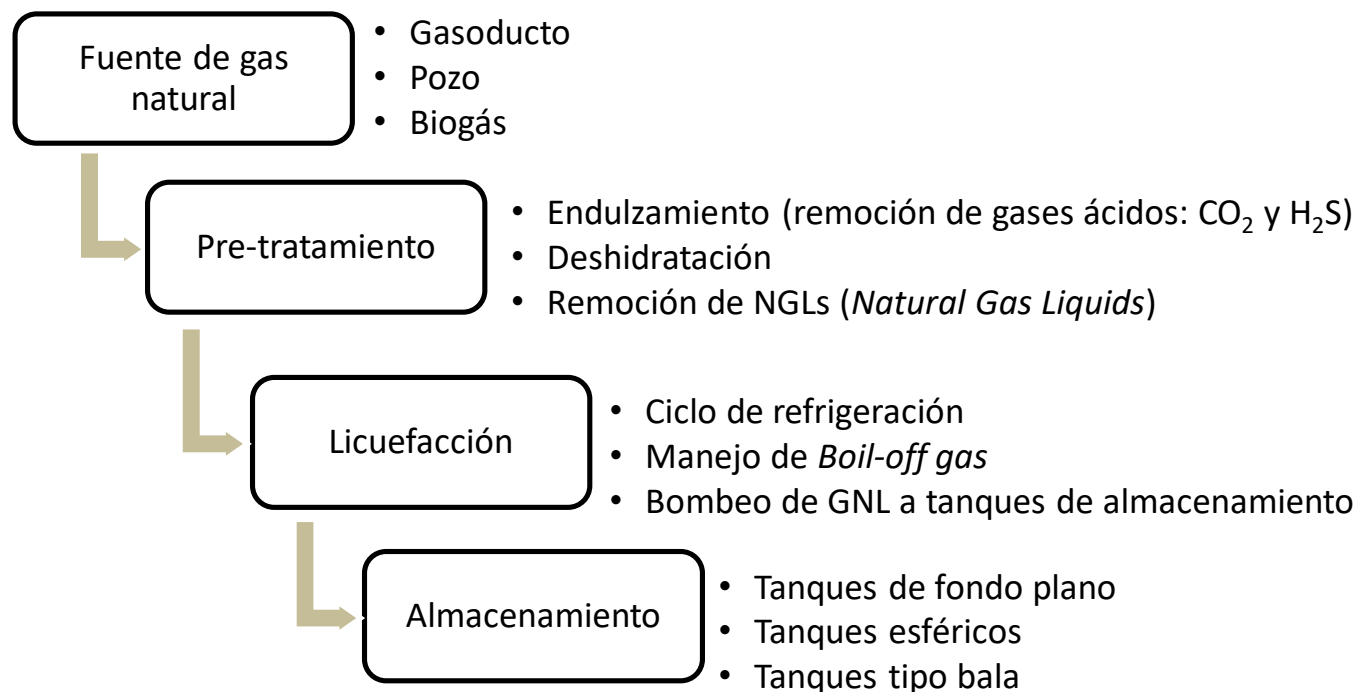
# 3. Producción de GNL

## Escalas de producción

Parámetro	Producción de GNL			
	[t/día]		[x10 <sup>6</sup> Btu/día]	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Gran escala	9589	21918	497669	1137544
Mediana escala	2740	5480	142206	584412
Pequeña escala	60	800	3114	41520
Mini escala	10	50	519	2595
Micro escala	16	50	779	2595
Nano escala	10	15	519	778,5

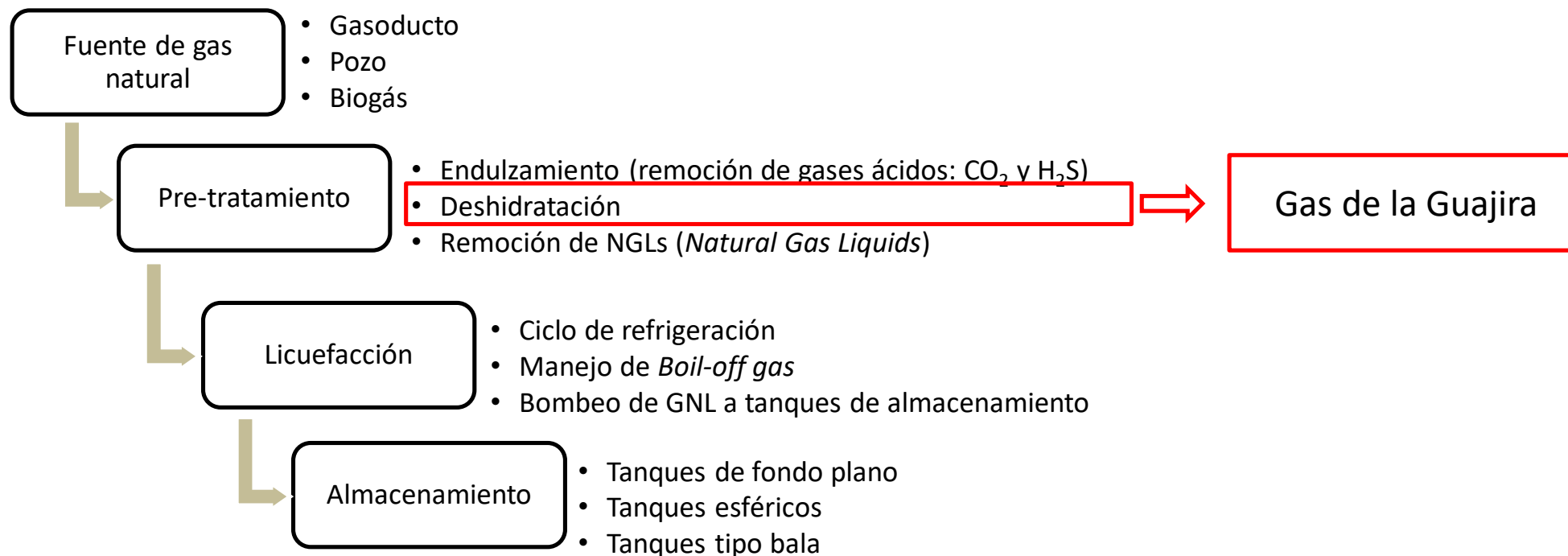
### 3. Producción de GNL

#### Etapas de producción



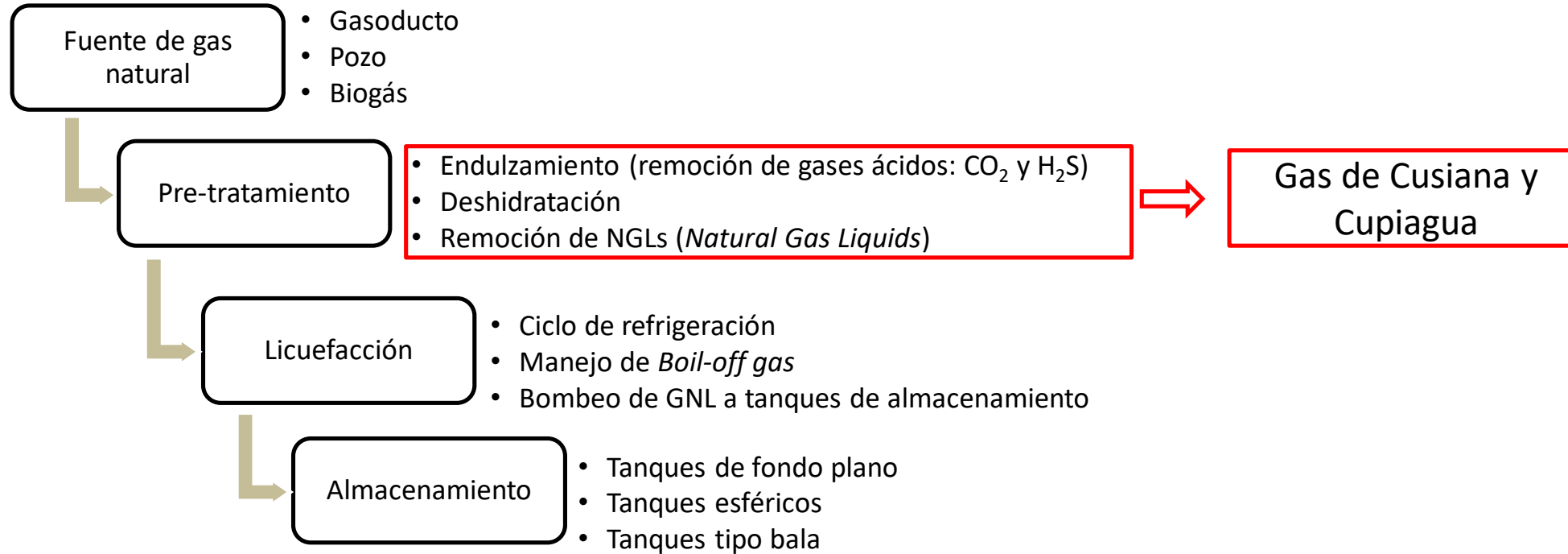
### 3. Producción de GNL

#### Etapas de producción



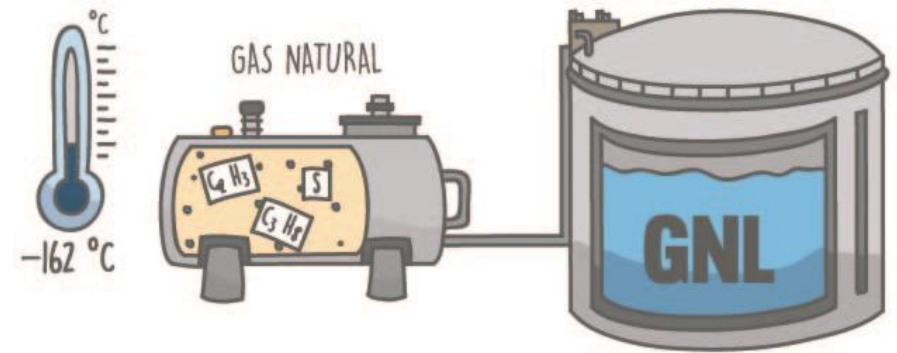
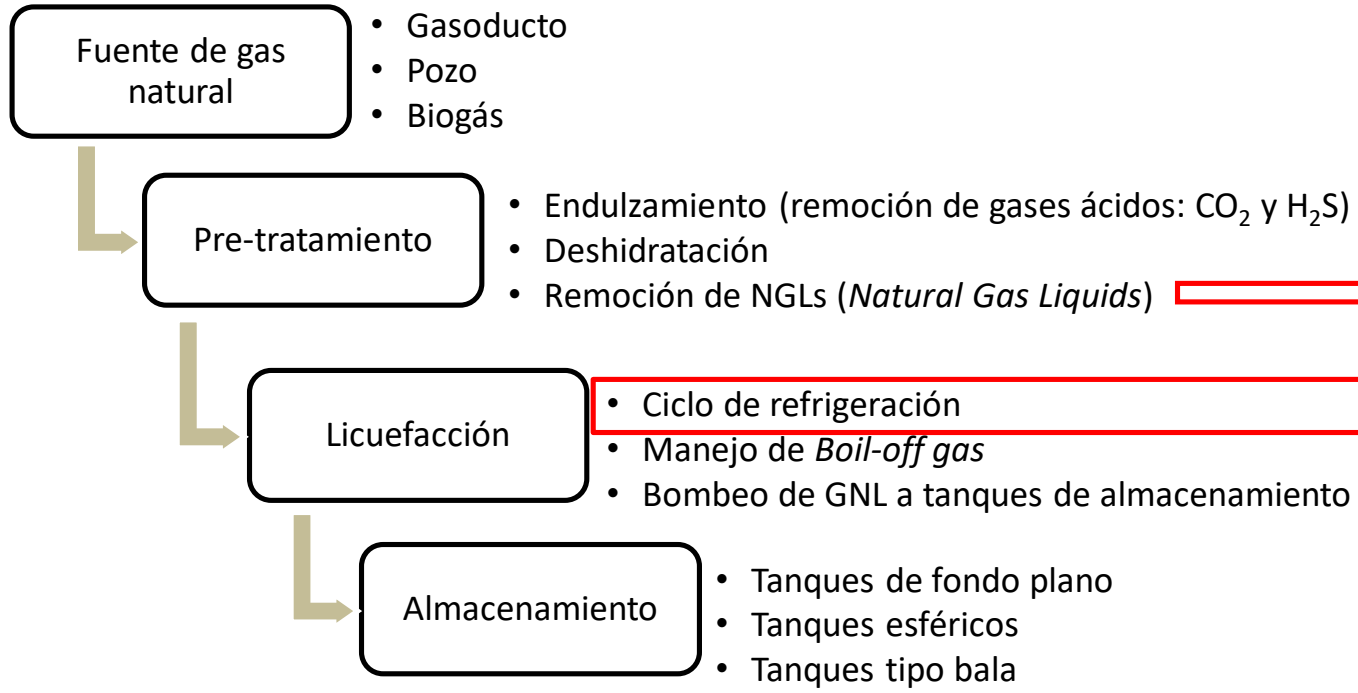
# 3. Producción de GNL

## Etapas de producción



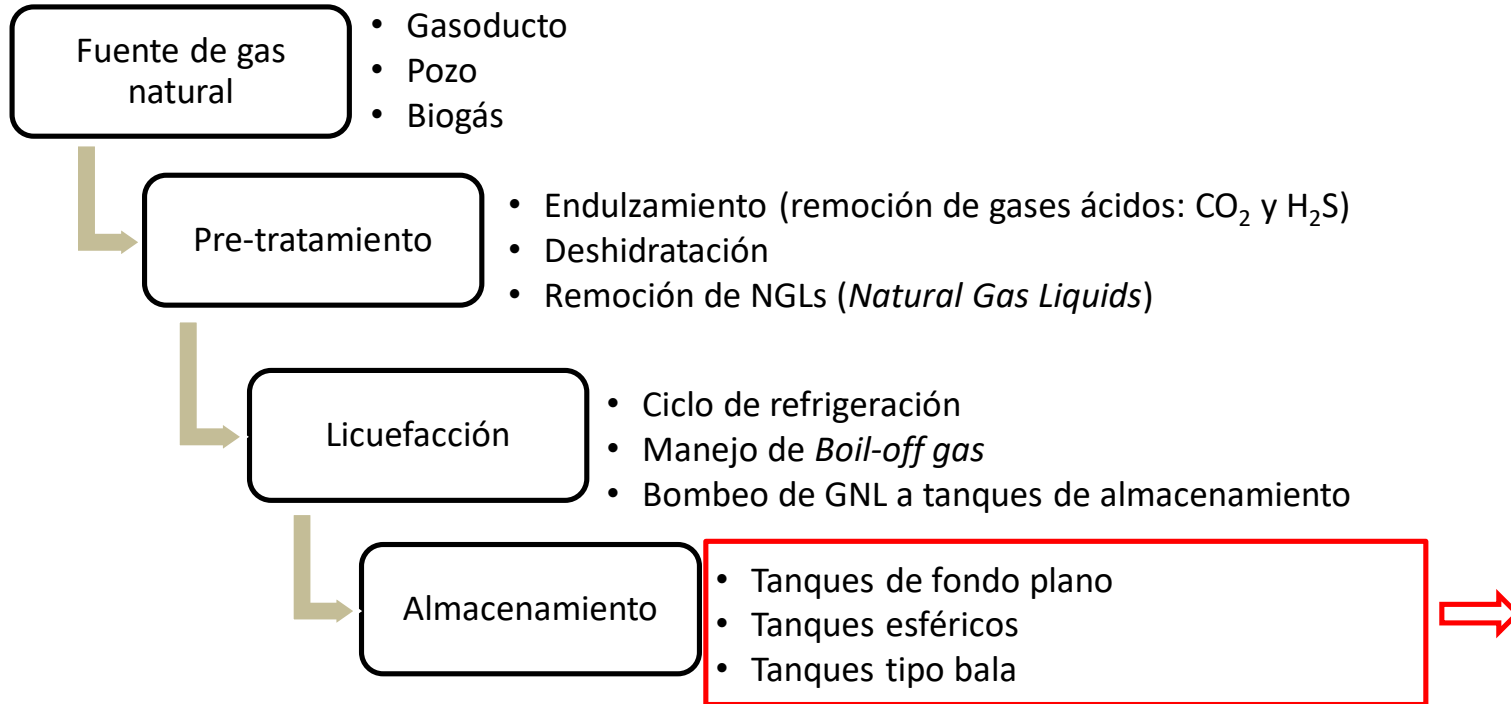
# 3. Producción de GNL

## Etapas de producción



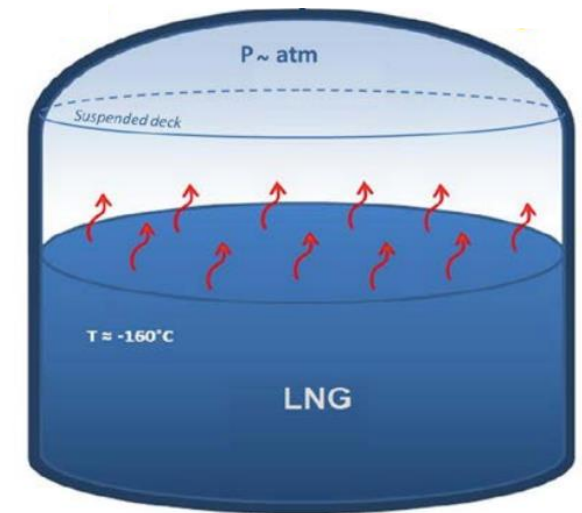
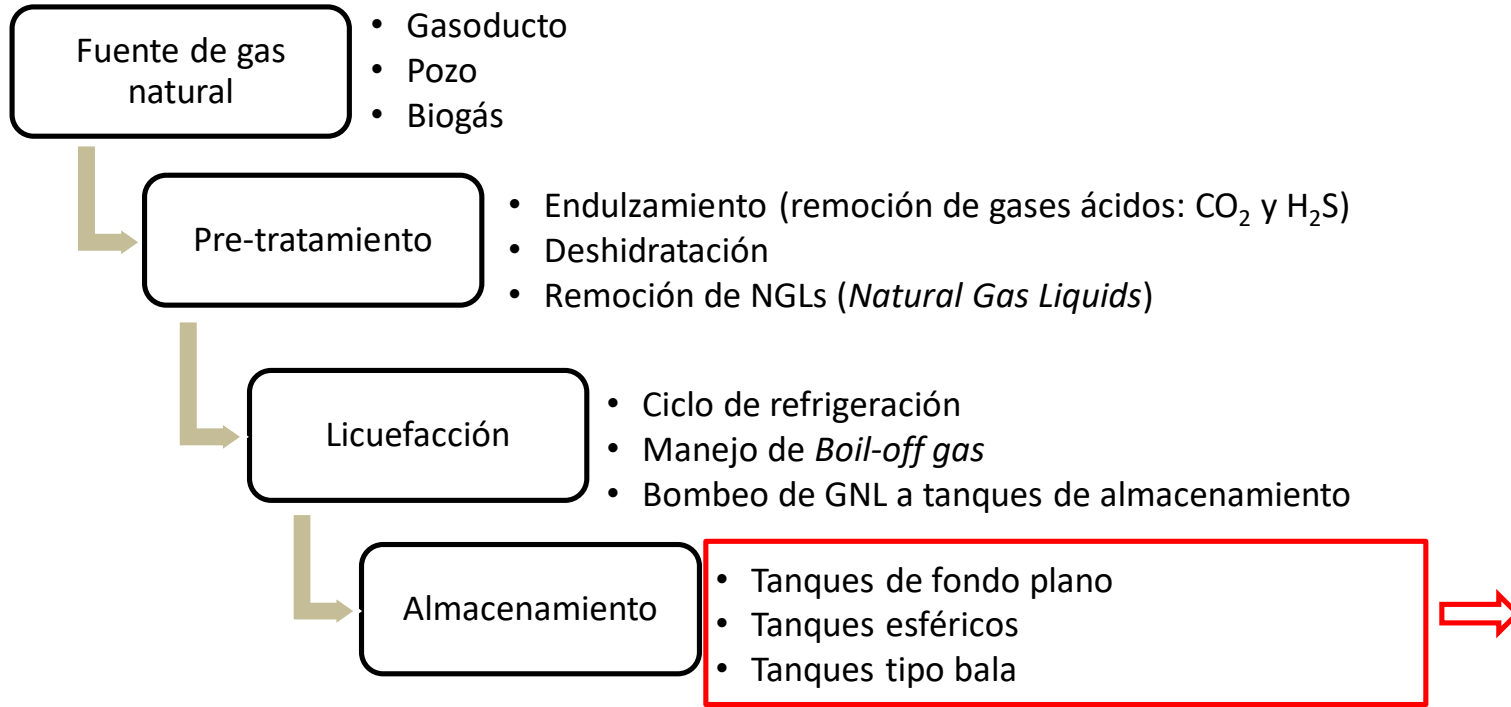
# 3. Producción de GNL

## Etapas de producción



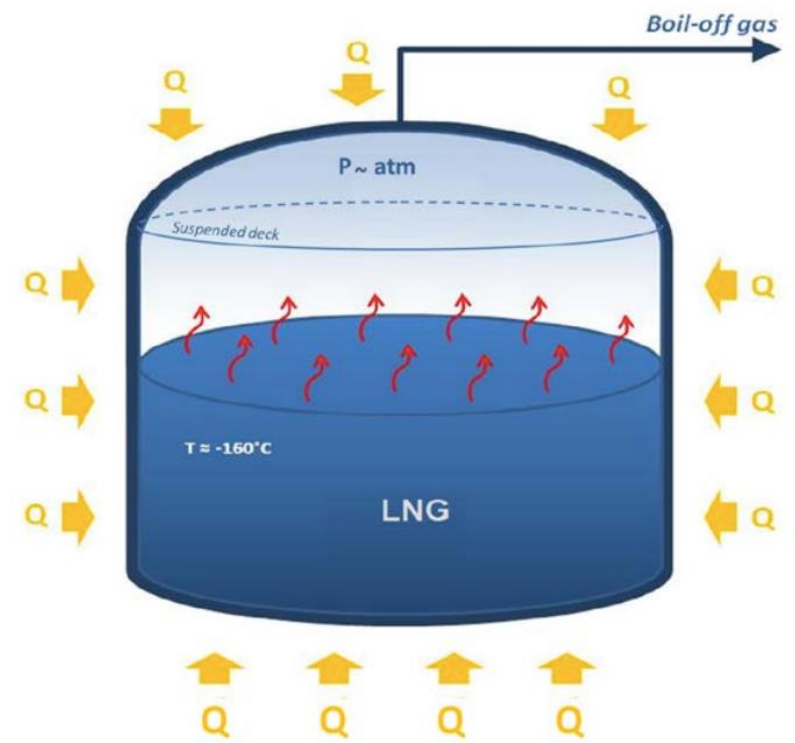
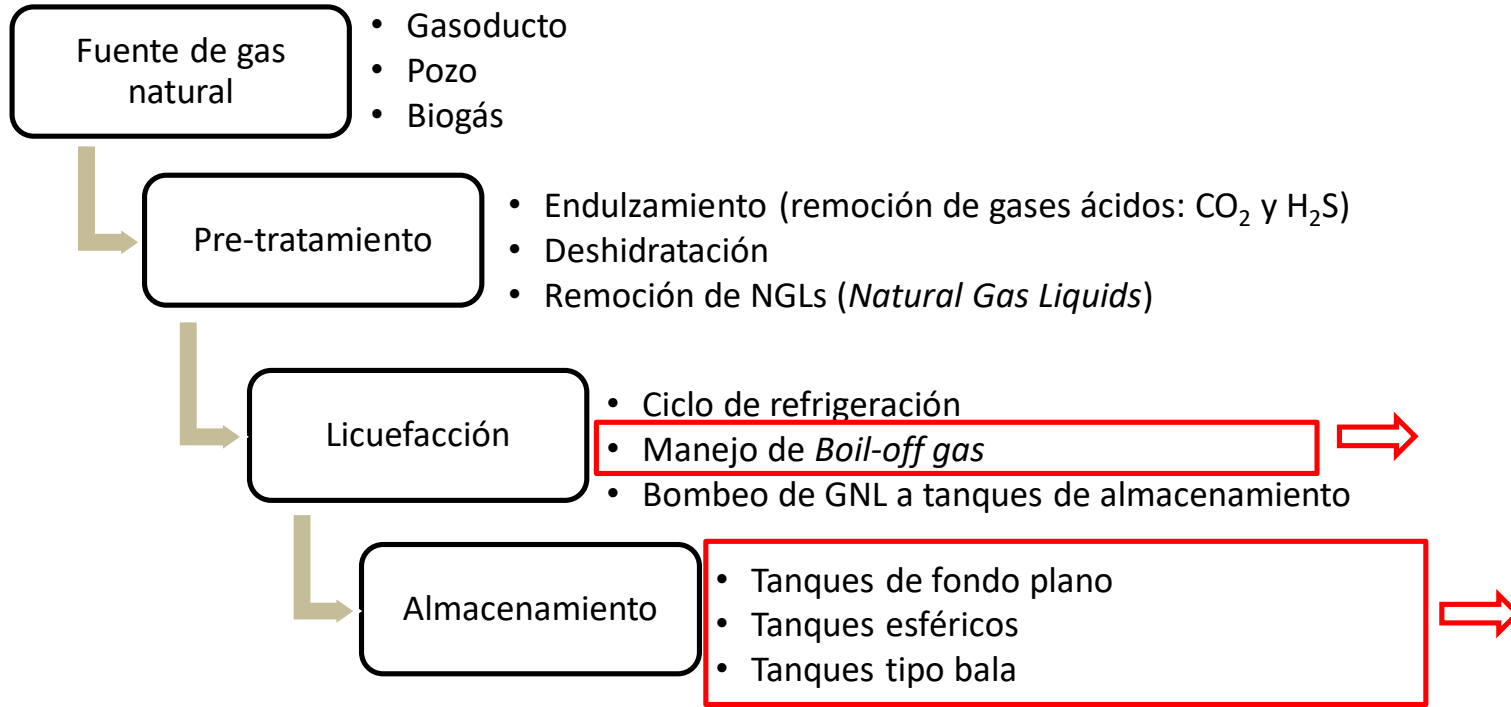
# 3. Producción de GNL

## Etapas de producción



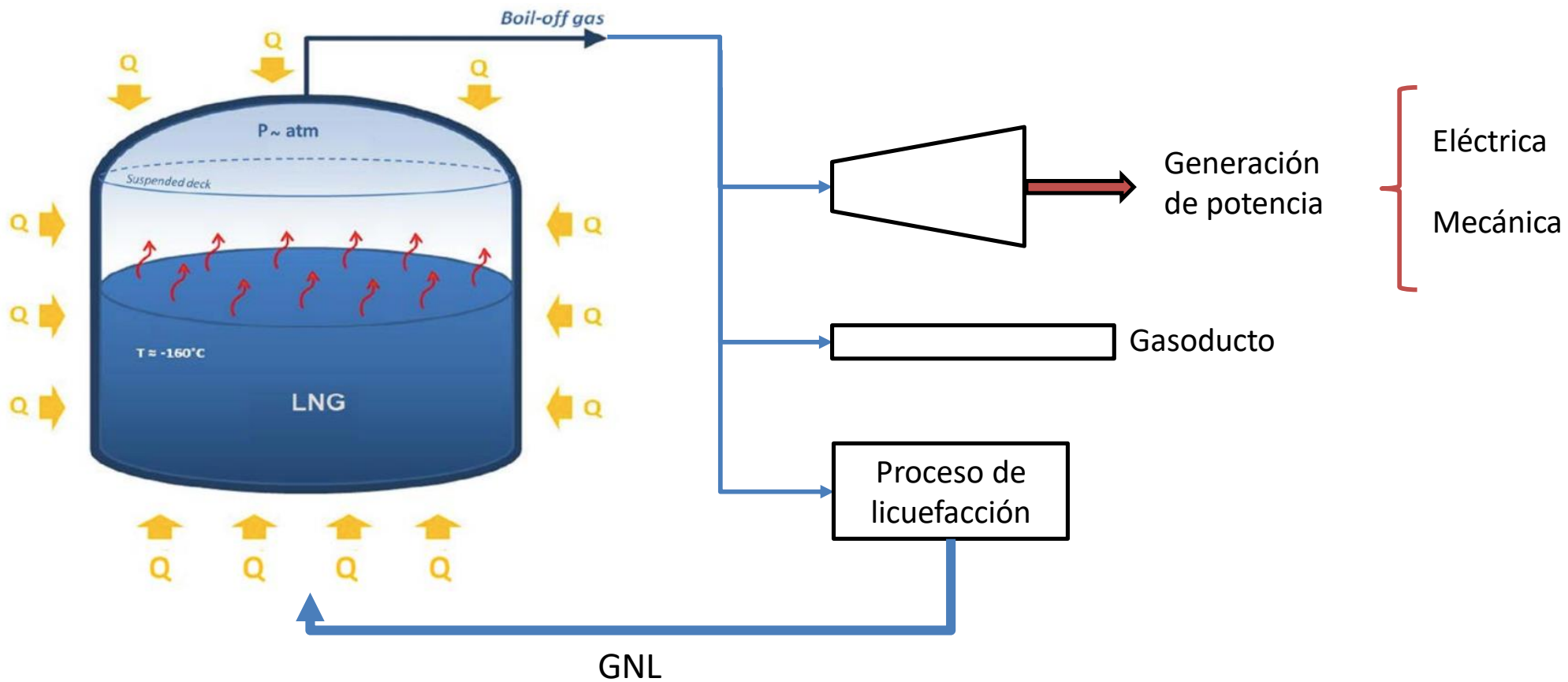
# 3. Producción de GNL

## Etapas de producción



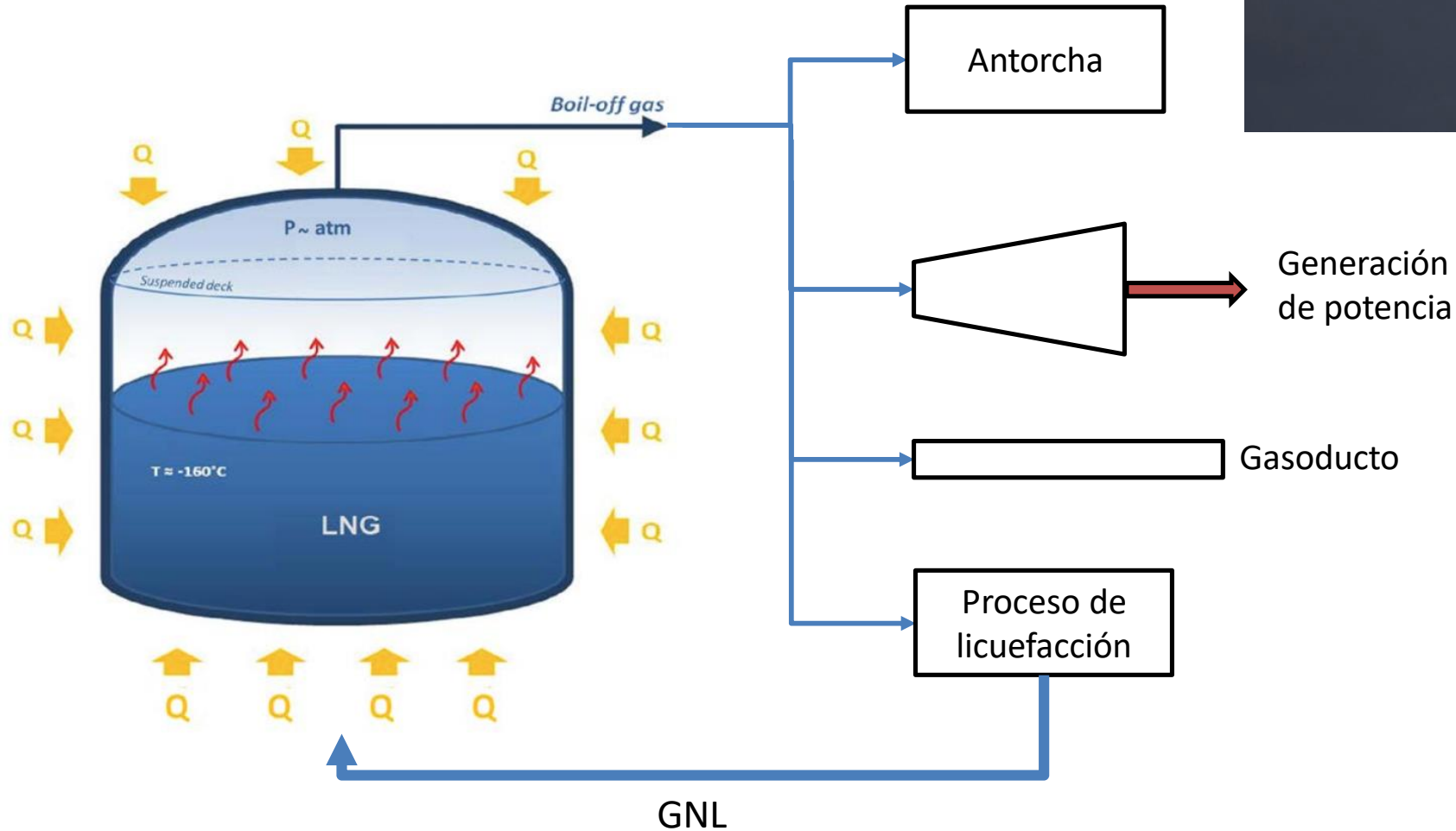
# 3. Producción de GNL

## Etapas de producción



# 3. Producción de GNL

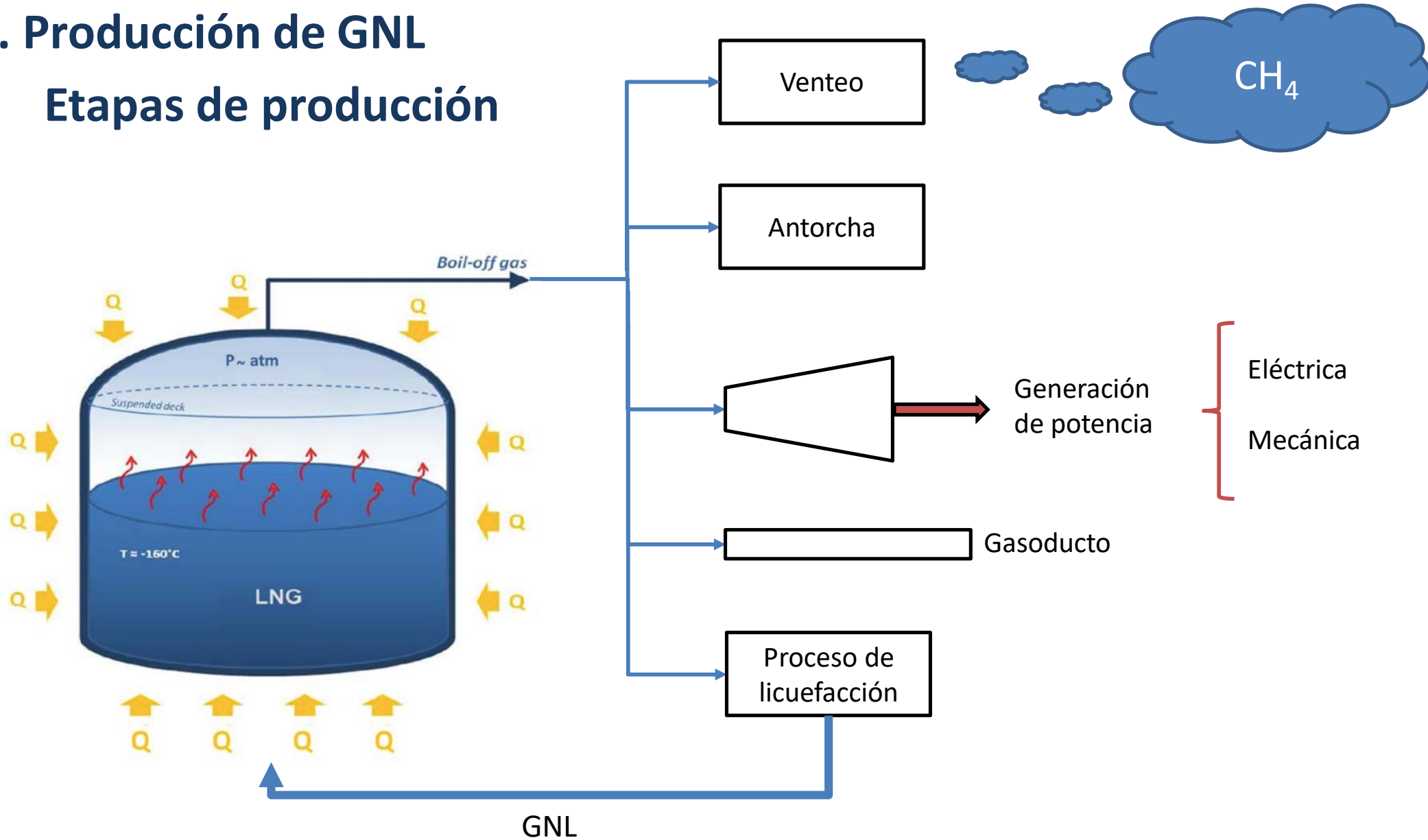
## Etapas de producción



Eléctrica  
Mecánica

### 3. Producción de GNL

#### Etapas de producción



# Contenido parte 1 – Fundamentos del GNL

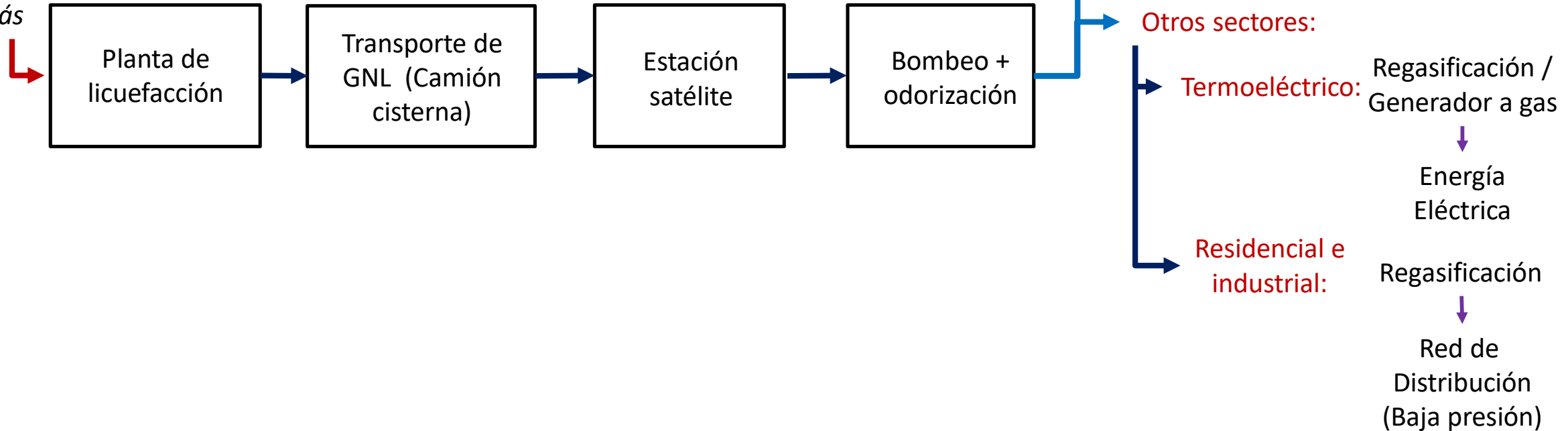
1. Panorama energético actual
2. Generalidades del Gas Natural Licuado – GNL
3. Producción de GNL
- 4. Usos del GNL**

## 4. Usos de GNL

### Sectores de consumo en Colombia

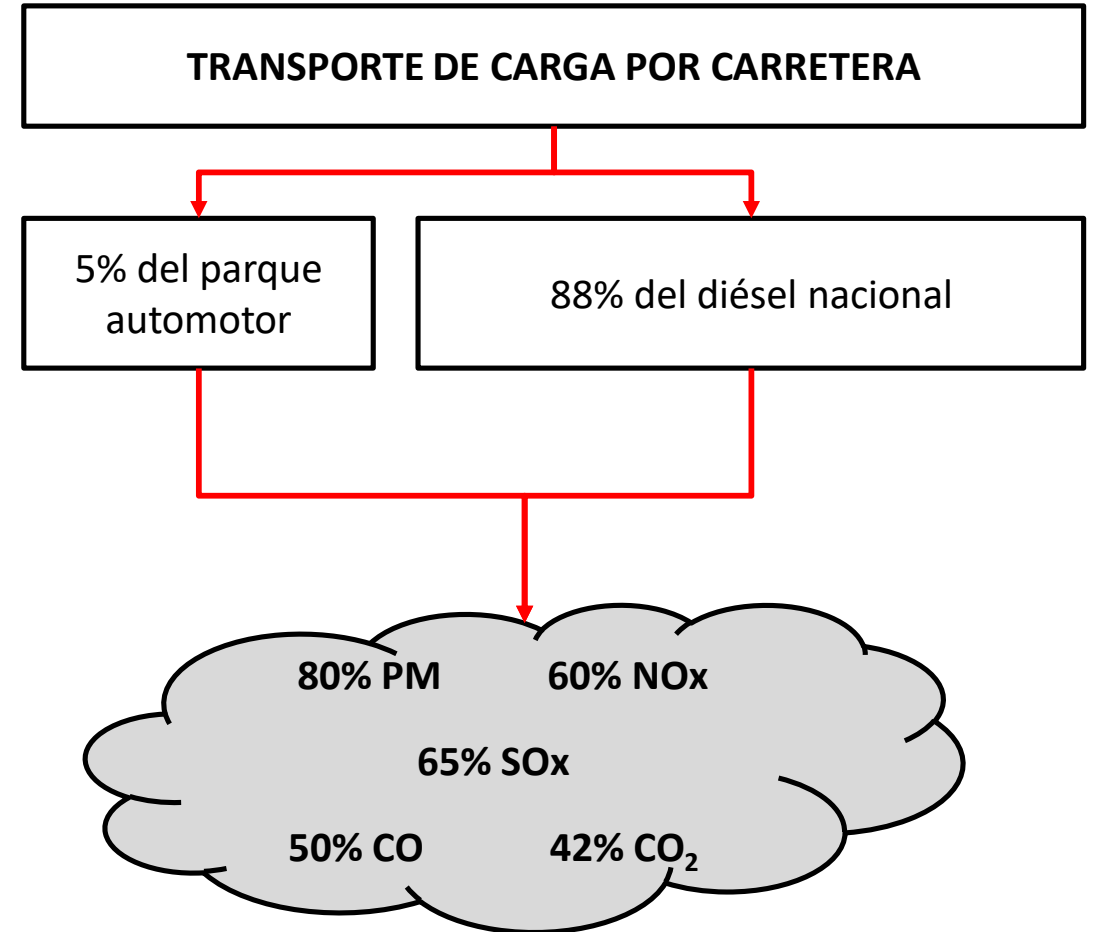
Fuente de Gas  
Natural:

- Gasoducto
- Pozo
- Biogás



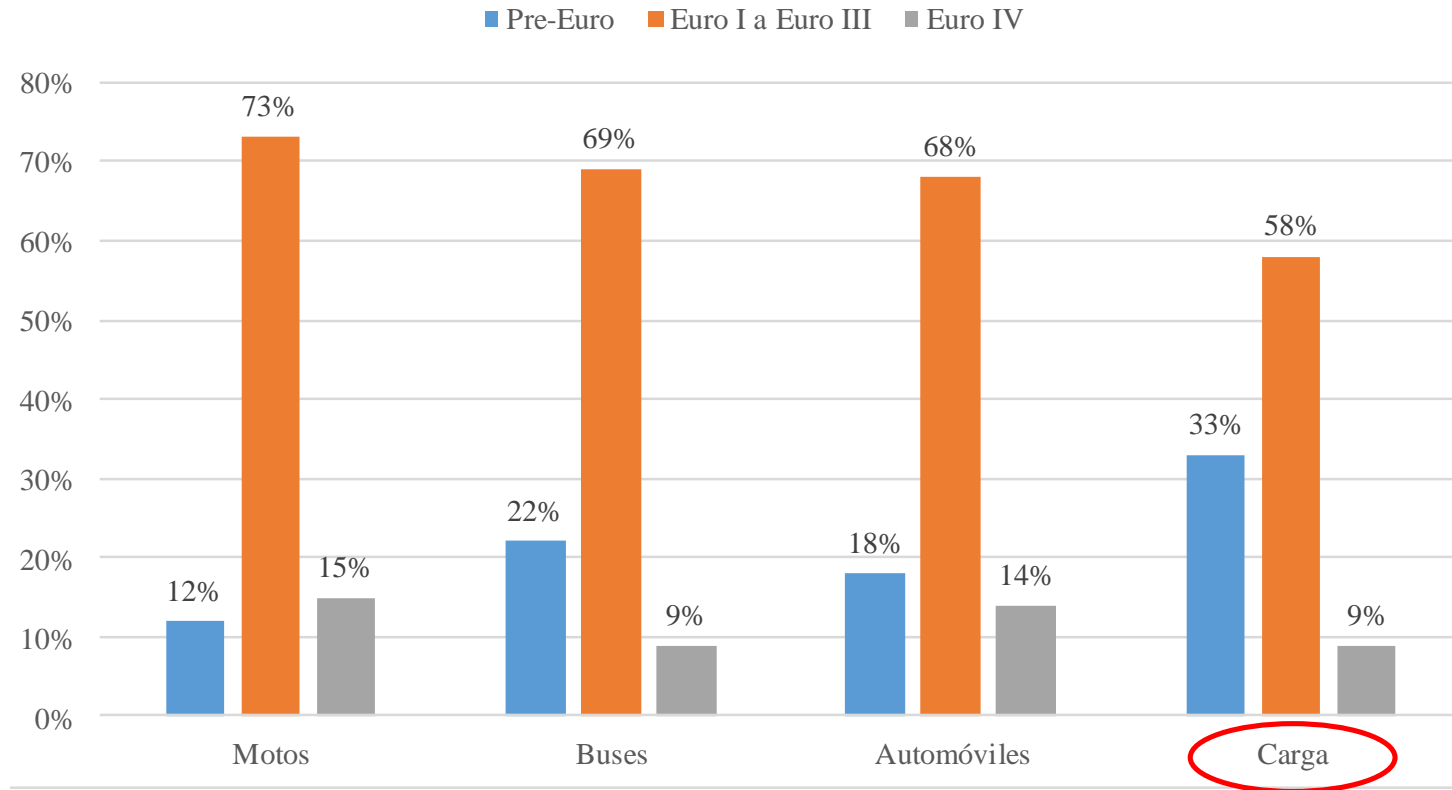
## 4. Usos de GNL

### Sector transporte



# 4. Usos de GNL

## Sector transporte



## 4. Usos de GNL

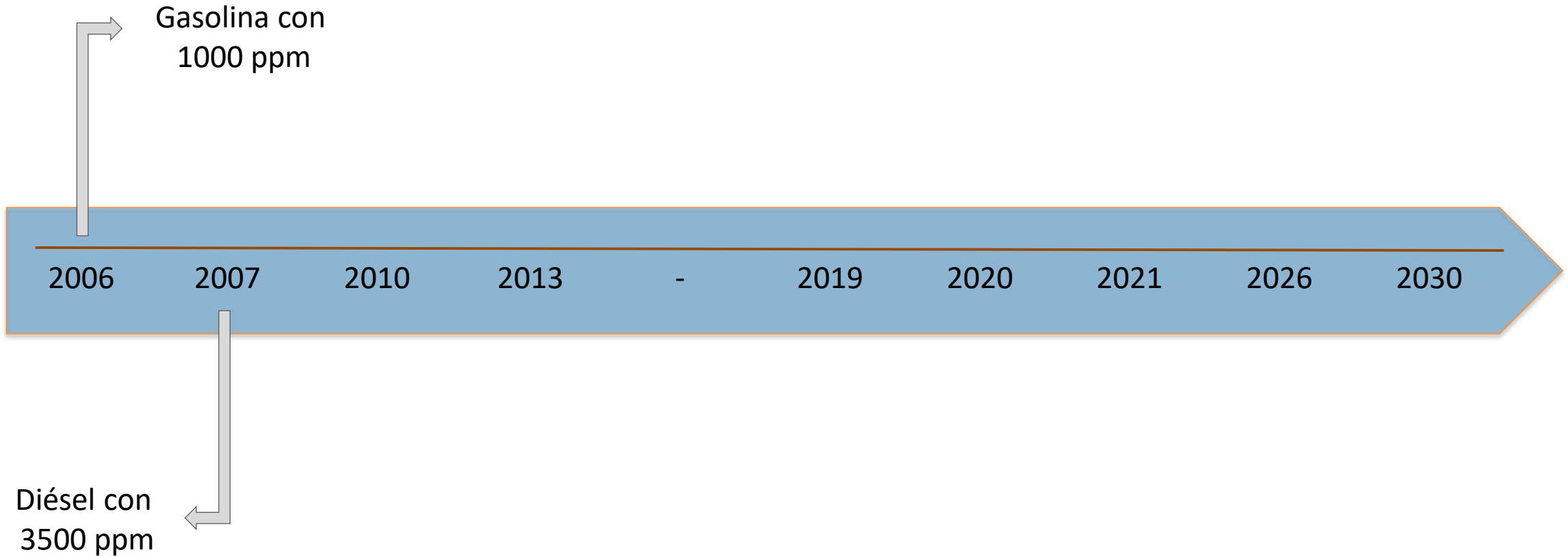
### Sector transporte



2006    2007    2010    2013    -    2019    2020    2021    2026    2030

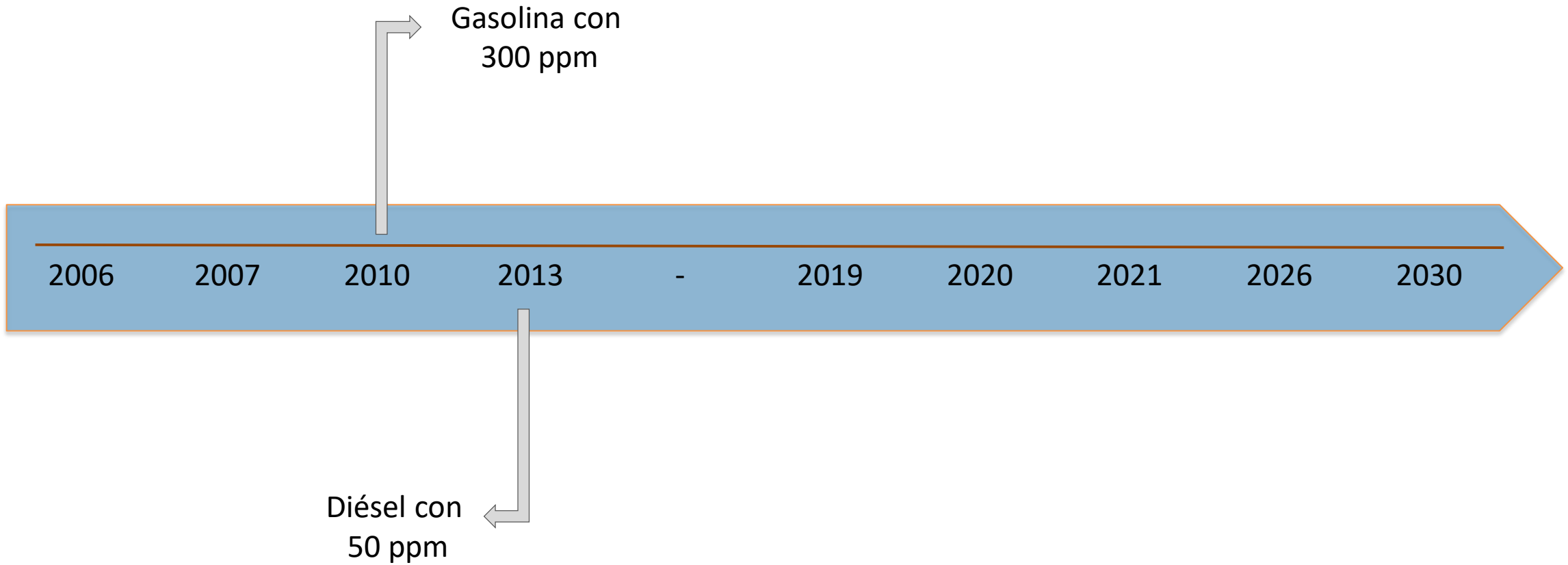
## 4. Usos de GNL

### Sector transporte



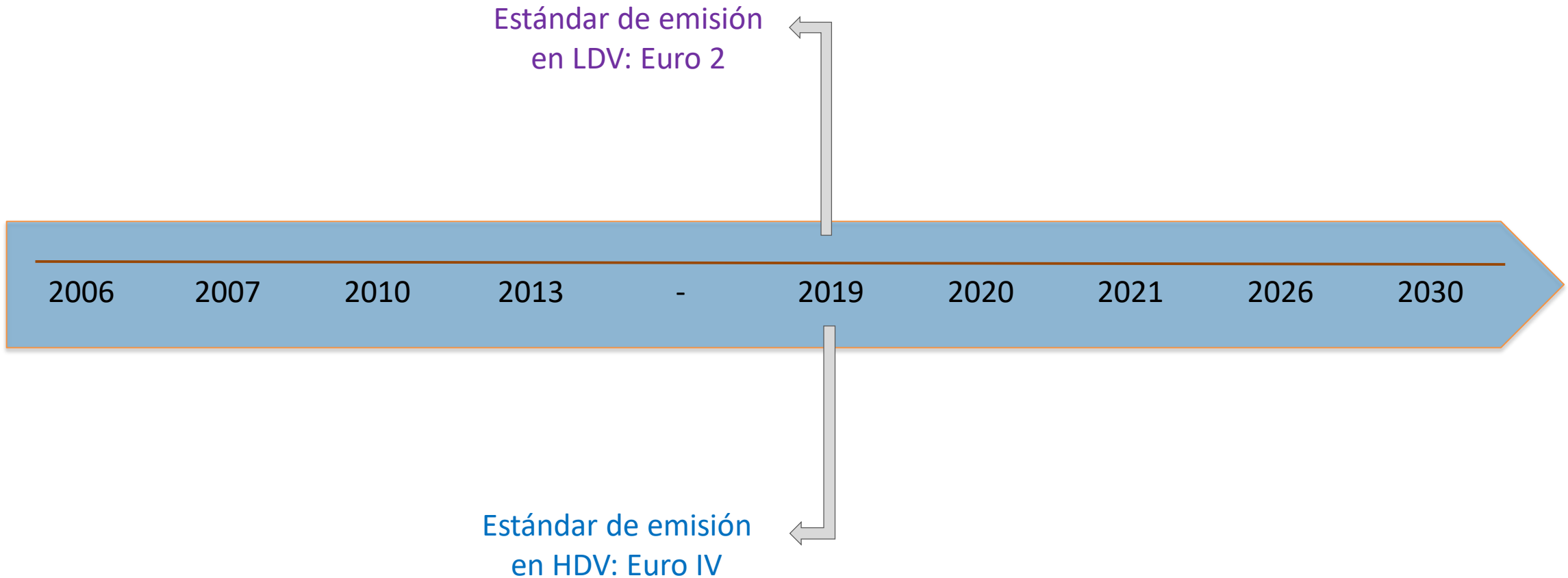
# 4. Usos de GNL

## Sector transporte



## 4. Usos de GNL

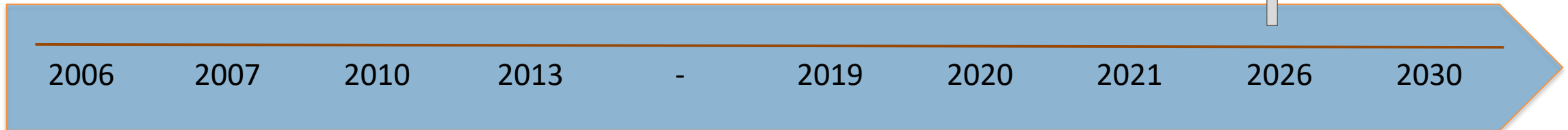
### Sector transporte



## 4. Usos de GNL

### Sector transporte

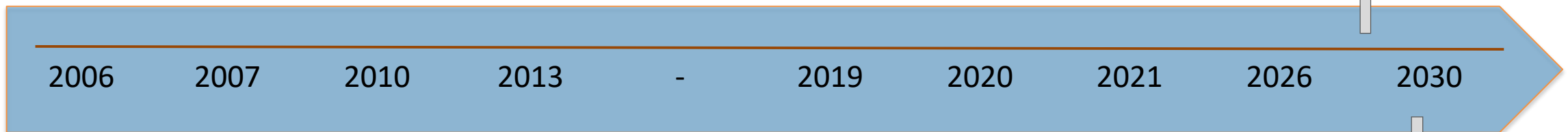
Diésel: 20 ppm (2020), 10 ppm – 15 ppm (2021), 10 ppm (2025)  
Gasolina: 100 ppm (2020), 50 ppm (2021), 10 ppm (2026 – 2030)  
Conpes 3943 / Calidad del Aire



## 4. Usos de GNL

### Sector transporte

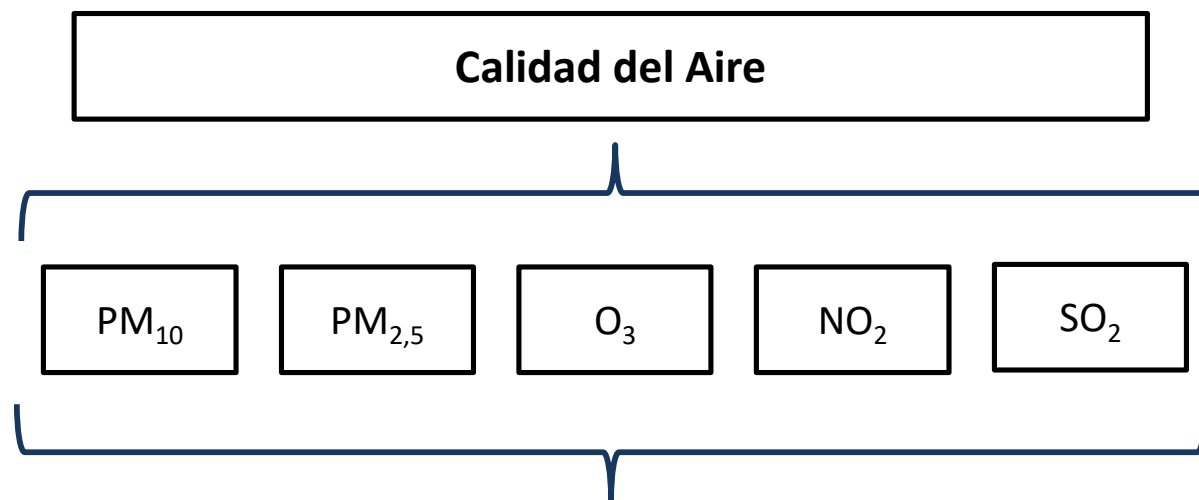
3% de la flota: Baja y cero emisiones  
100% Sist. Transporte Masivo sean V.E. o a GN  
22% Vehículos diésel sean Euro VI



600.000 V.E. en 2030  
Conpes 3934 / Crecimiento Verde

## 4. Usos de GNL

### Sector transporte

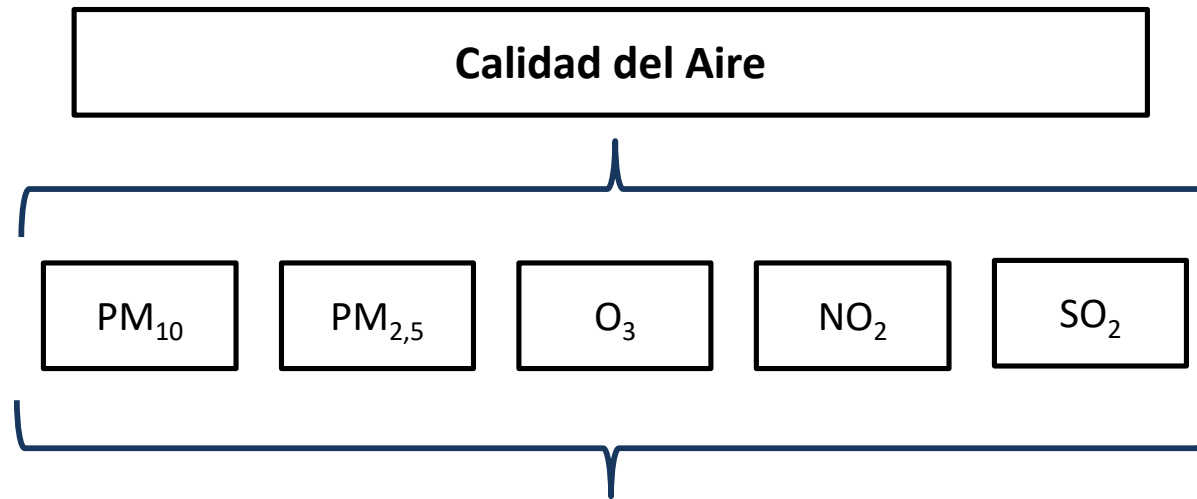


En Colombia:

- 8000 muertes prematuras en > 44 años.
- 125000 enfermedades respiratorias en < 5 años.
- 4220 casos de bronquitis crónica en > 44 años.
- 51 millones de síntomas respiratorios en > 44 años.

## 4. Usos de GNL

### Sector transporte



En Colombia:

- 8000 muertes prematuras en > 44 años.
- 125000 enfermedades respiratorias en < 5 años.
- 4220 casos de bronquitis crónica en > 44 años.
- 51 millones de síntomas respiratorios en > 44 años.

\$\$

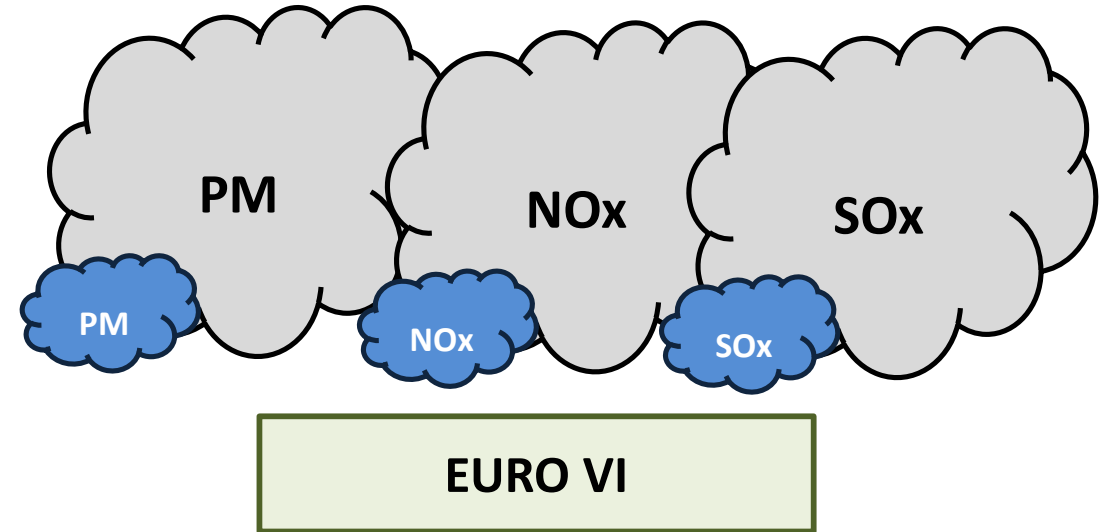
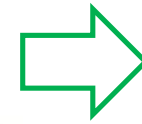
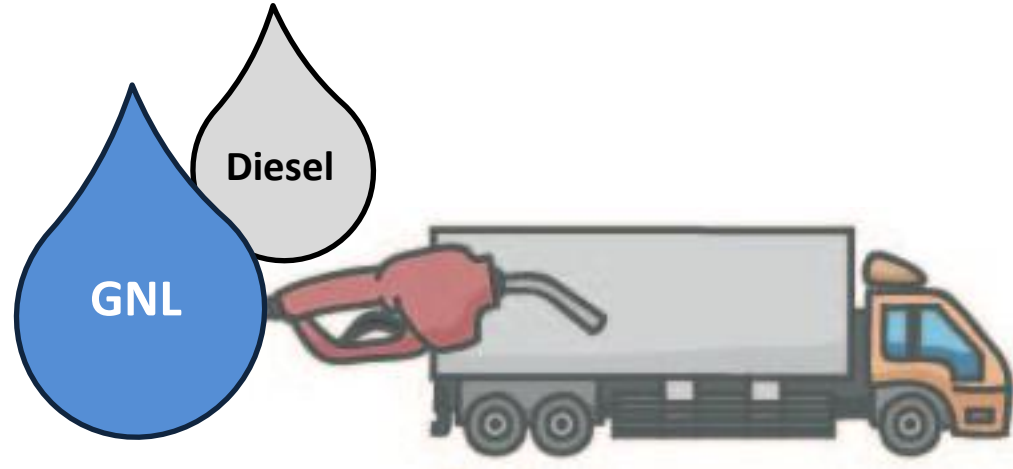
12,2 billones de pesos en 2015

87% mortalidad

13% morbilidad

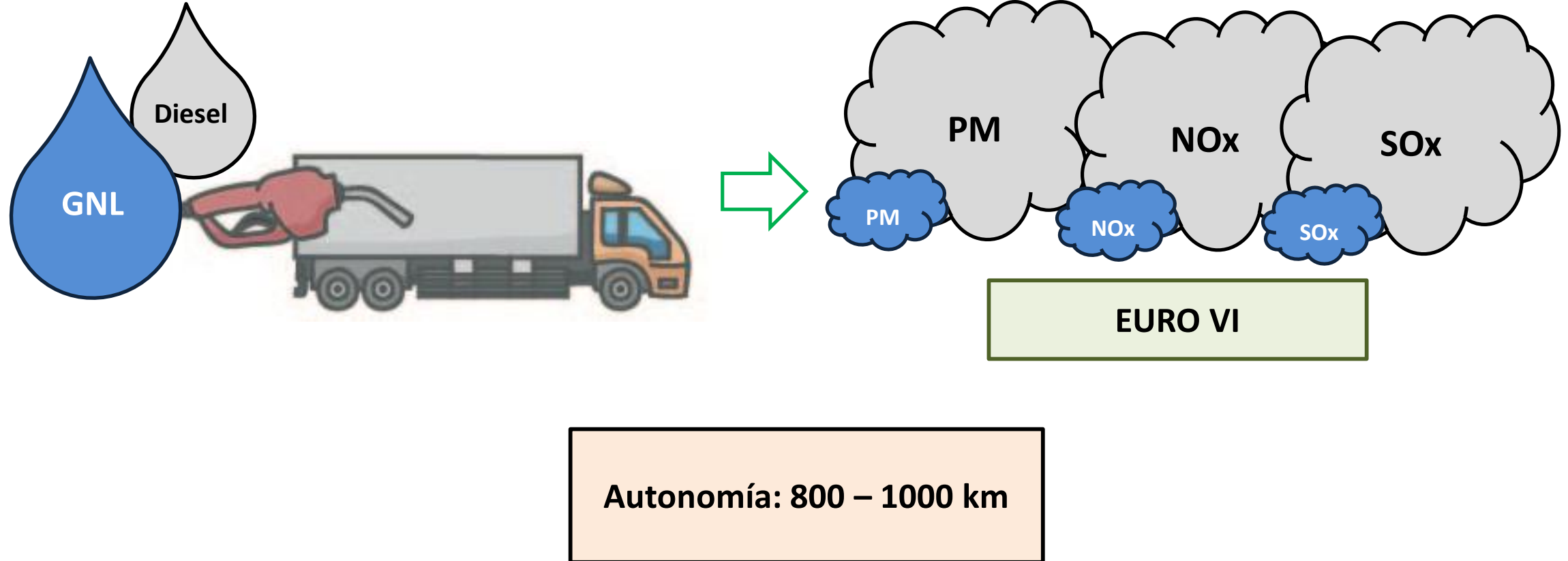
## 4. Usos de GNL

### Sector transporte



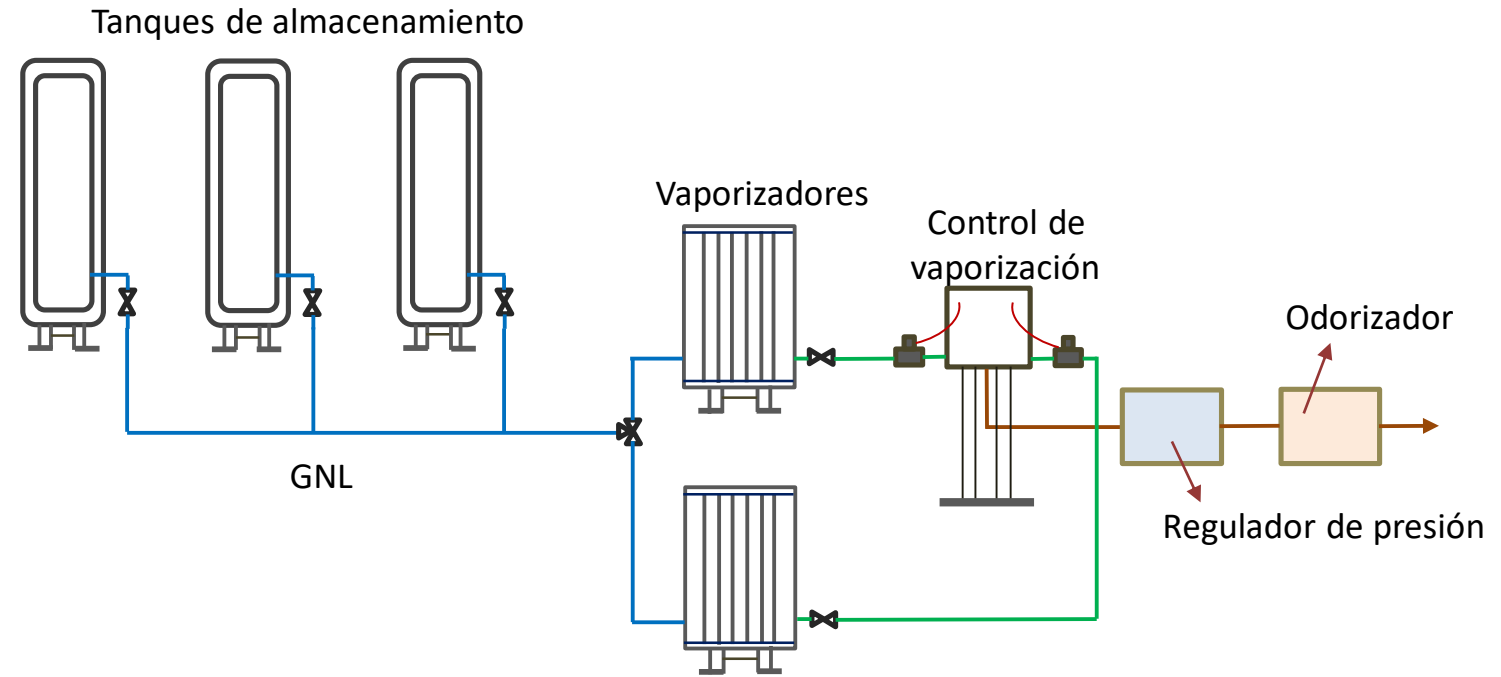
## 4. Usos de GNL

### Sector transporte



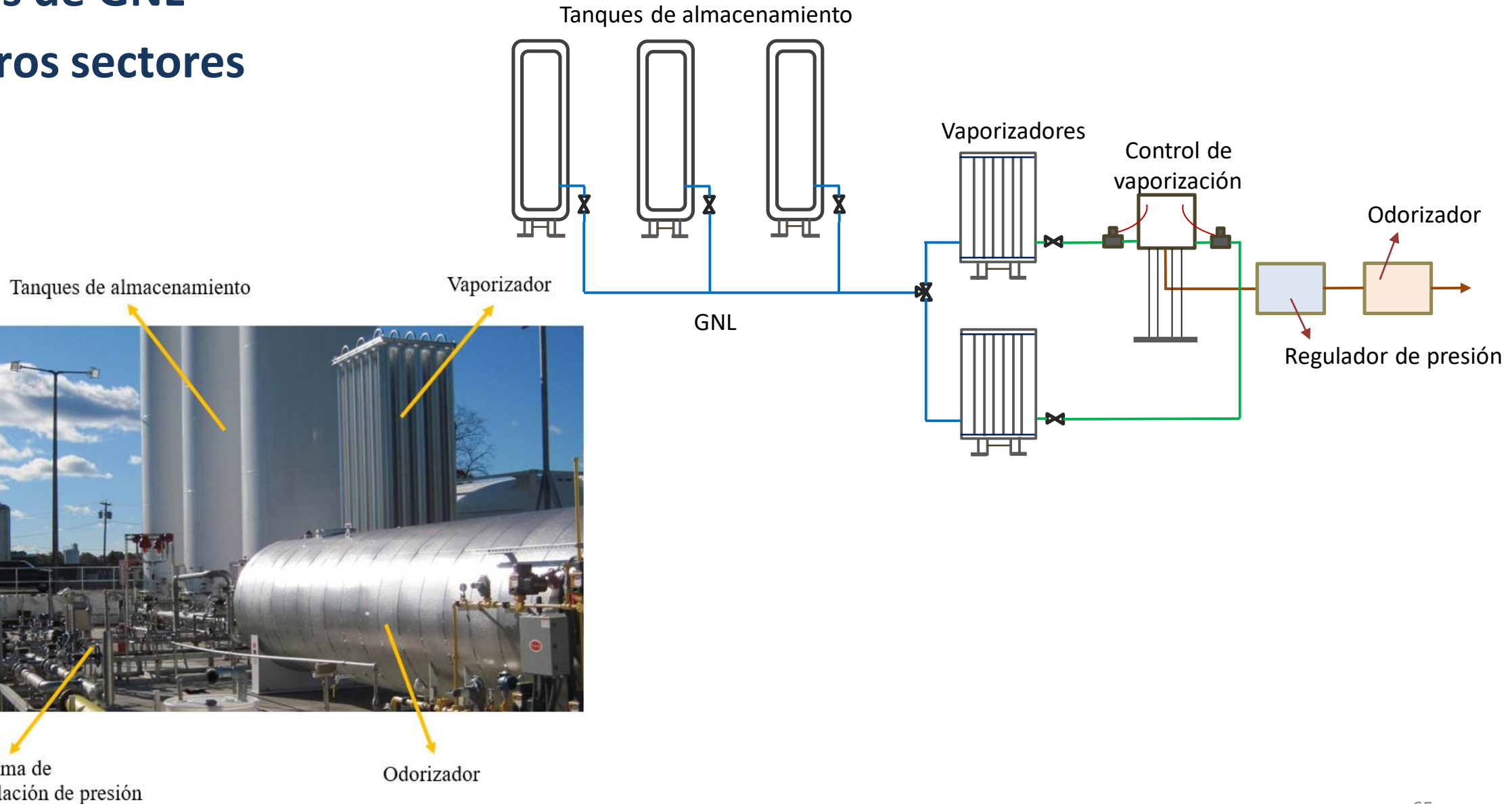
# 4. Usos de GNL

## Otros sectores



# 4. Usos de GNL

## Otros sectores



Tanques de almacenamiento

Vaporizador

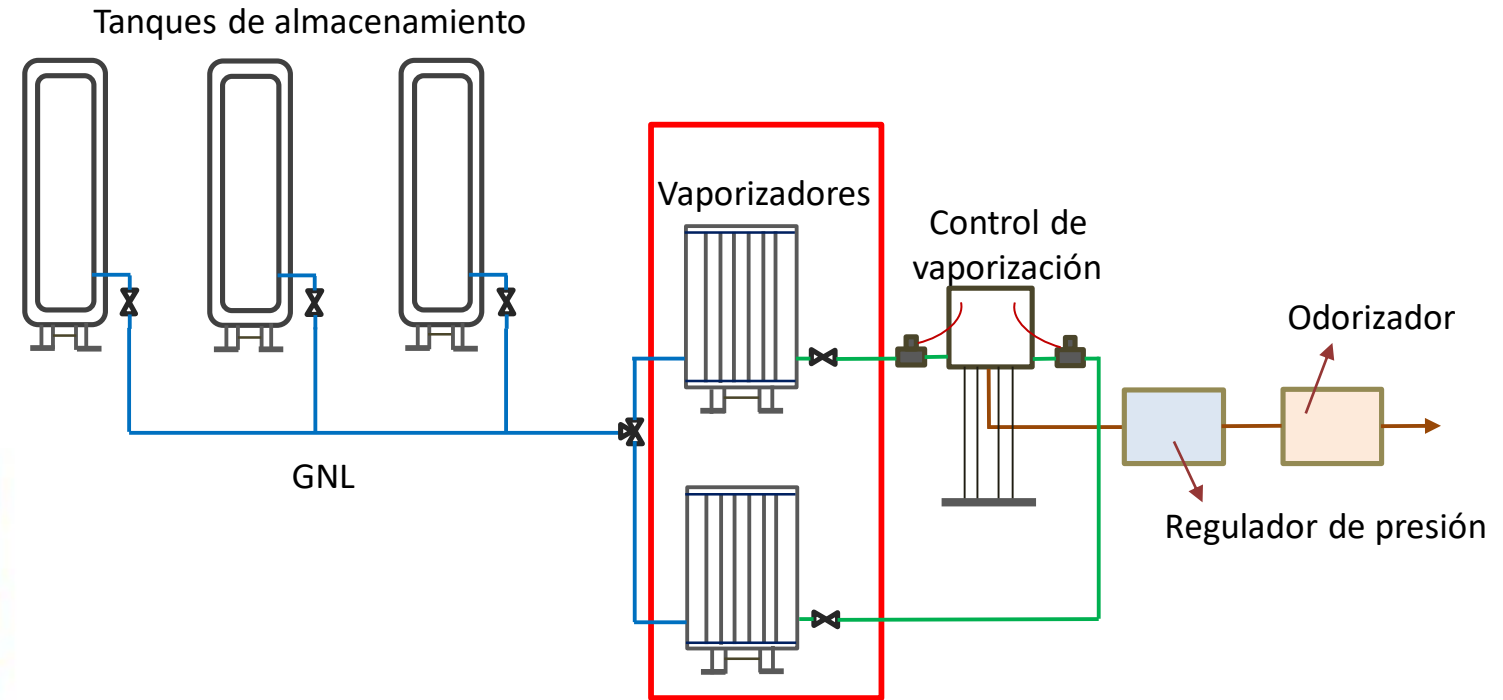
Control de vaporización

Sistema de regulación de presión

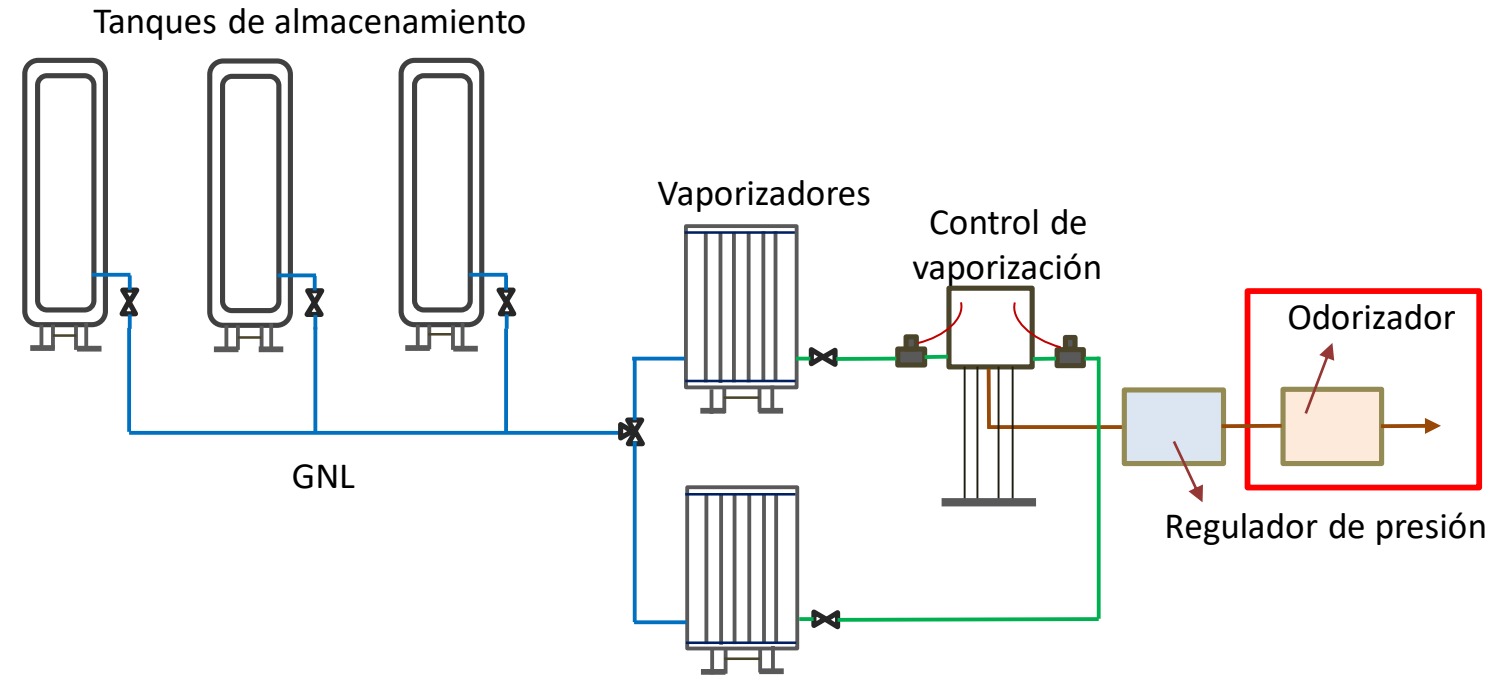
Odorizador

# 4. Usos de GNL

## Otros sectores



# 4. Usos de GNL Otros sectores



# Contenido de la presentación

1. Generalidades del proyecto
2. Parte 1: fundamentos
3. **Parte 2: valores de referencia**

## Contenido parte 2

1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala
2. Conceptualización de la herramienta de modelado y optimización
3. Interfaz de usuario
4. Valores de referencia para la penetración de GNL a pequeña escala en Colombia
5. Comentarios finales

## Contenido parte 2

- 1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala**
2. Conceptualización de la herramienta de modelado y optimización
3. Interfaz de usuario
4. Valores de referencia para la penetración de GNL a pequeña escala en Colombia
5. Comentarios finales

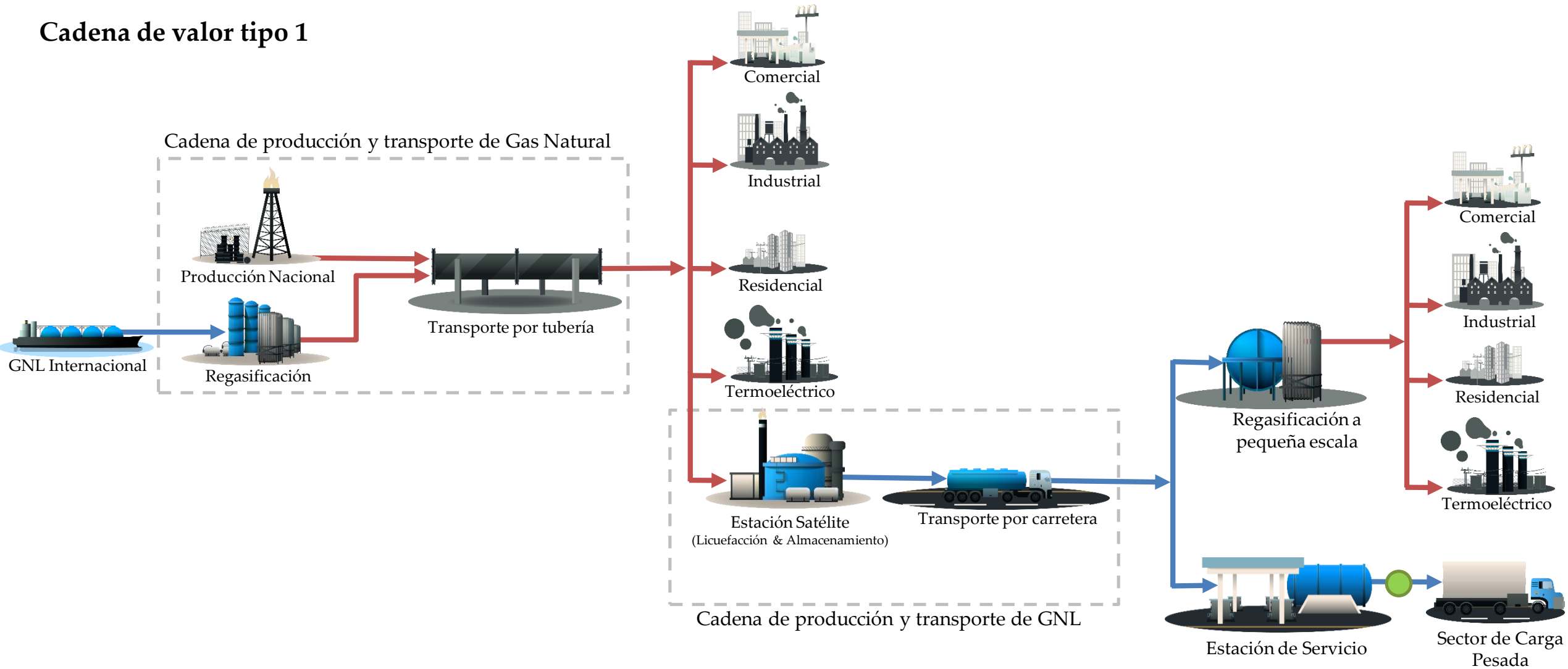
# 1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala

¿Qué es el gas natural licuado?

El gas natural licuado (GNL) es **gas natural** que ha sido procesado para ser **transportado en forma líquida** (a presión atmosférica y a  $-162\text{ °C}$ ) con una equivalencia en volumen de 1/600 cuando se compara con el gas natural en forma gaseosa. **Es un medio logístico para el transporte de gas natural.**

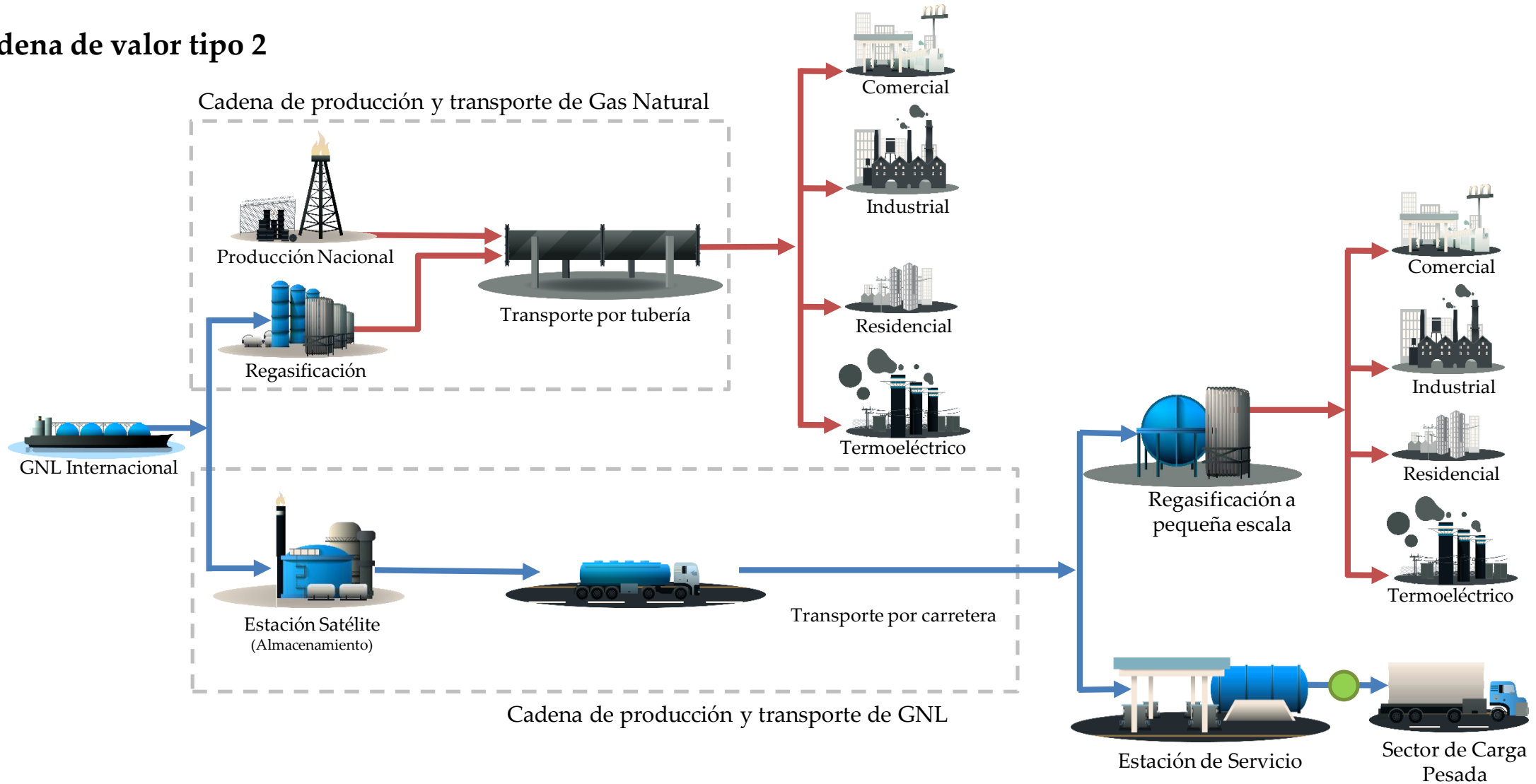
# 1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala

## Cadena de valor tipo 1



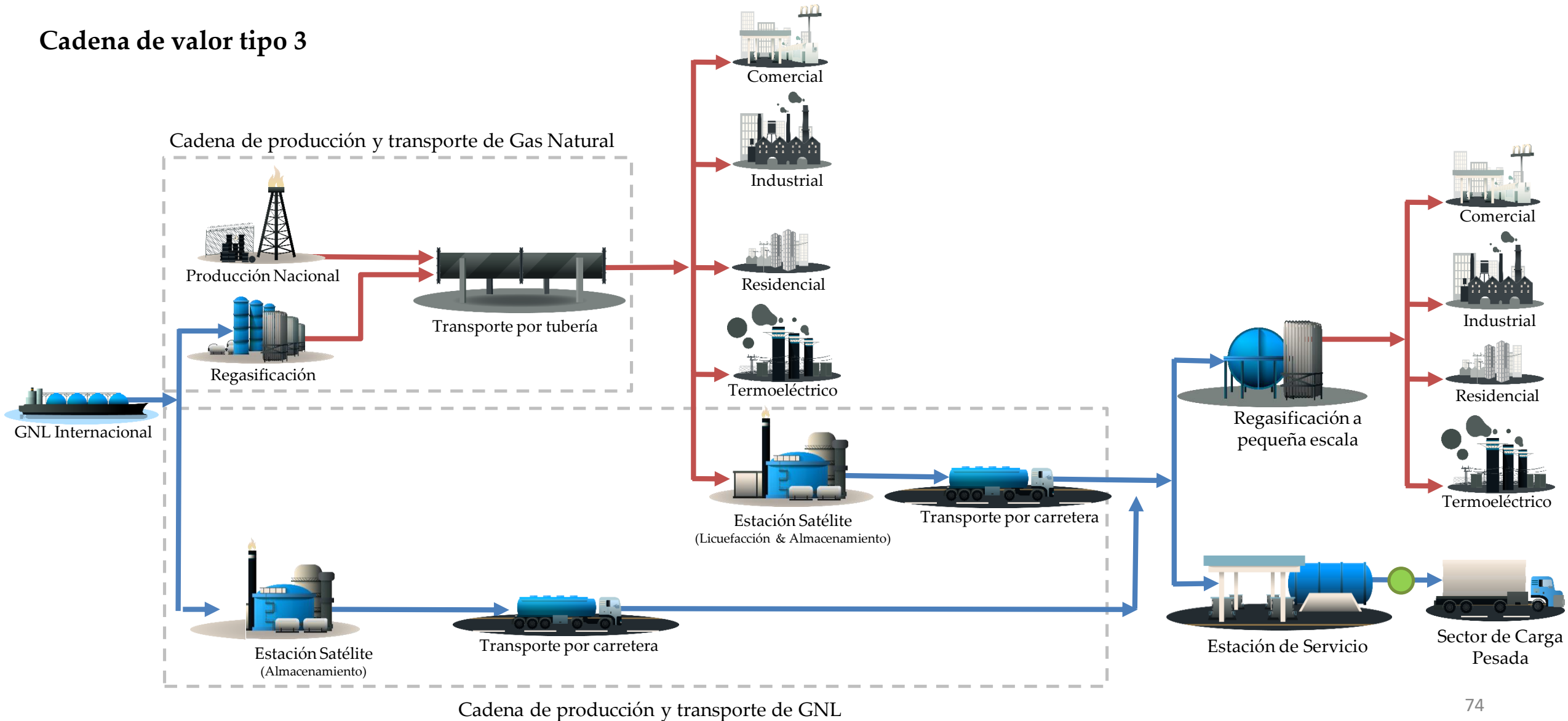
# 1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala

## Cadena de valor tipo 2



# 1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala

## Cadena de valor tipo 3



# 1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala

¿cuál cadena de valor es la más conveniente para nuestro país?

¿cuáles serán sus valores de referencia?

- *Proyección* de demanda nacional de GNL
- *Proyección* de precio internacional del GNL
- *Proyección* de oferta de producción de nacional de gas natural
- *Proyección* del precio del sustituto (Diésel, GLP, etc.)
- *Proyección* de costos (CAPEX y OPEX) de la infraestructura necesaria para el despliegue de esta tecnología
- Infraestructura de transporte de gas natural de nuestro país
- Políticas públicas
- Etc.

# 1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala

¿cuál cadena de valor es la más conveniente para nuestro país?

¿cuáles serán sus valores de referencia?

Para contestar las preguntas anteriores es necesario definir dos aspectos:

**1. Herramienta de modelamiento y optimización:** es un modelo de optimización matemática cuya solución permite determinar la infraestructura de menor costo de GNL para el país. Esta herramienta responde a las siguientes preguntas:

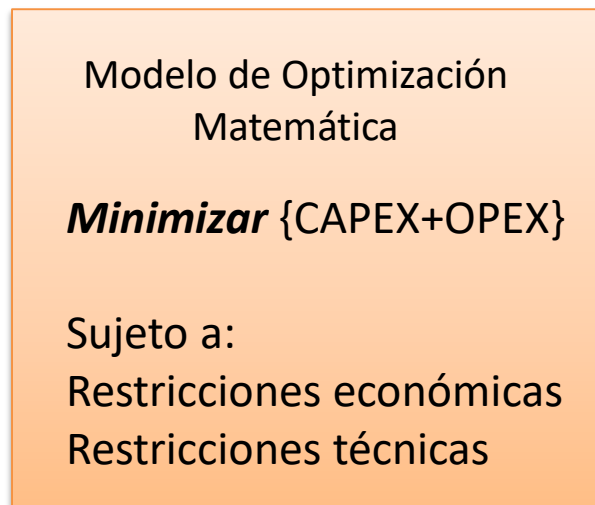
- ¿**Cuál** cadena de valor es la más conveniente para el país?
- ¿**En dónde** deben ser ubicados geográficamente los elementos que conforman la cadena de valor?
- ¿**Cuándo** deben ser instalados los elementos que conforman la cadena de valor?
- ¿**Cuáles** son los valores de referencia?

**2. Interfaz de usuario:** es un software que integra diferentes herramientas computacionales (GAMS, Matlab, Node y Excel) que permiten interactuar con la herramienta de modelado y optimización para la realización de casos de estudio y análisis de resultados.

## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización

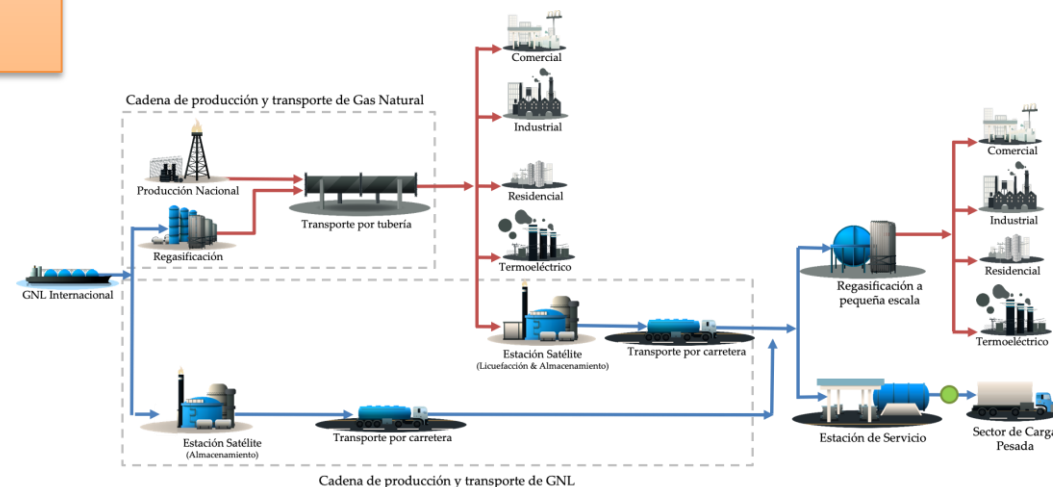
### Entradas más relevantes

- Económicas
  - Oferta de combustibles
  - Precio de combustibles
- Técnicas
  - Corredores logísticos de transporte
  - Infraestructura existente y proyectada de gas natural



### Salidas más relevantes:

- Cadena de valor
- Ubicación geográfica de los elementos de la cadena de valor y el momento en que deben estar operando
- Valor de referencia ●



## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización

Un comentario final respecto a la conceptualización de modelo de optimización:

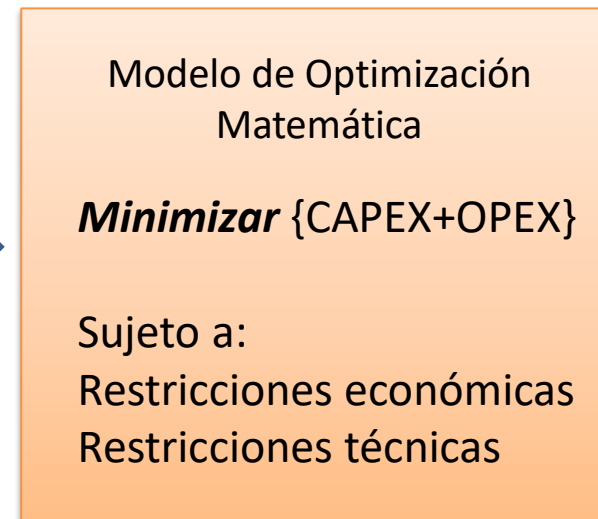
El modelo se resuelve para diferentes escenarios y para distintas sensibilidades.

- **Escenario:** Solución del modelo con unos posibles valores numéricos –realización- de unas proyecciones.
- **Sensibilidad:** Efecto de un cambio numérico de una variable relevante dentro de un escenario.

### Escenario

Entradas más relevantes

- Económicas
  - Valor supuesto de oferta de combustibles
  - Valor supuesto de precio de combustibles
- Técnicas
  - Valor supuesto de los corredores logísticos de transporte
  - Valor supuesto de la Infraestructura existente y proyectada de gas natural



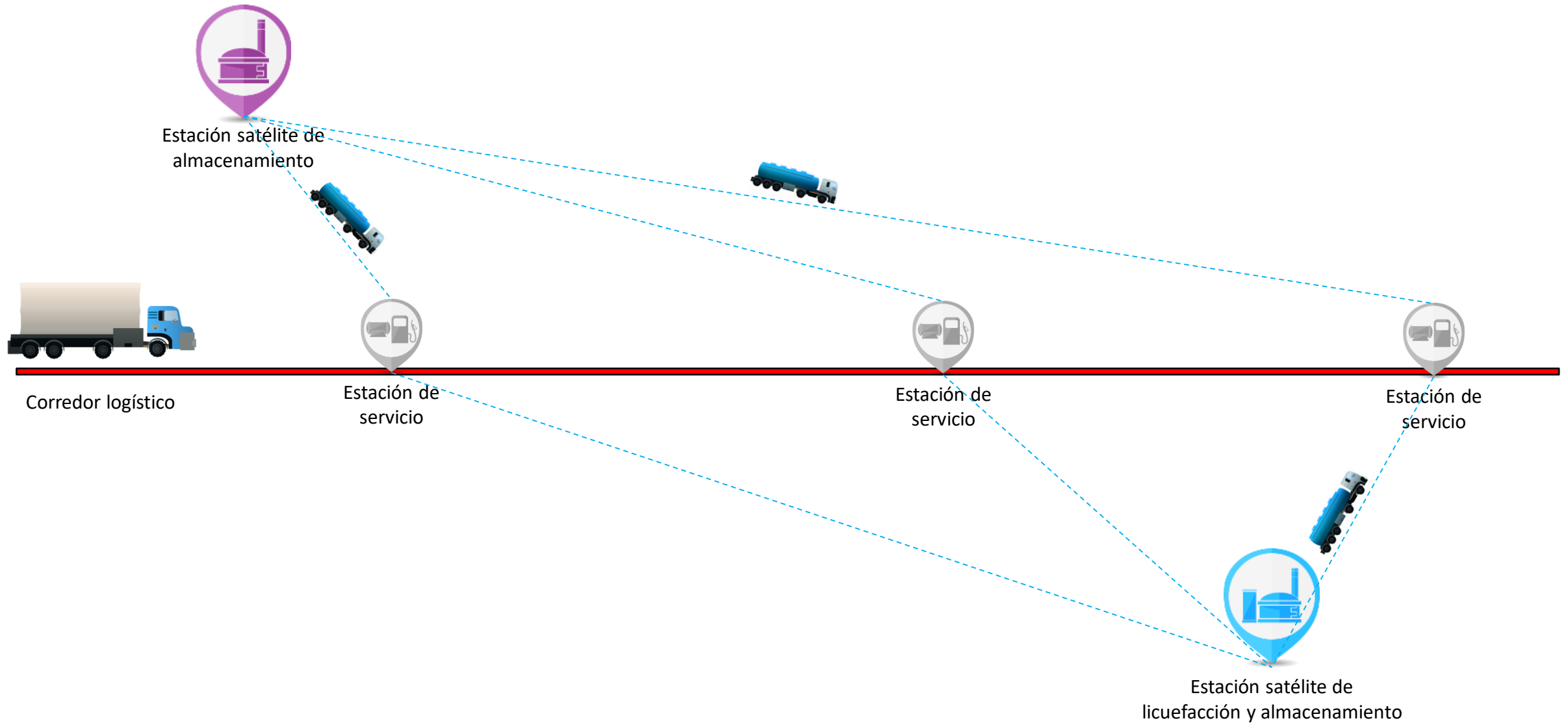
### Respuesta para el escenario

- Cadena de valor
- Ubicación geográfica de los elementos de la cadena de valor y el momento en que deben estar operando
- Valor de referencia

## Contenido parte 2

1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala
2. **Conceptualización de la herramienta de modelado y optimización**
3. Interfaz de usuario
4. Valores de referencia para la penetración de GNL a pequeña escala en Colombia
5. Comentarios finales

## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Estación satélite de almacenamiento



Estación de servicio



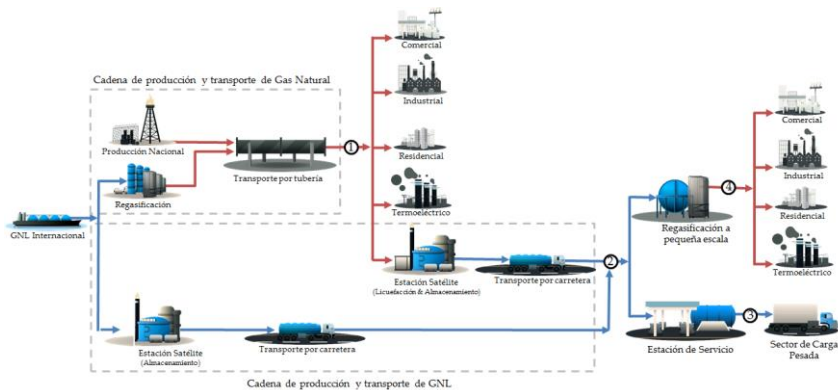
Corredor logístico



Estación de servicio



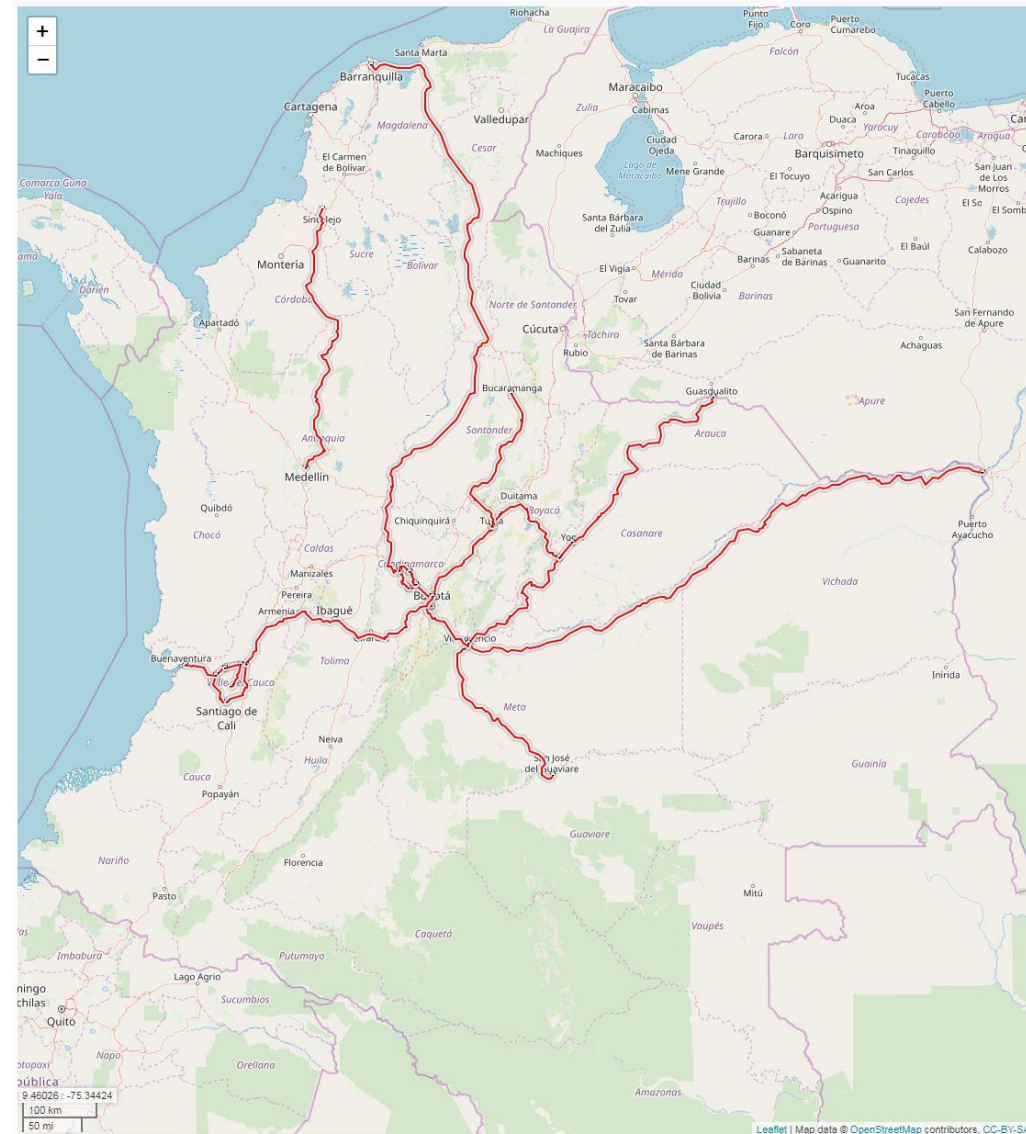
Estación satélite de licuefacción y almacenamiento



## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Corredor vial



Resolución MinTransporte 164 de 2015 – corredores logísticos

Resolución MinTransporte 332 de 2017 – vida útil vehículos

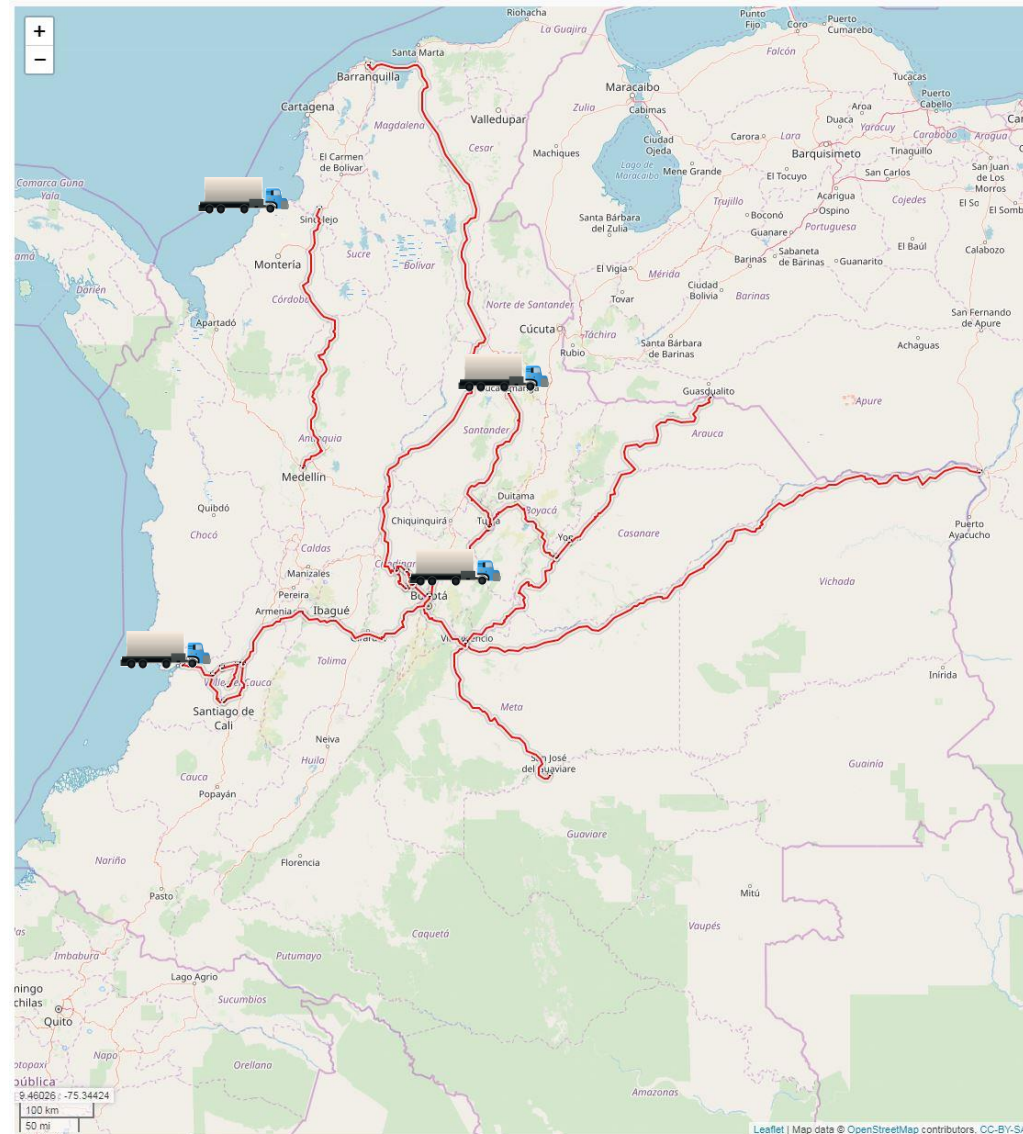
## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Corredor vial



Camión de carga



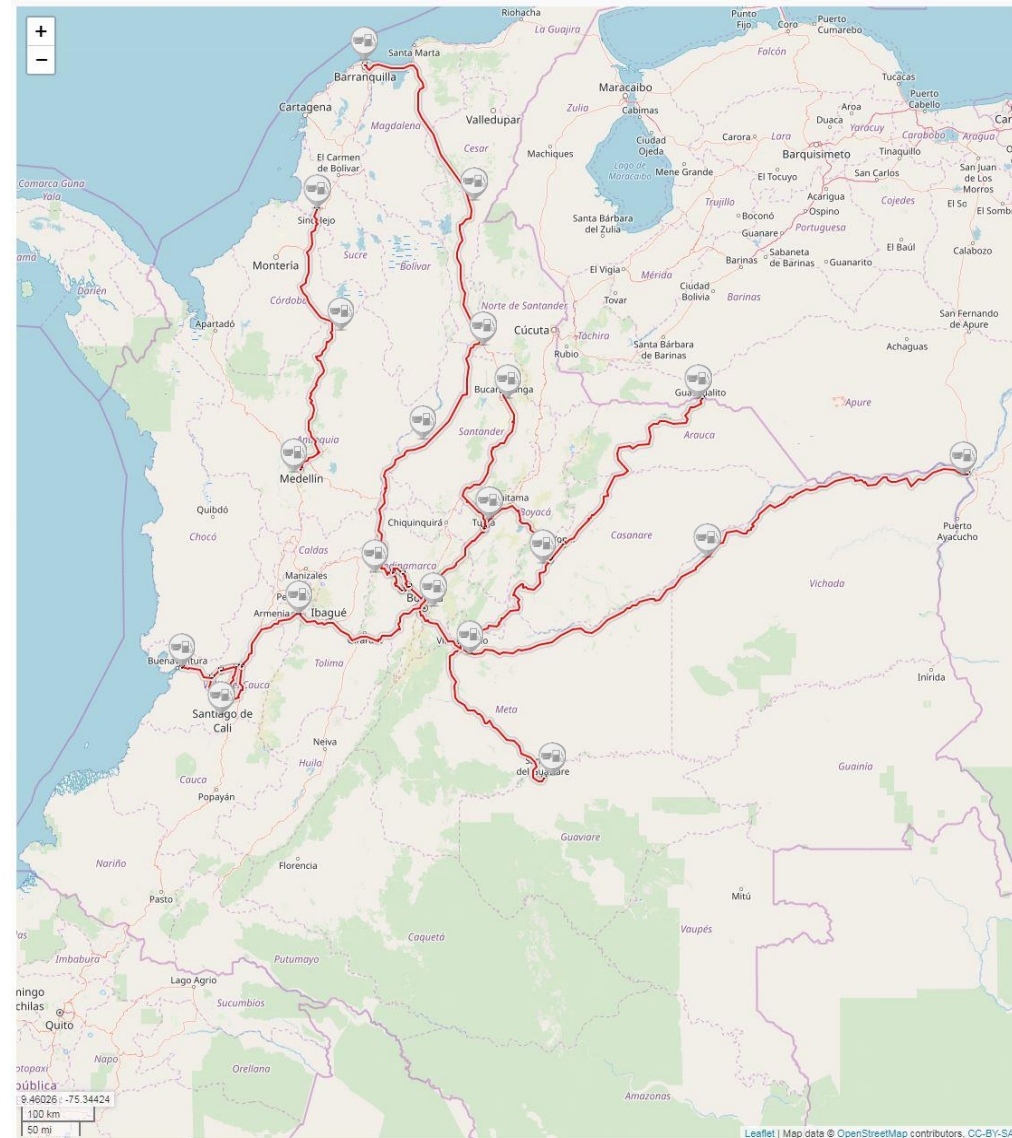
## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Corredor vial



Posible ubicación de estación de servicio



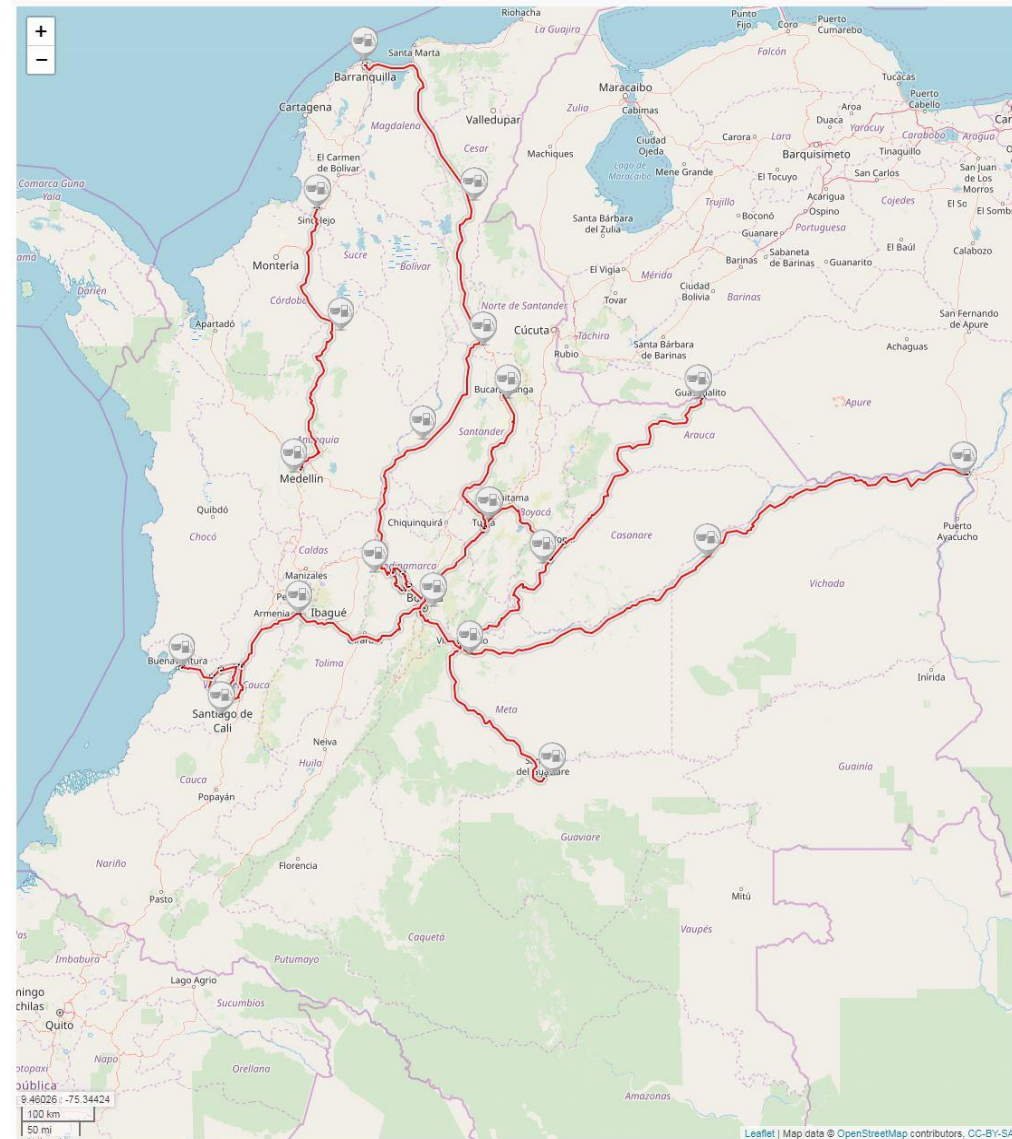
## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Corredor vial



Possible ubicación de estación de servicio



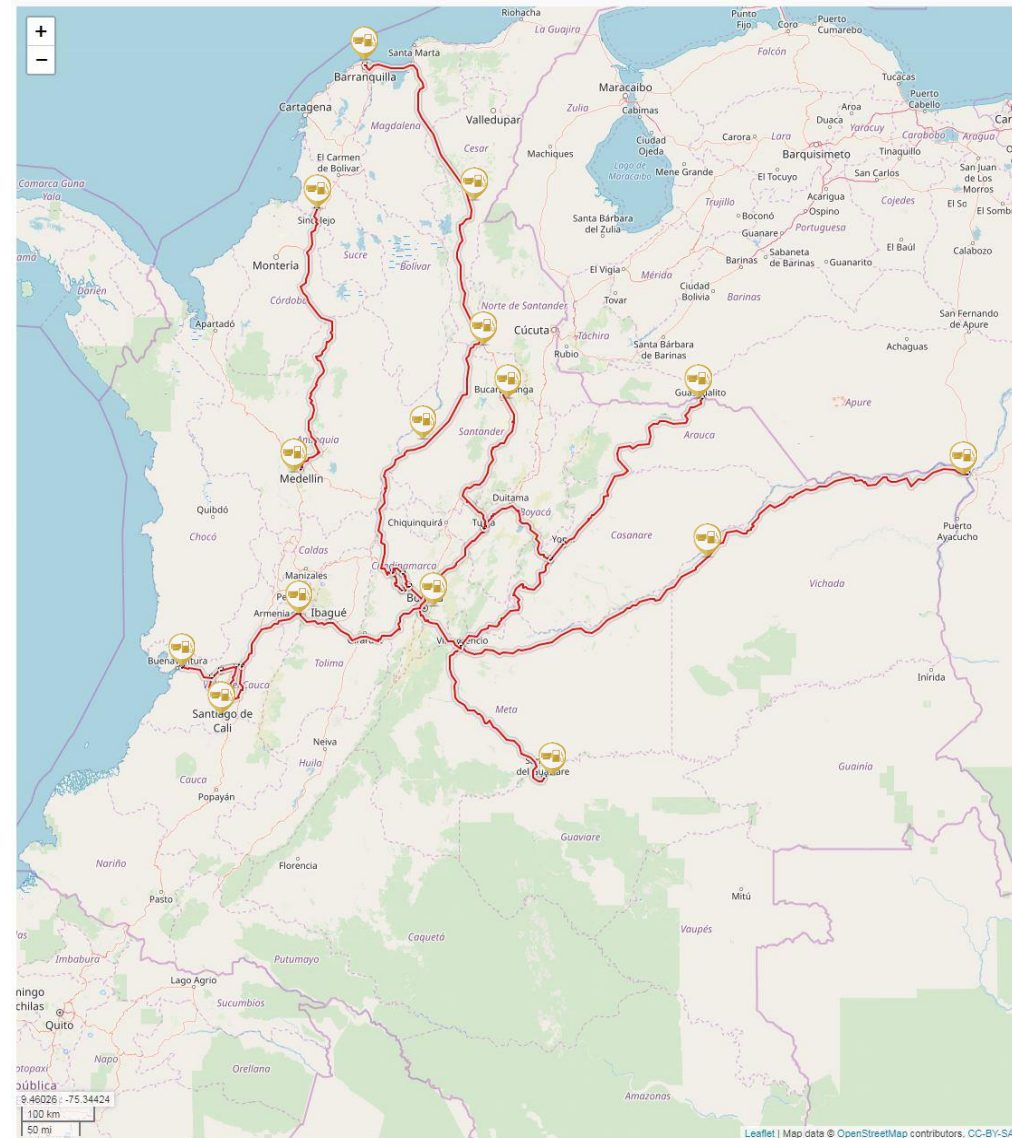
## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Corredor vial



Estación de servicio instalada



## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



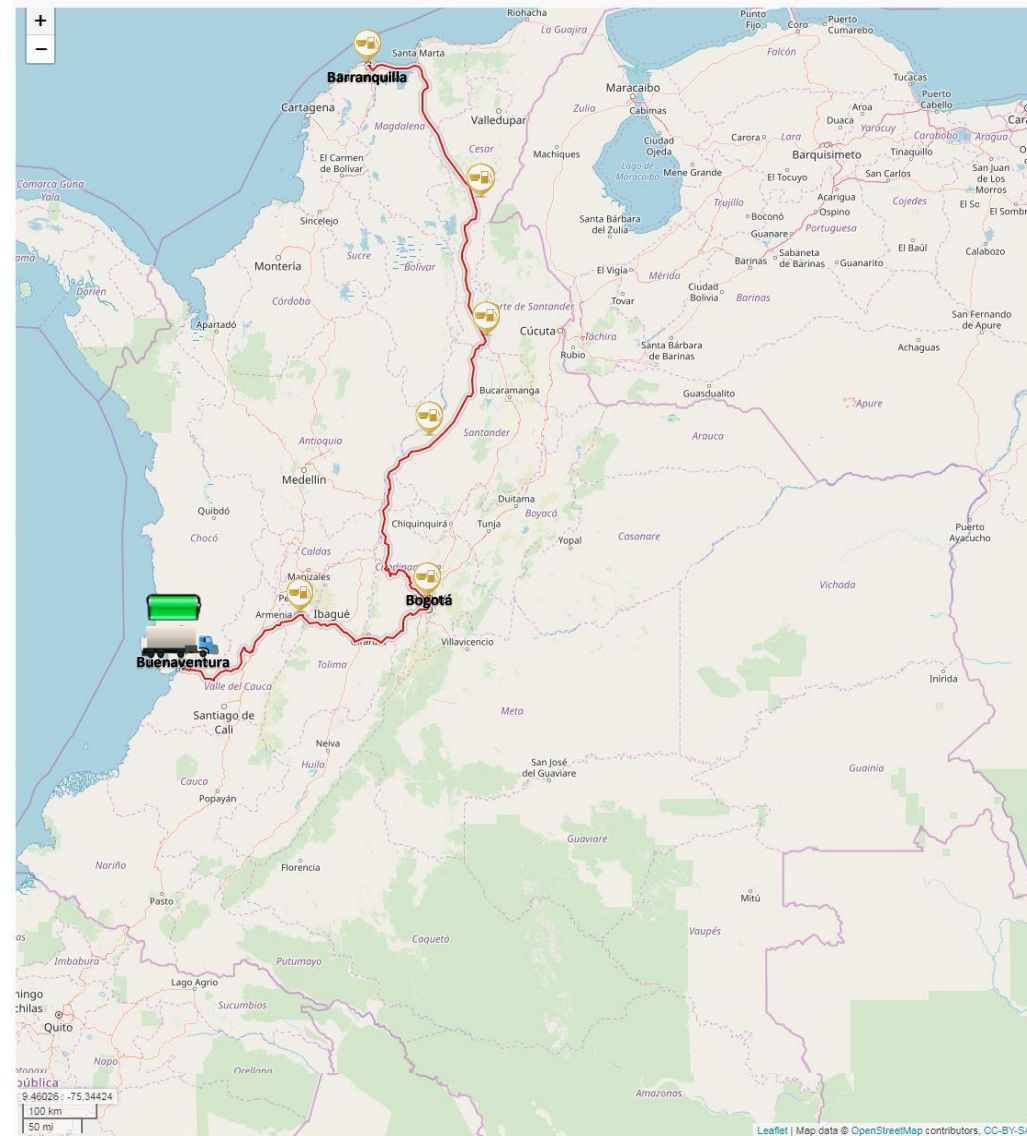
Corredor vial



Estación de servicio instalada



Camión de carga



## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Estación de servicio



Estación satélite de almacenamiento



Termoeléctrica



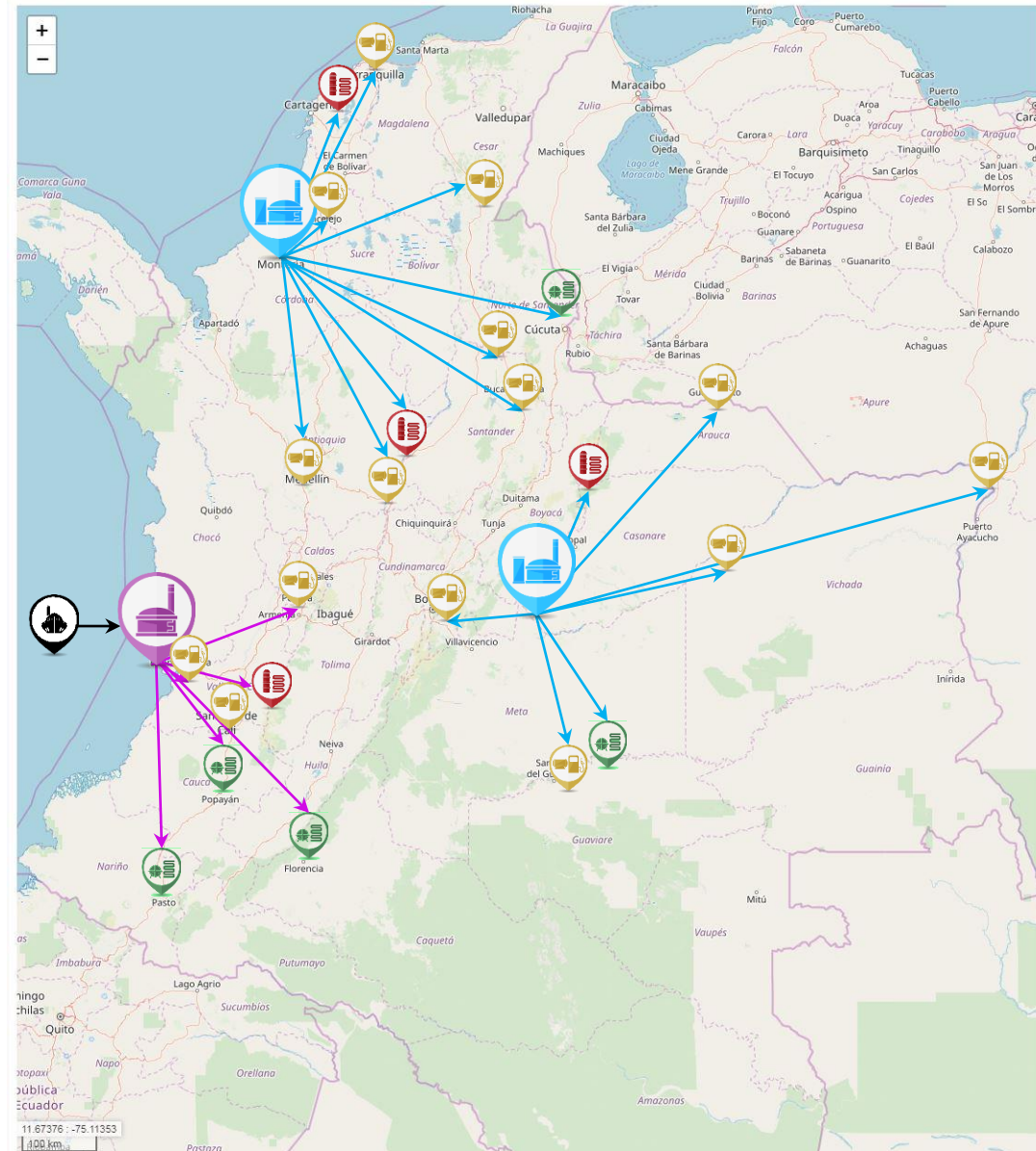
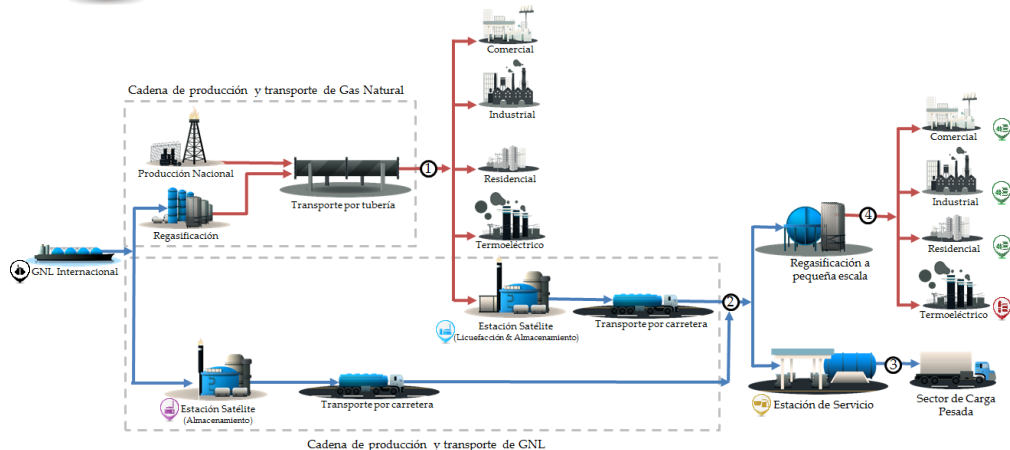
Puerto de importación de GNL



Otras demandas de GNL



Estación satélite de licuefacción y almacenamiento



## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización



Estación de servicio



Estación satélite de almacenamiento



Termoeléctrica



Puerto de importación de GNL



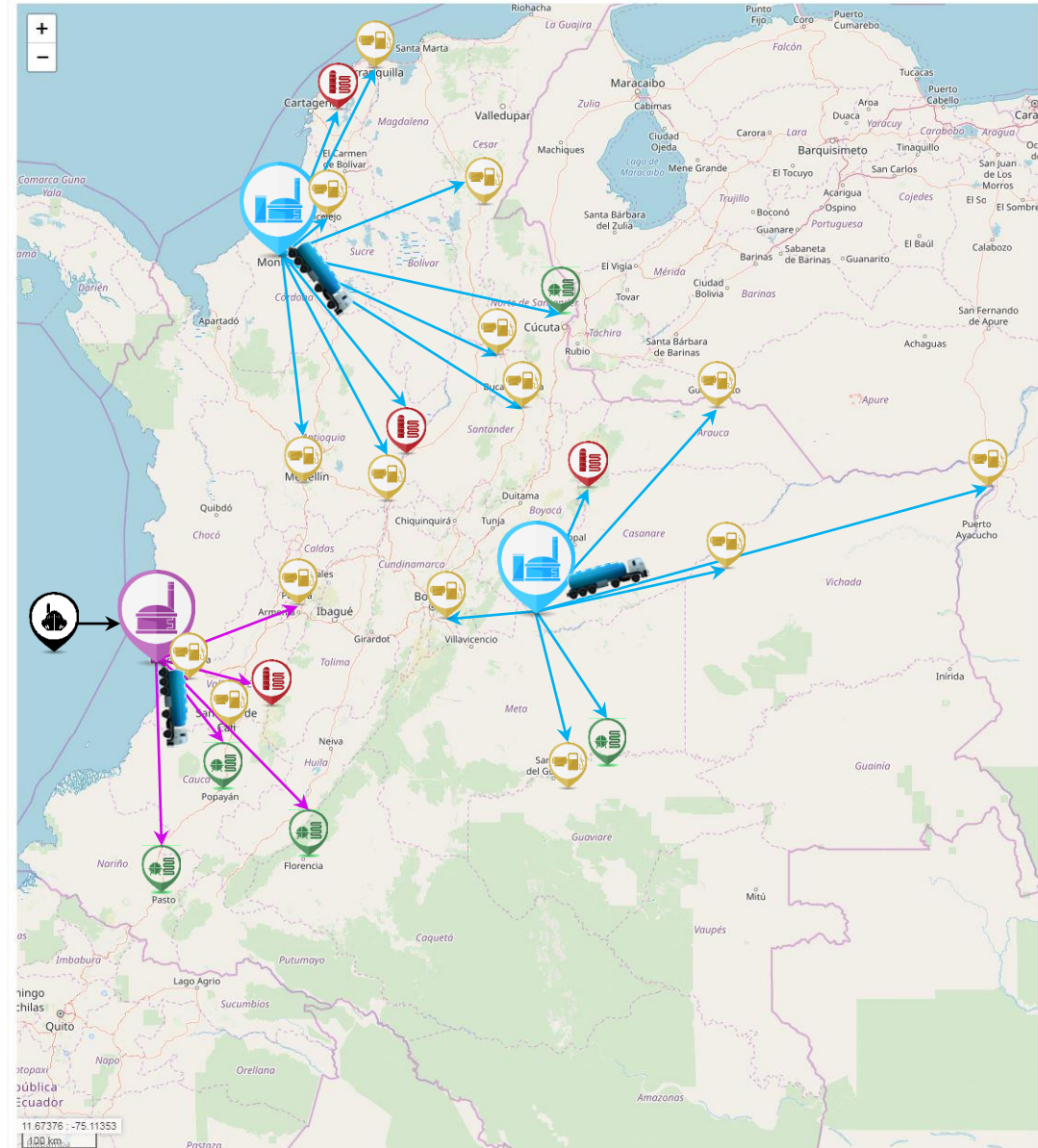
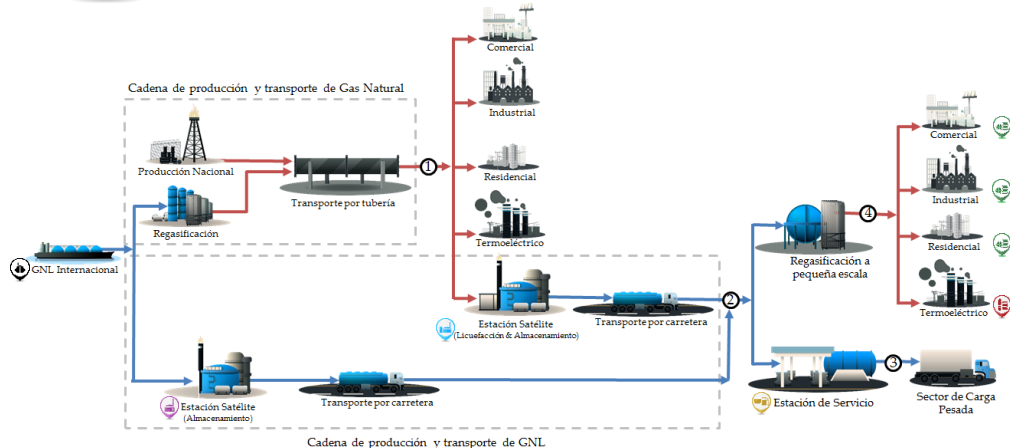
Otras demandas de GNL




Carro cisterna



Estación satélite de licuefacción y almacenamiento



## 2. Conceptualización herramienta de modelado y optimización

 Tramo de la red de gas



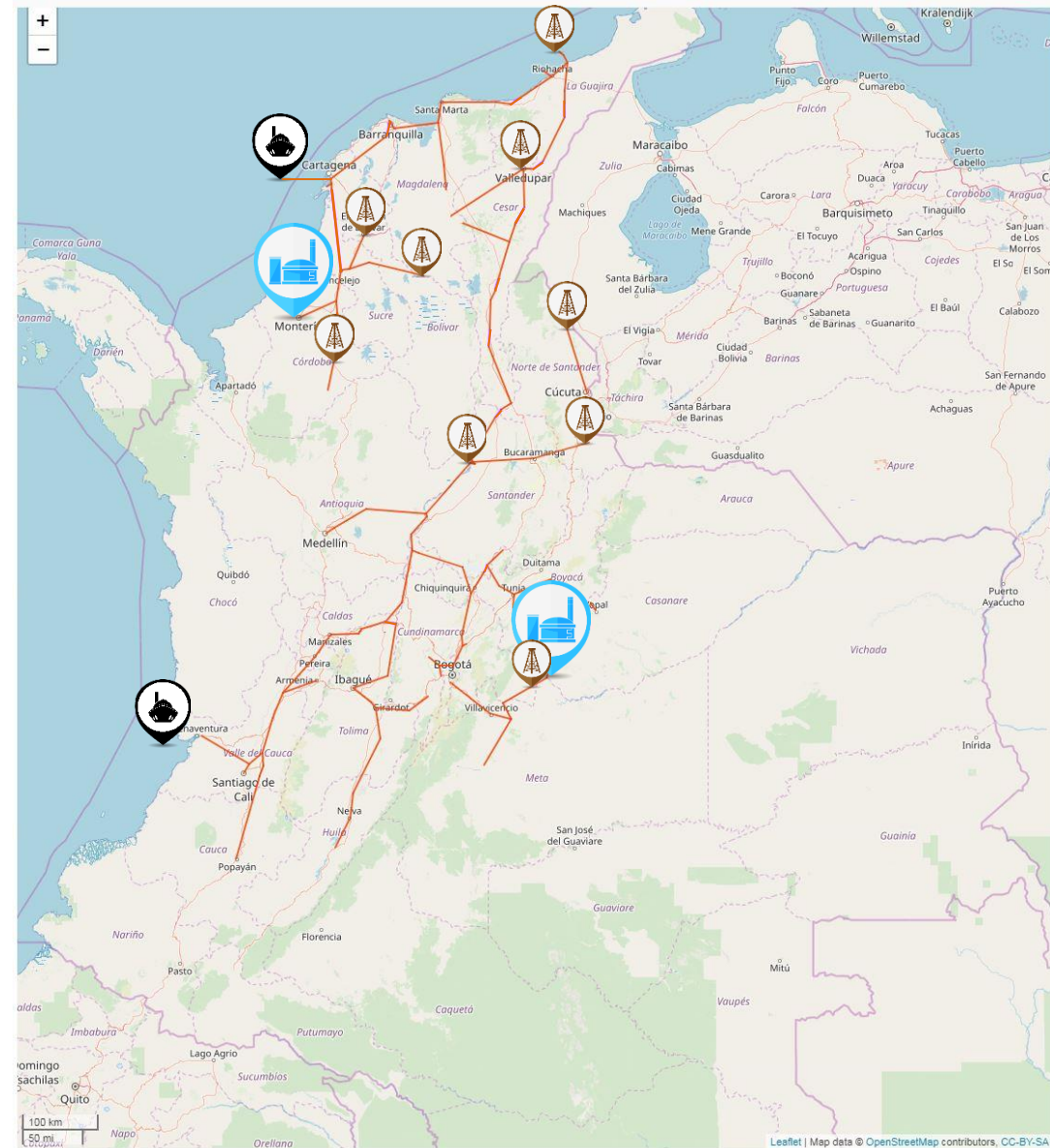
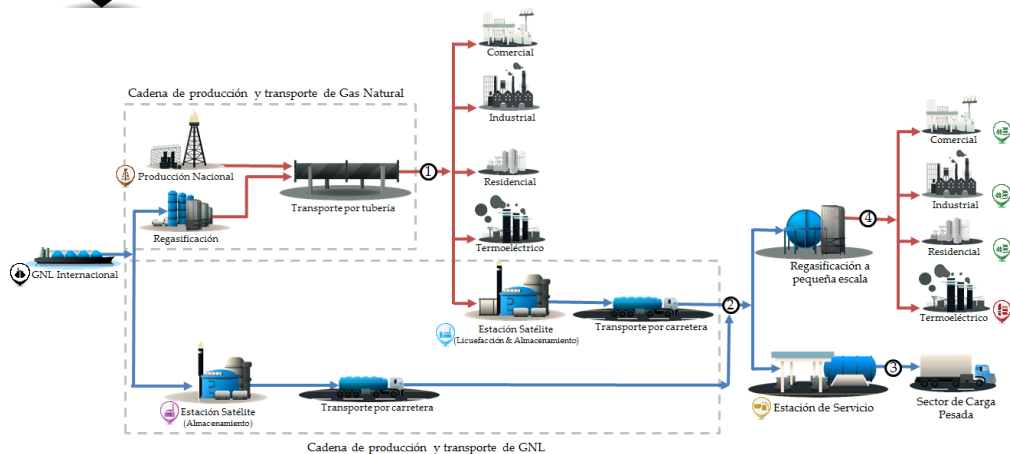
Pozos de gas natural



Estación satélite con licuefacción



Puerto de importación de GNL



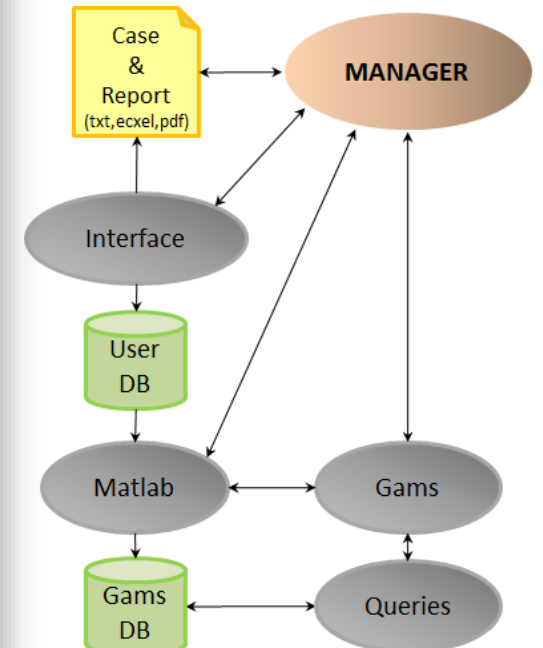
## Contenido parte 2

1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala
2. Conceptualización de la herramienta de modelado y optimización
- 3. Interfaz de usuario**
4. Valores de referencia para la penetración de GNL a pequeña escala en Colombia
5. Comentarios finales

# 3. Interfaz de usuario



## Arquitectura

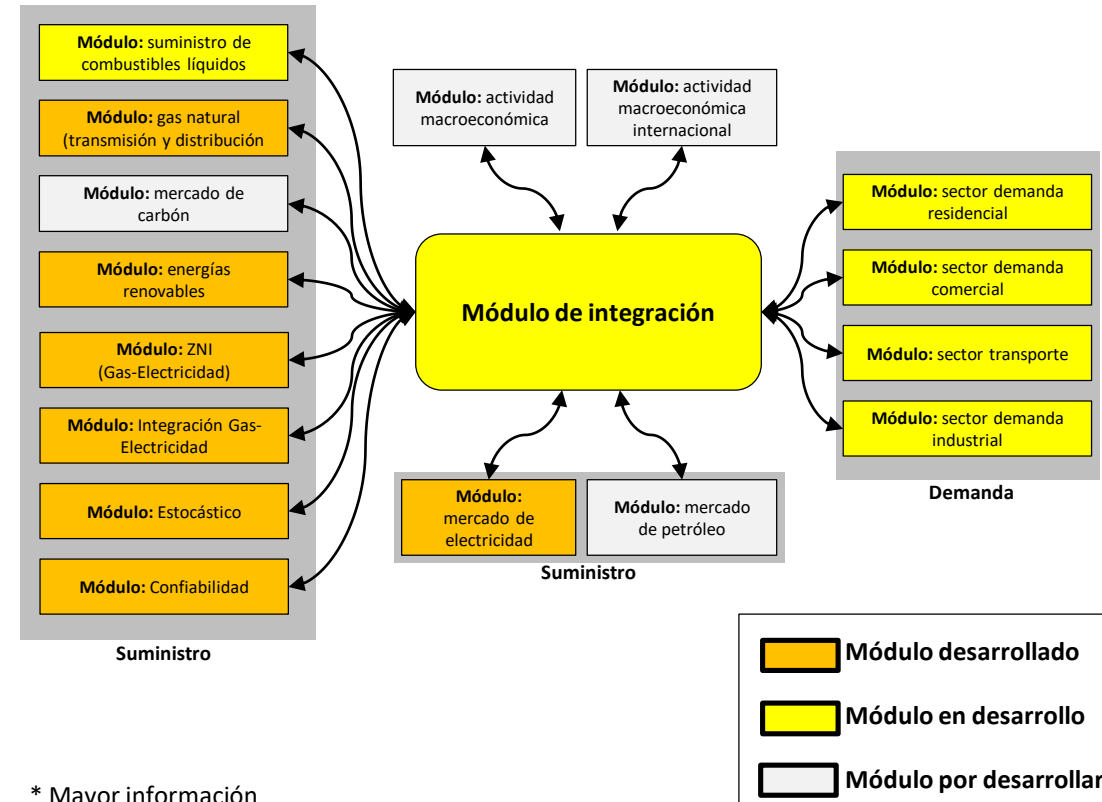
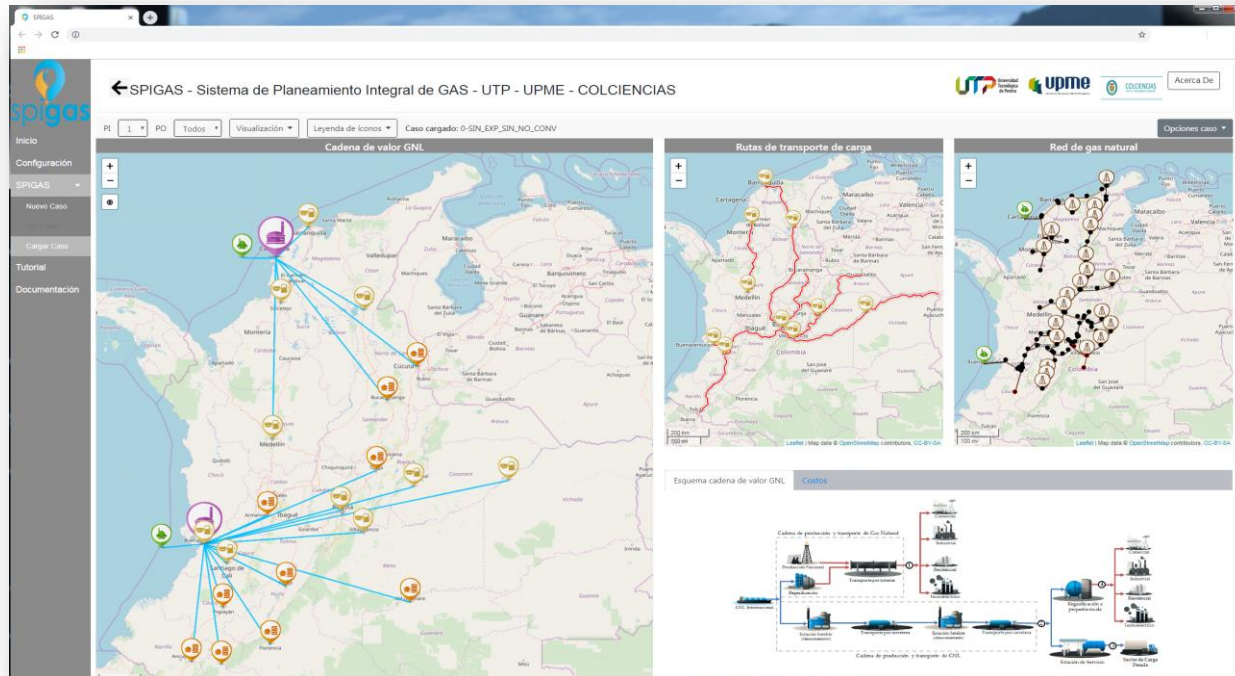


# 3. Interfaz de usuario

El software y la interfaz desarrollada permiten la adición de futuros módulos.



Módulos desarrollados y en desarrollo por el grupo de investigación **DINOP\*** de la **Universidad Tecnológica de Pereira** diferentes análisis académicos y/o consultorías.



\* Mayor información  
 Harold Salazar Isaza (hsi@utp.edu.co)  
 Carlos A. Saldarriaga C. (casaldarriaga@utp.edu.co)

## Contenido parte 2

1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala
2. Conceptualización de la herramienta de modelado y optimización
3. Interfaz de usuario
4. **Valores de referencia para la penetración de GNL a pequeña escala en Colombia**
5. Comentarios finales

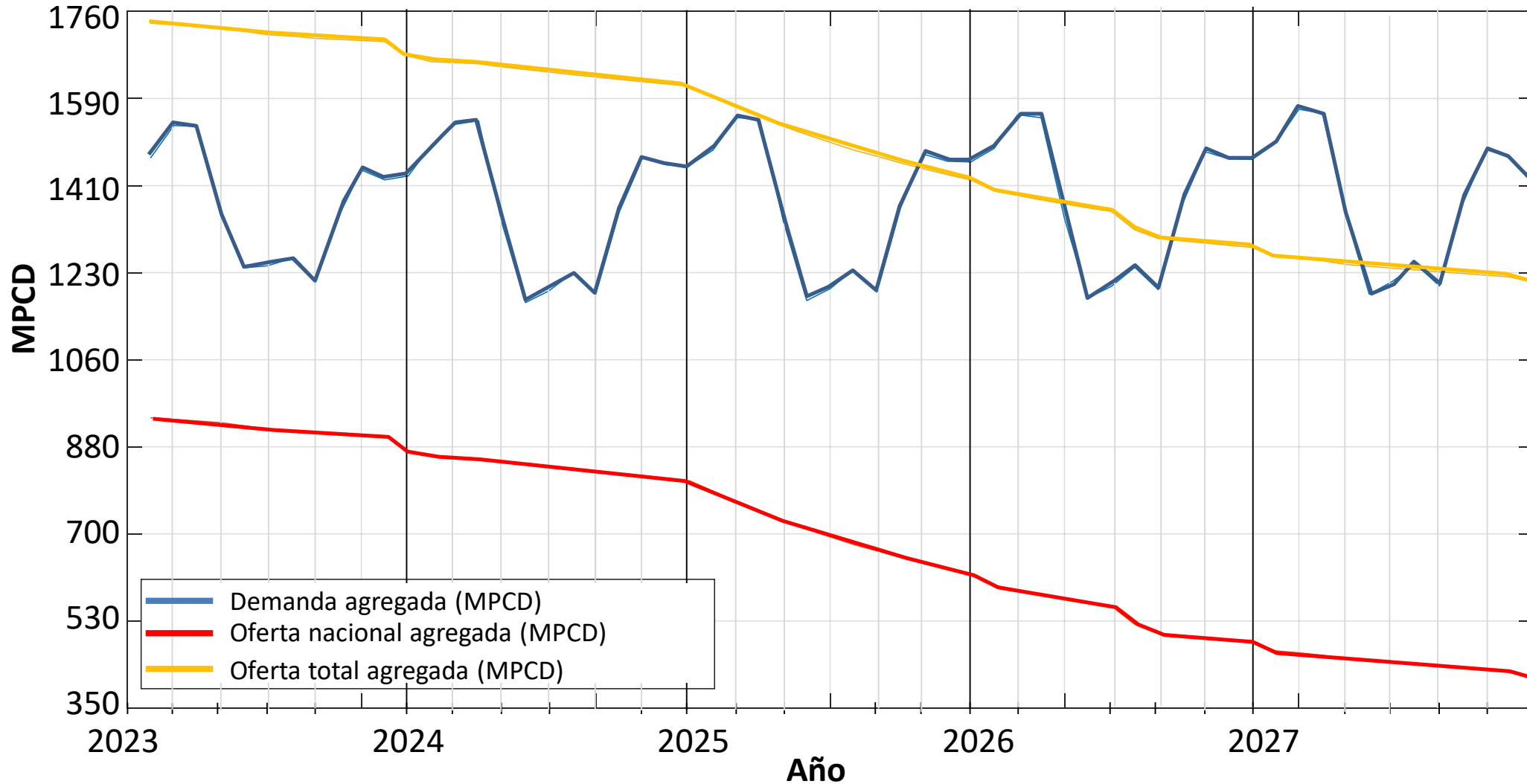
## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

### Principales supuestos

1. Valores de oferta de gas natural e infraestructura de transporte indicada por la UPME en sus planes de expansión.
2. Un horizonte de planeación de 10 años, dividido en dos periodos de planeación de 5 años.
3. Se considera el sector de transporte y GLP (en algunos municipios no atendidos) como demandas de GNL.
4. No se consideran costos de comercialización ni distribución de GNL, solo CAPEX y OPEX de la infraestructura asociada al GNL.

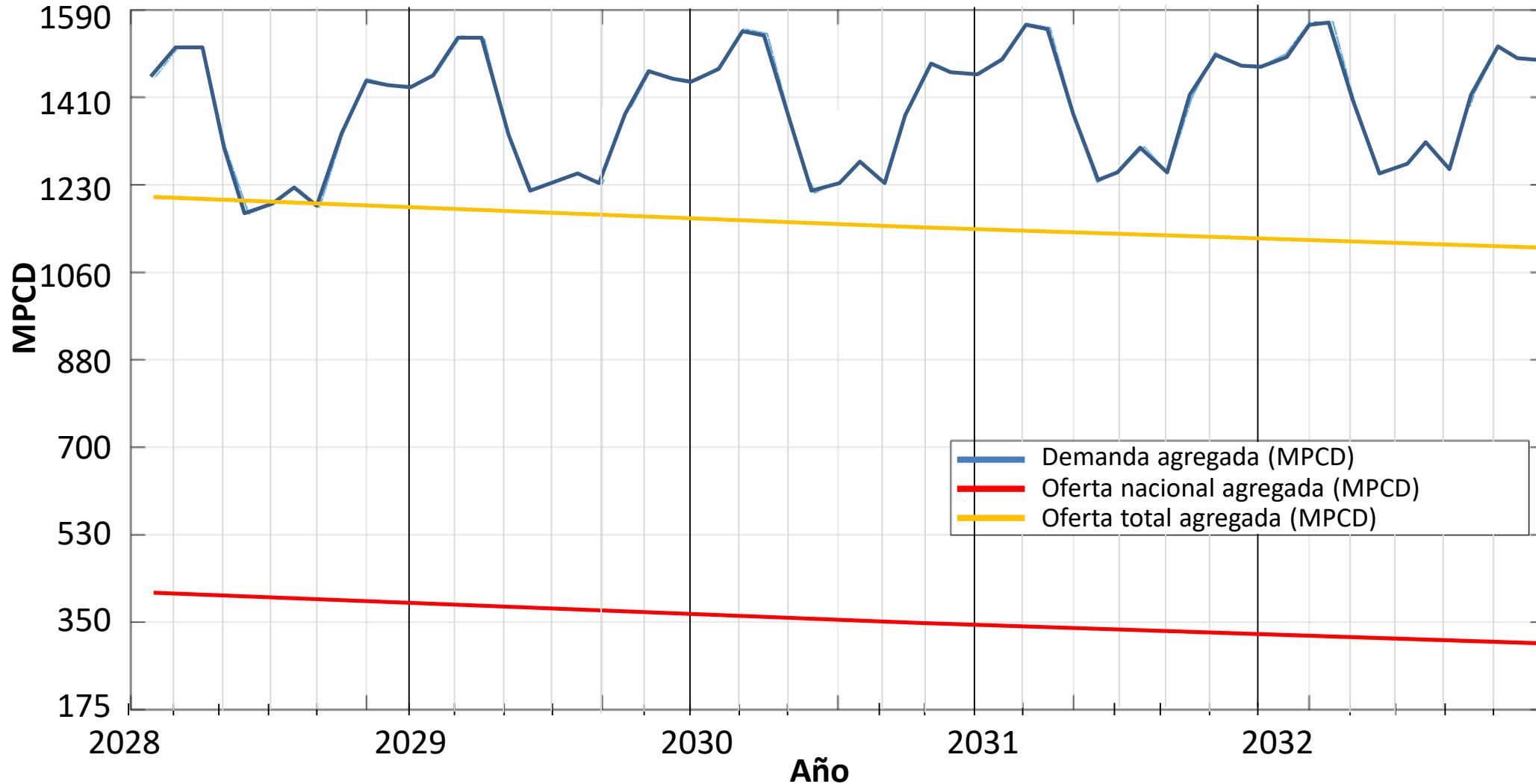
## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

Proyecciones UPME del 2023 al 2027



## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

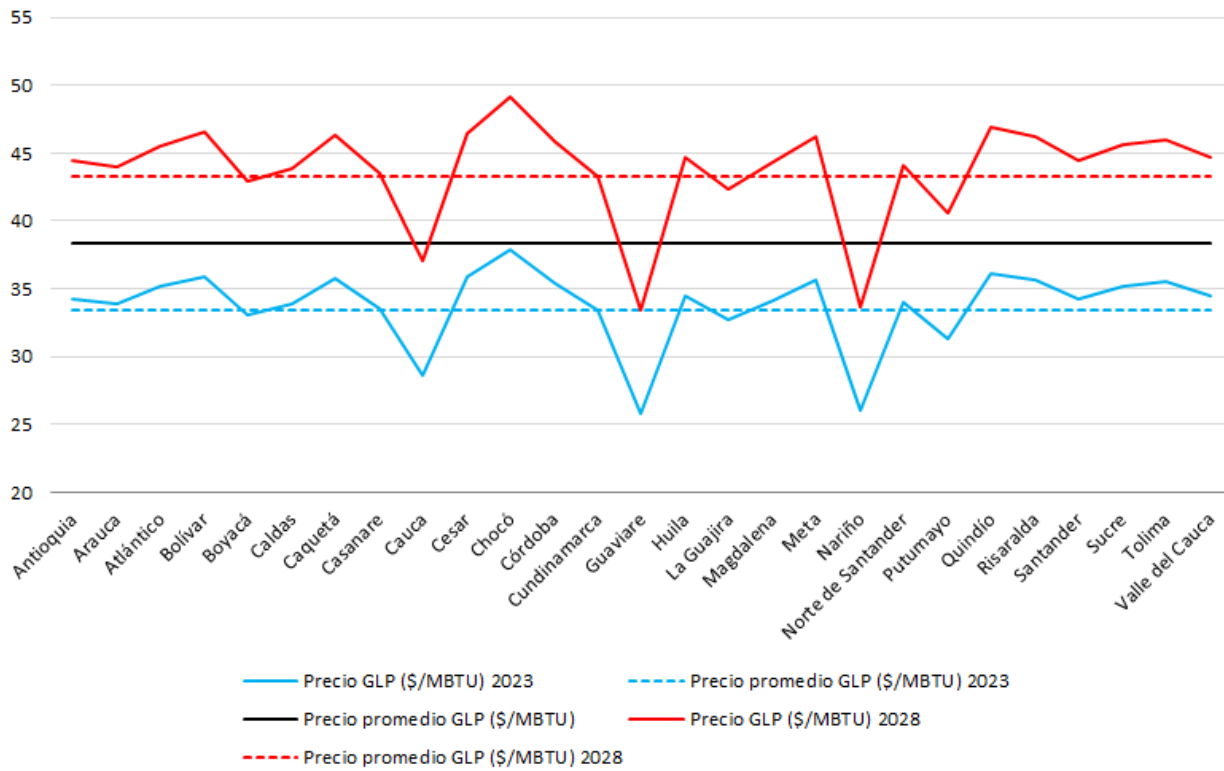
Proyecciones UPME del 2028 al 2032



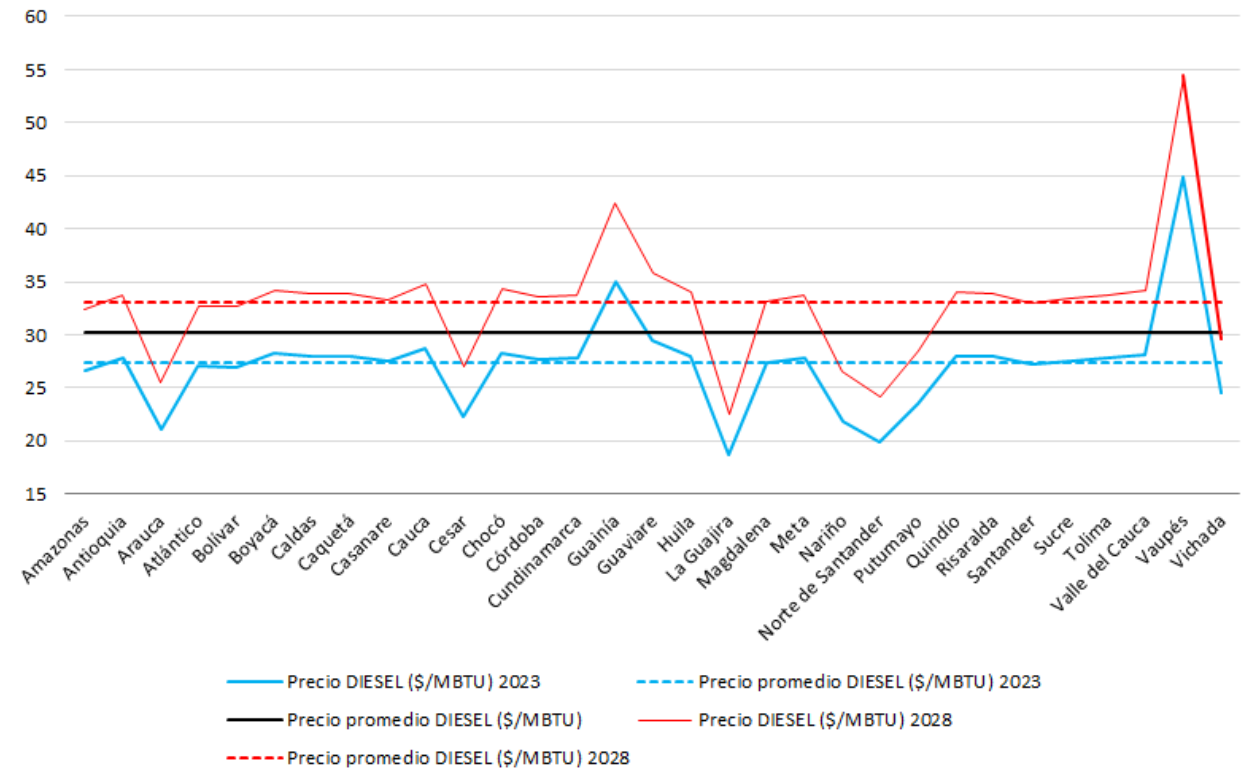
# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Proyecciones UPME del 2023 al 2032

GLP (USD /MBTU)

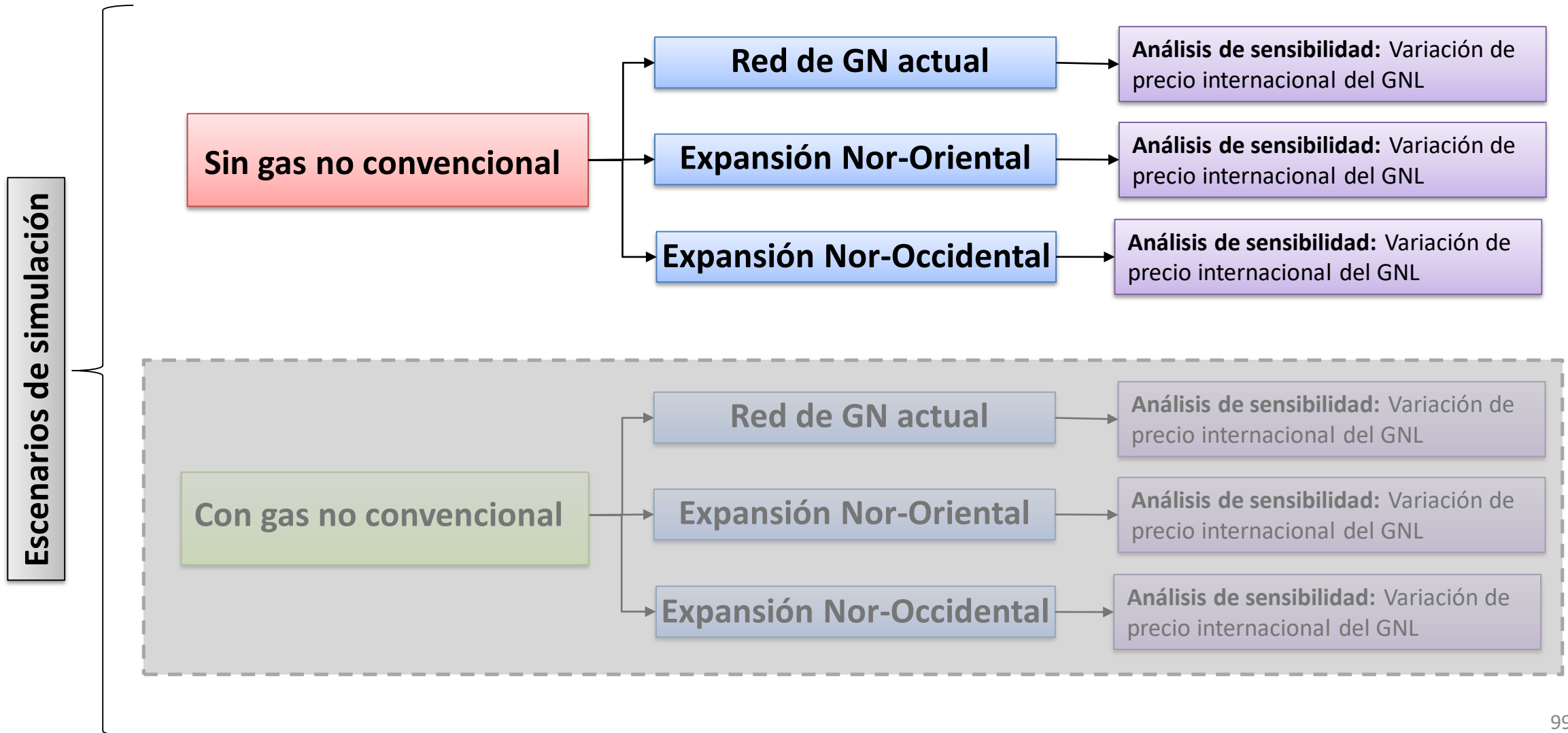


DIESEL (USD/MBTU)



## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

Peor escenario: Proyección con fenómeno del Niño



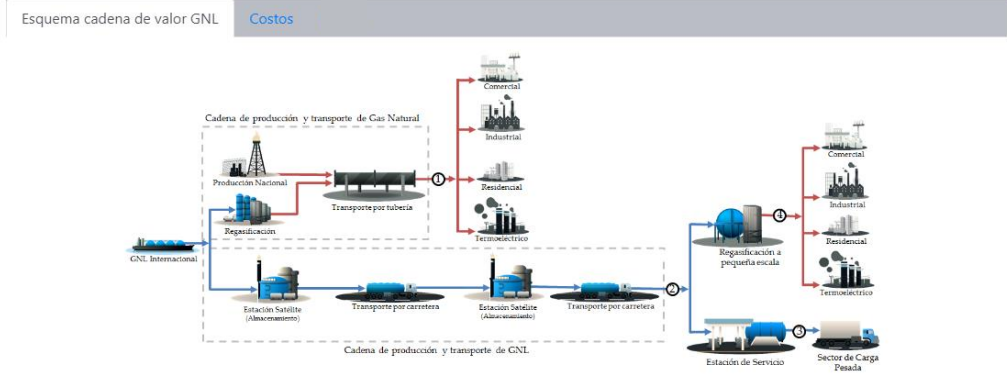
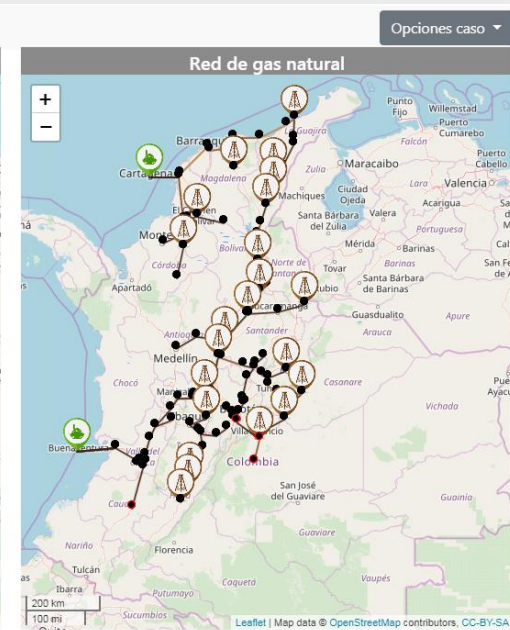
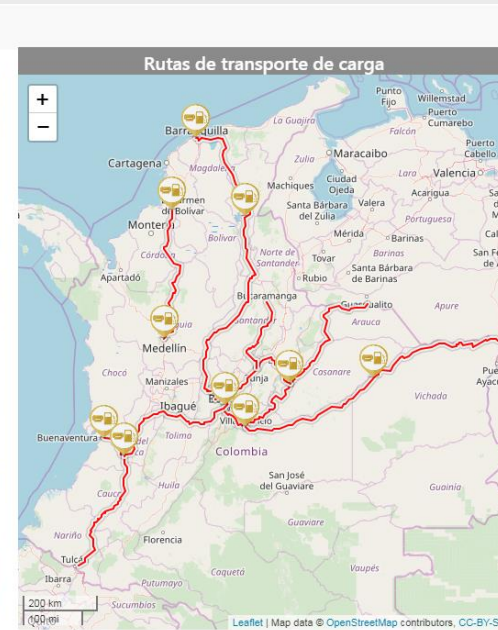
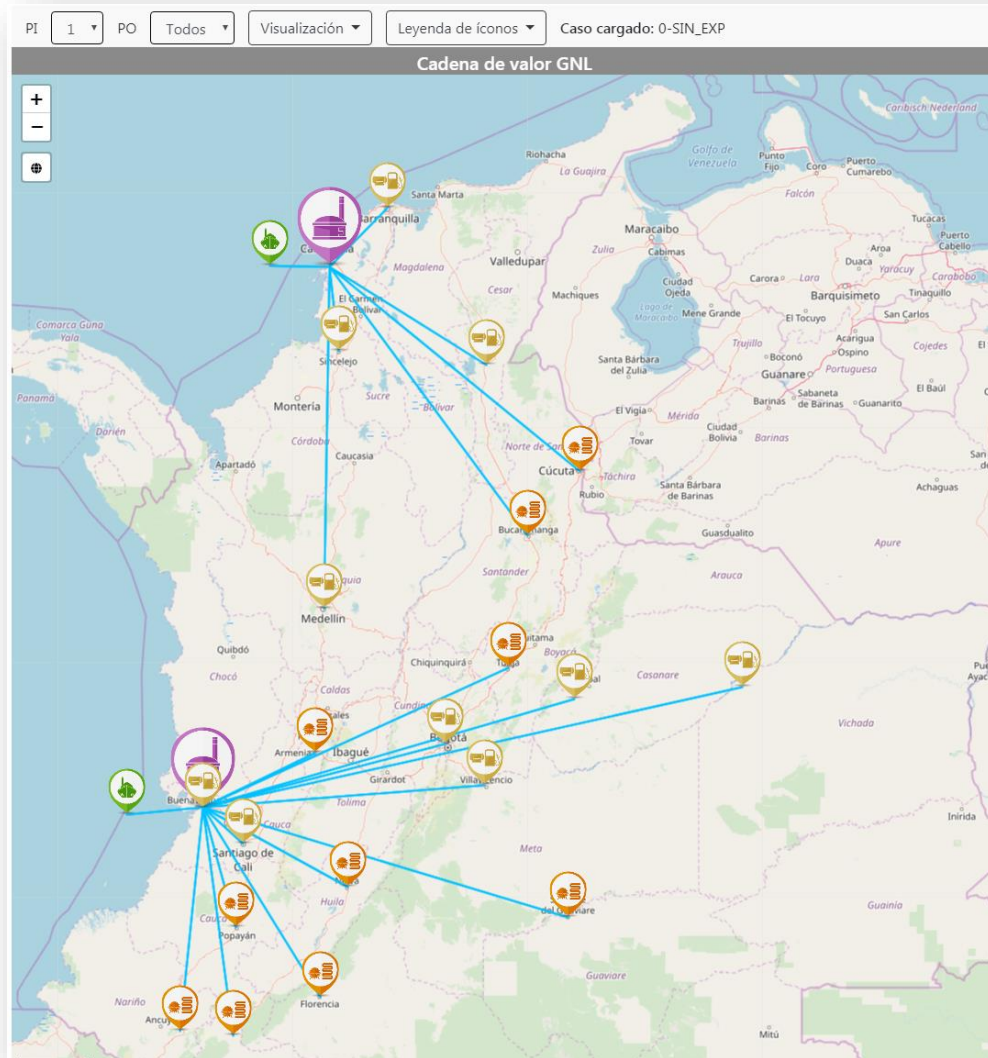
## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

### Escenario 1

- **Proyecciones de oferta nacional de gas natural ante fenómeno del niño**
- **Red de transporte de gas natural actual sin expansiones**
- **Precio internacional del GNL proyectado con valores UPME**

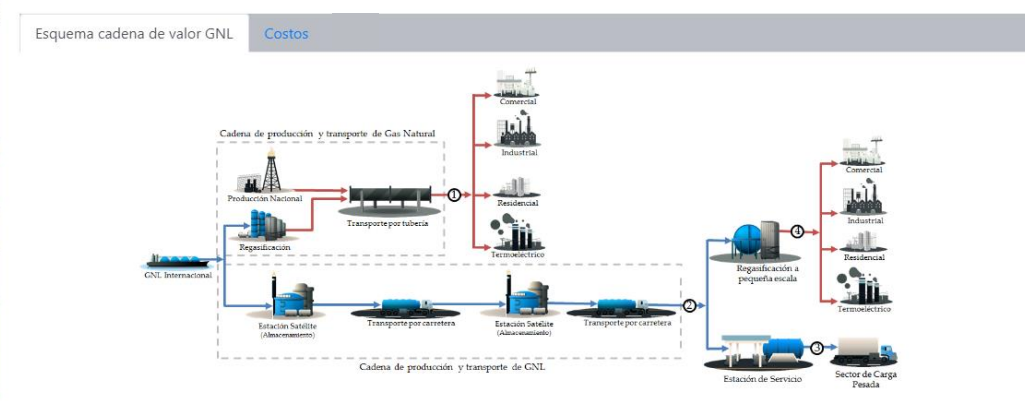
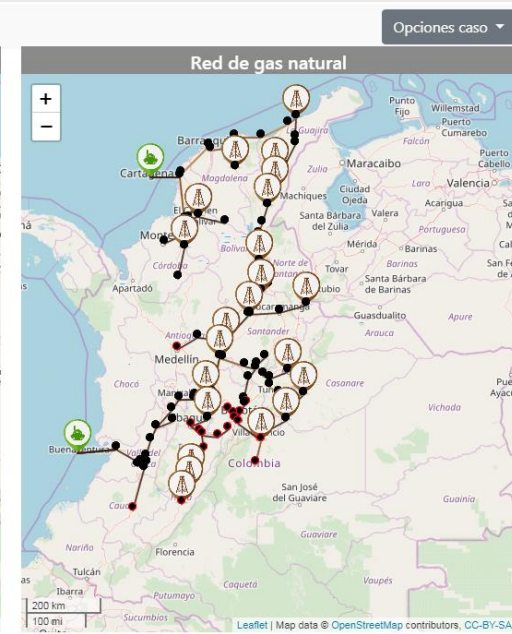
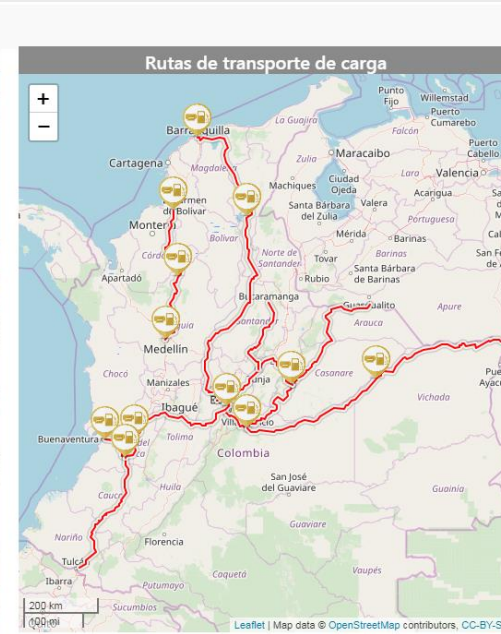
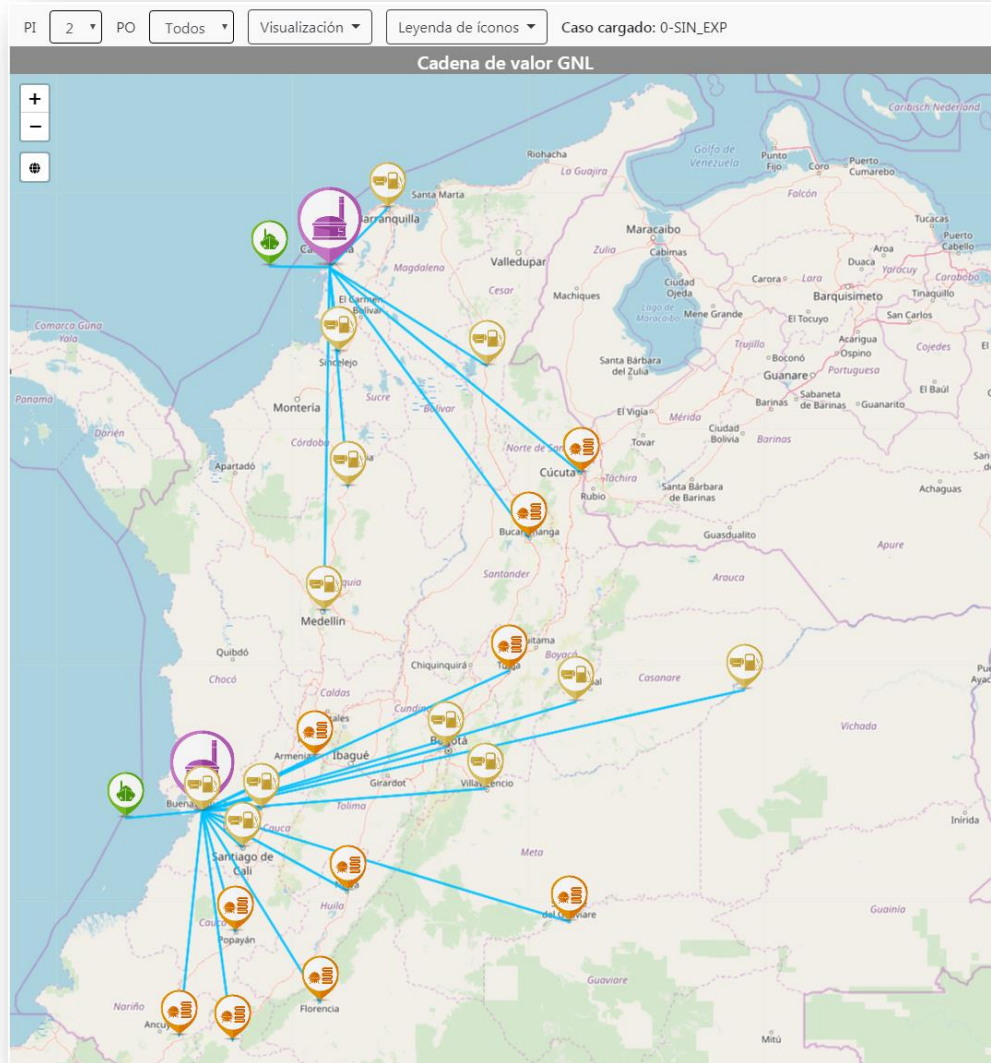
# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Escenario 1: Periodo de planeación 2023 - 2027



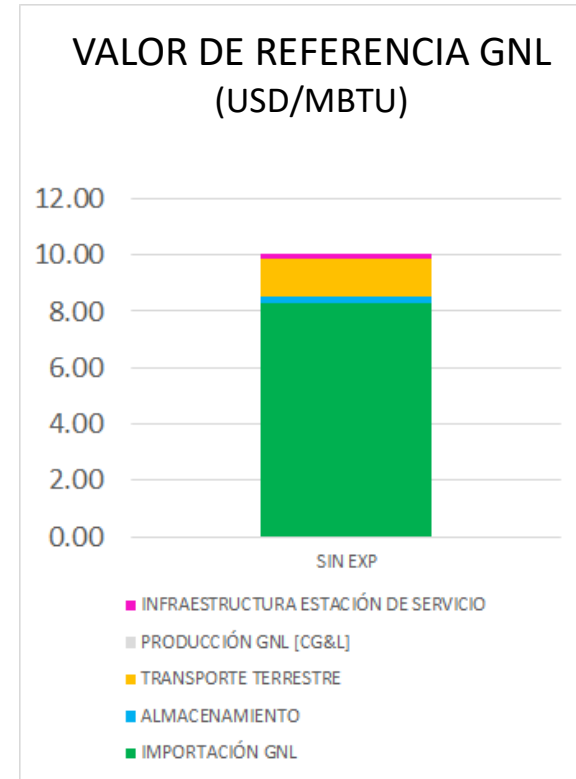
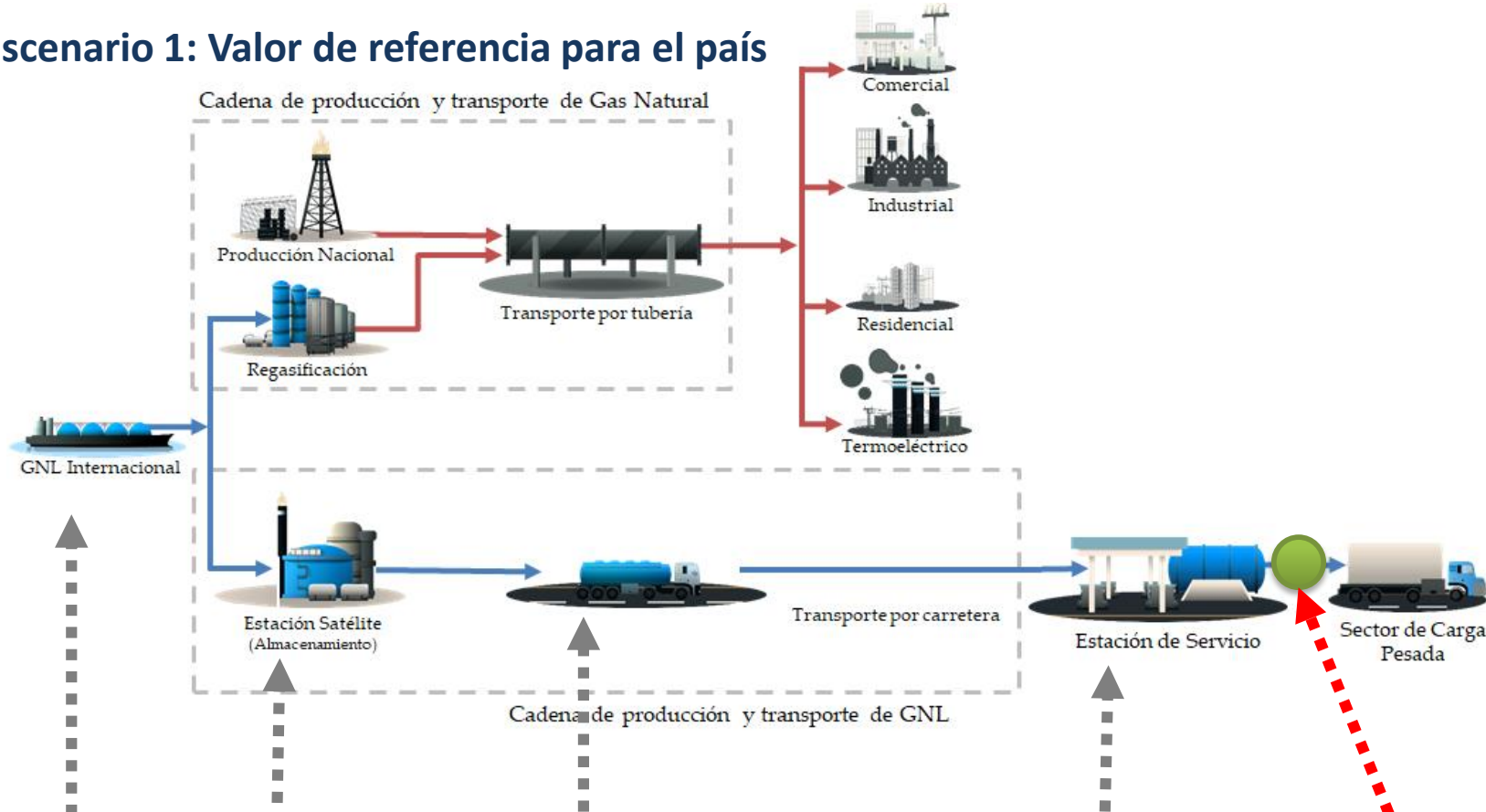
# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Escenario 1: Periodo de planeación 2028 - 2032



# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Escenario 1: Valor de referencia para el país



Importación GNL (USD/MBTU)	Almacenamiento (USD/MBTU)	Transporte terrestre (USD/MBTU)	Producción nacional GNL (USD/MBTU)	Infraestructura estación de servicio (USD/MBTU)	VALOR DE REFERENCIA GNL (USD/MBTU)
8.32	0.21	1.35	0.00	0.19	10.06

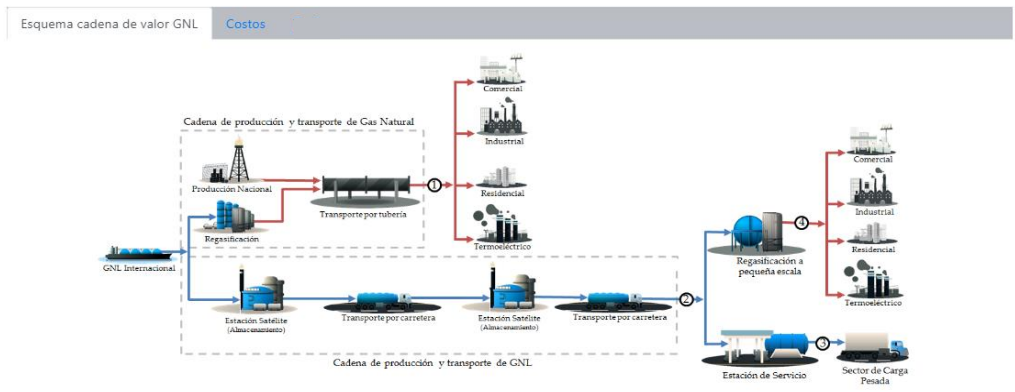
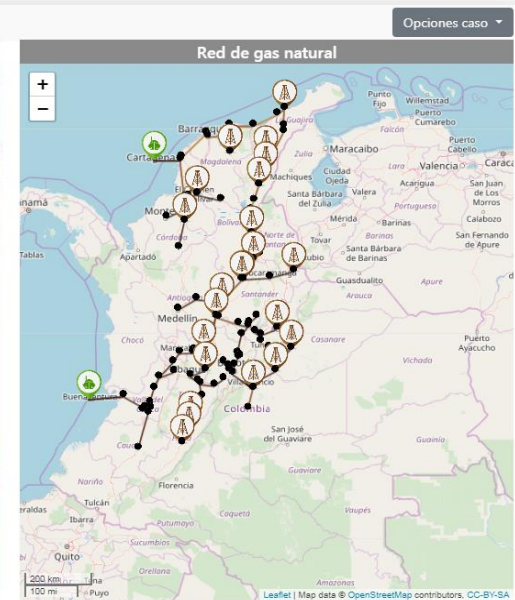
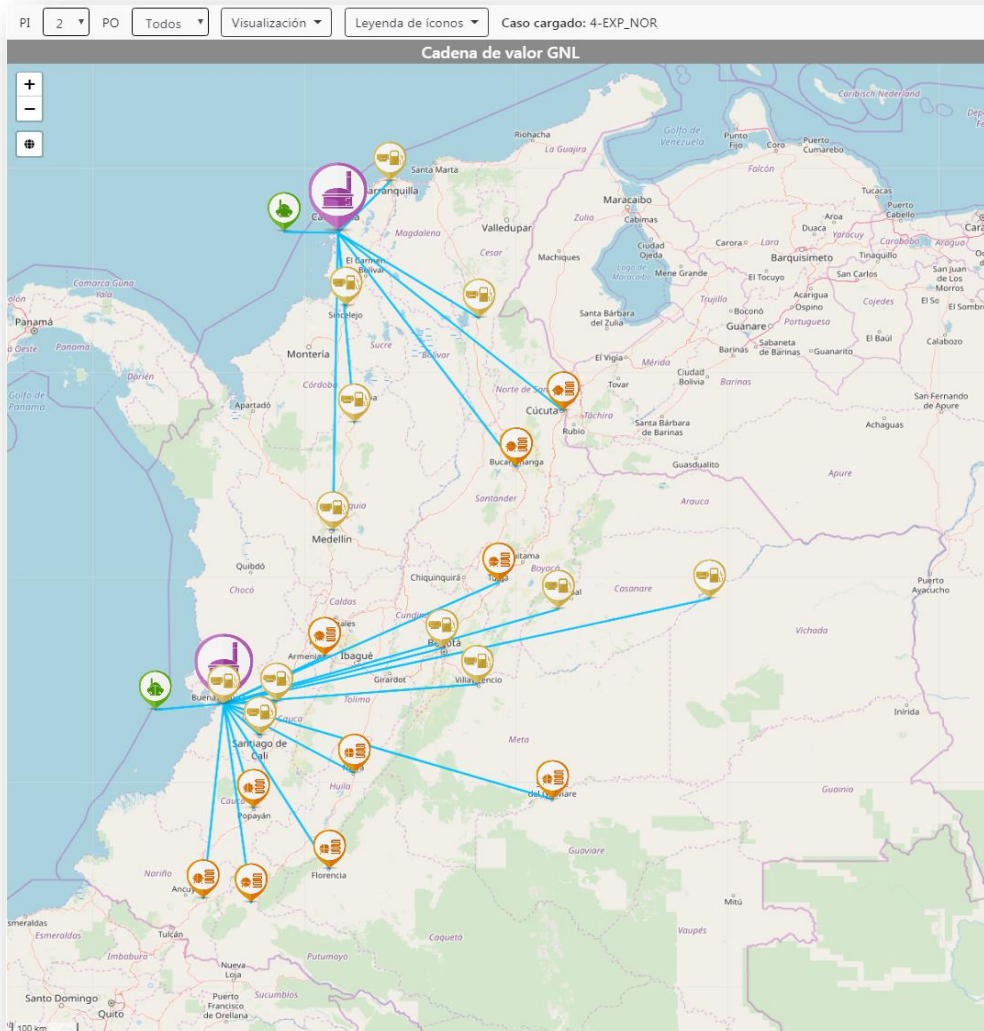
## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

### Escenario 2

- **Proyecciones de oferta nacional de gas natural ante fenómeno del niño**
- **Red de transporte de gas natural con *expansión nor-oriental***
- **Precio internacional del GNL proyectado con valores UPME**

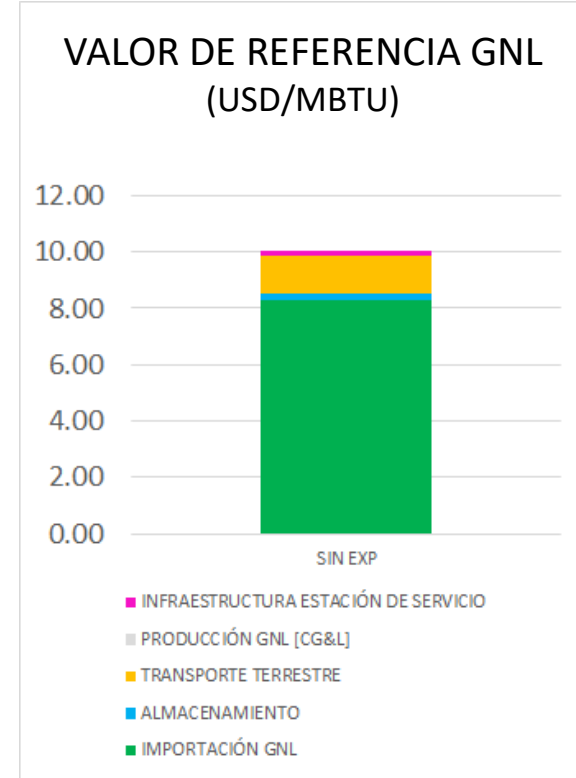
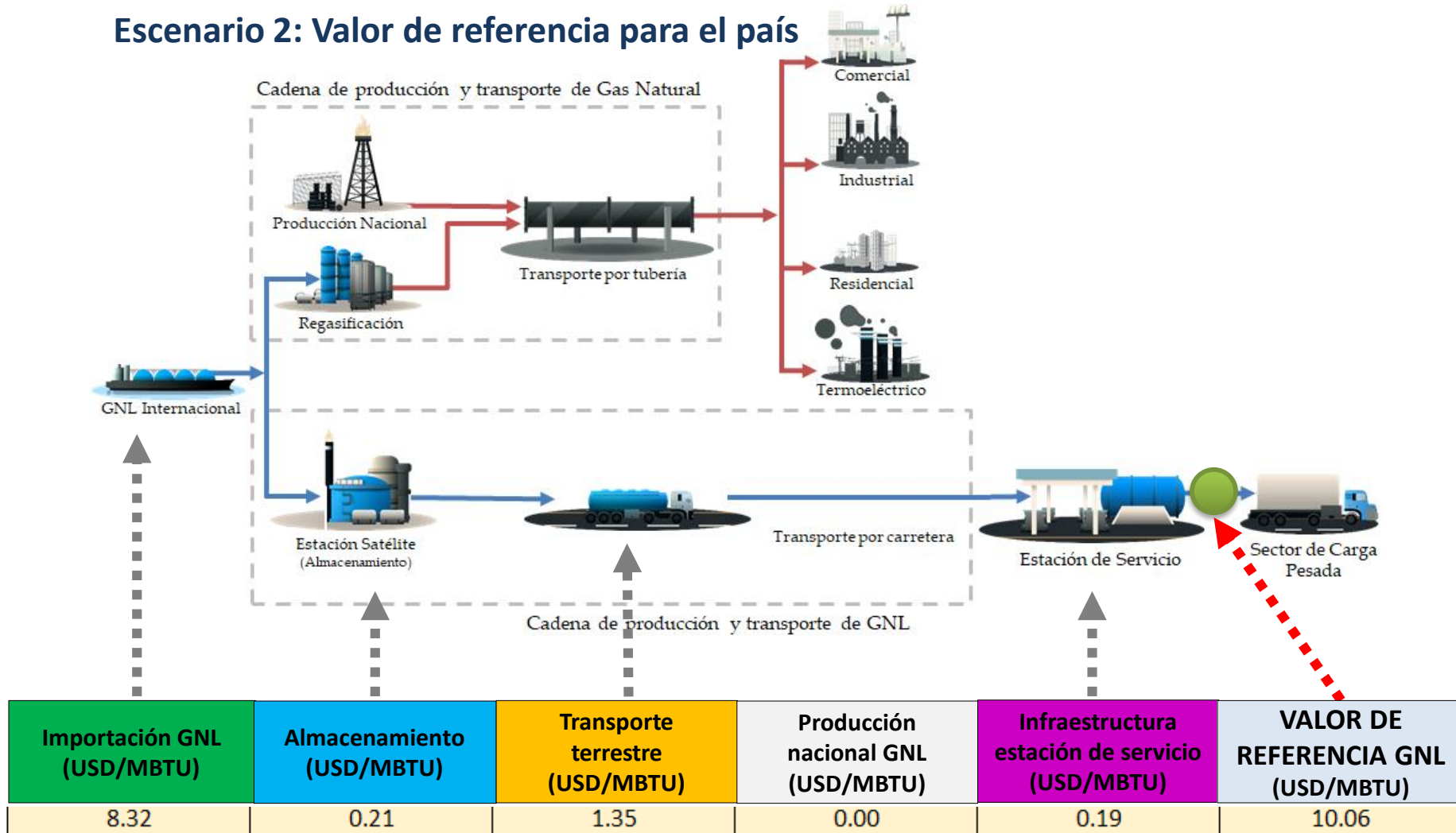
# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Escenario 2: Periodo de planeación 2028 - 2032



# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Escenario 2: Valor de referencia para el país



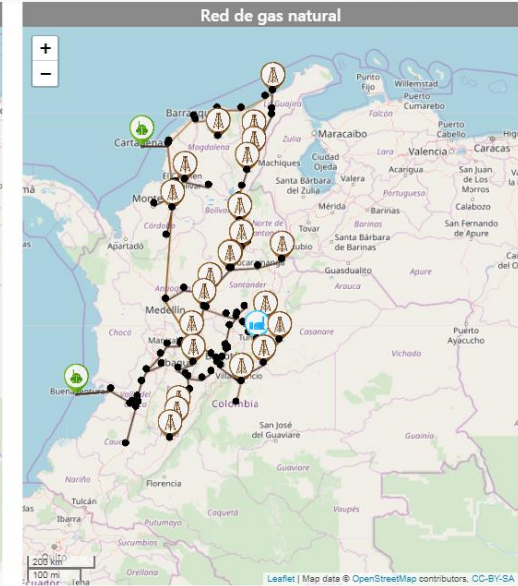
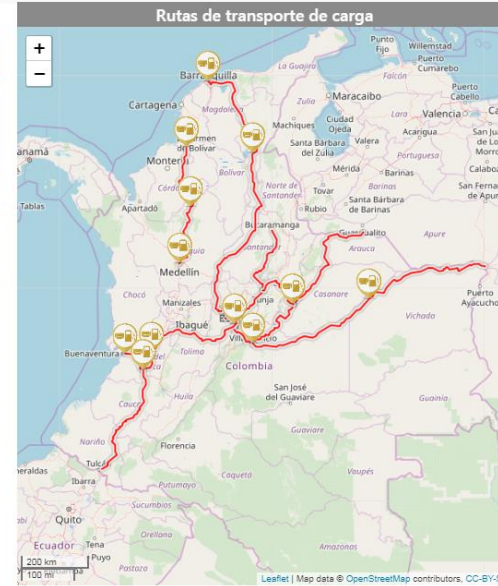
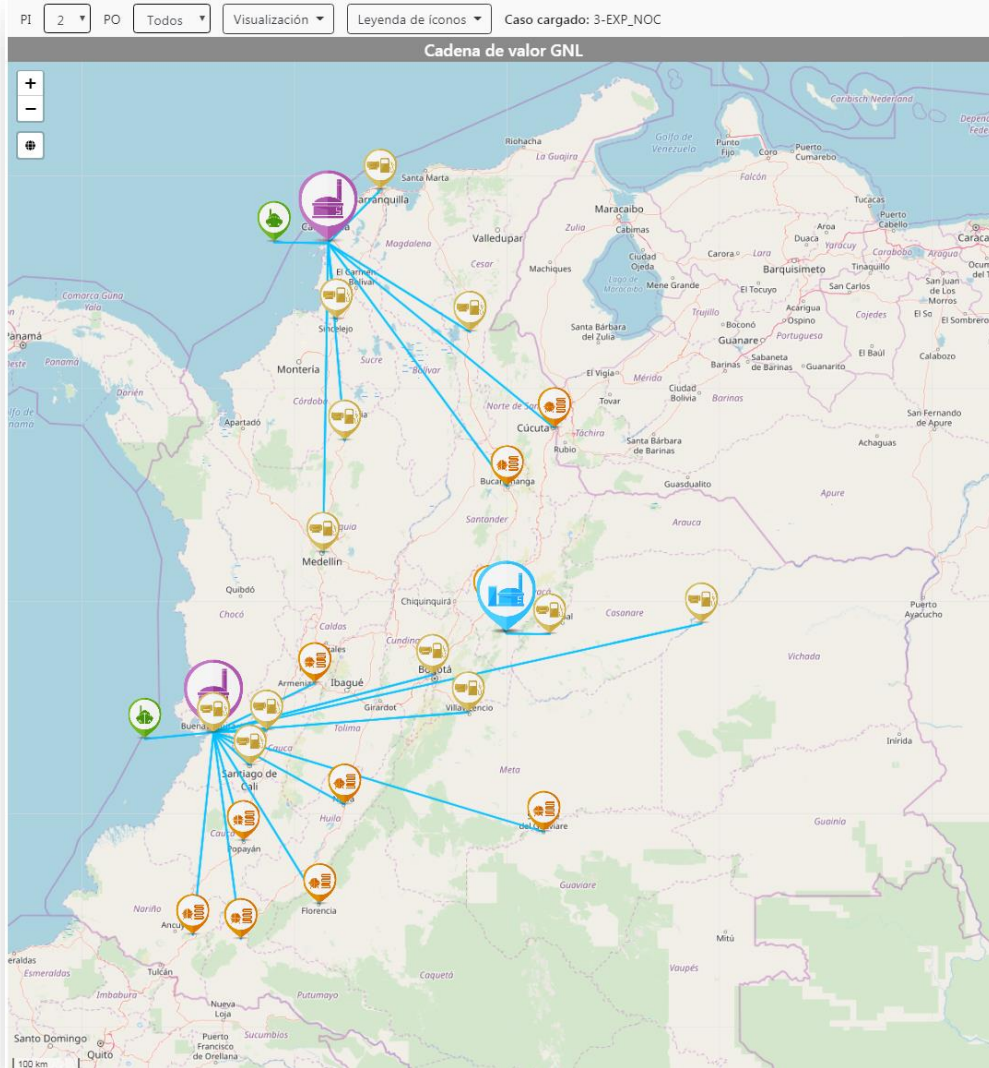
## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

### Escenario 3

- **Proyecciones de oferta nacional de gas natural ante fenómeno del niño**
- **Red de transporte con *expansión nor-occidental***
- **Precio internacional del GNL proyectado con valores UPME**

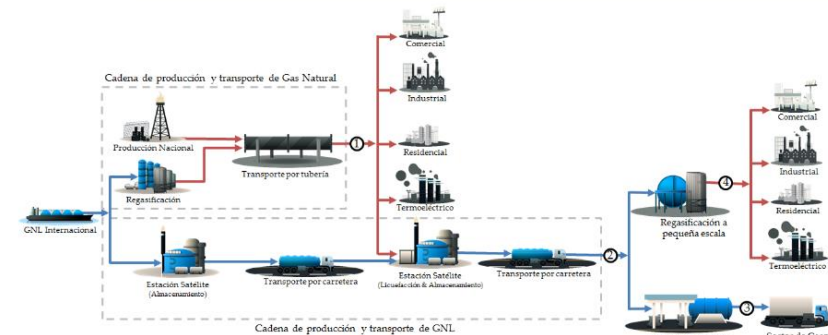
# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Escenario 3: Periodo de planeación 2028 - 2032



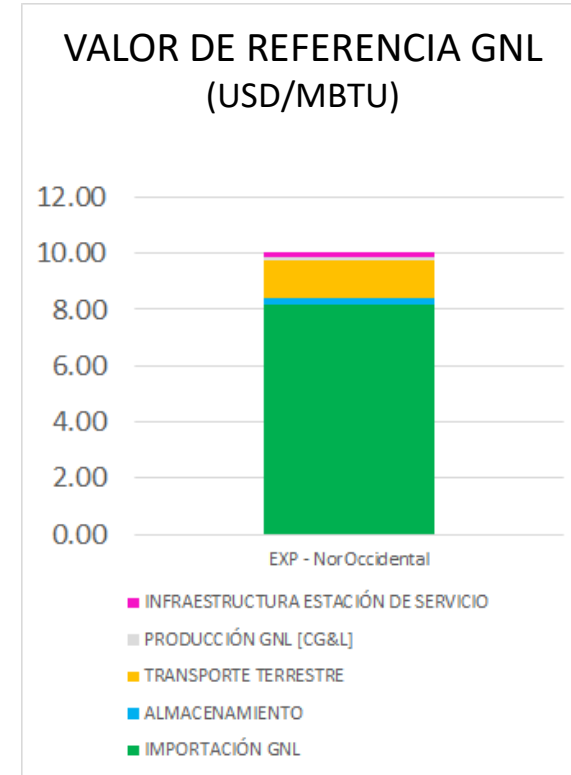
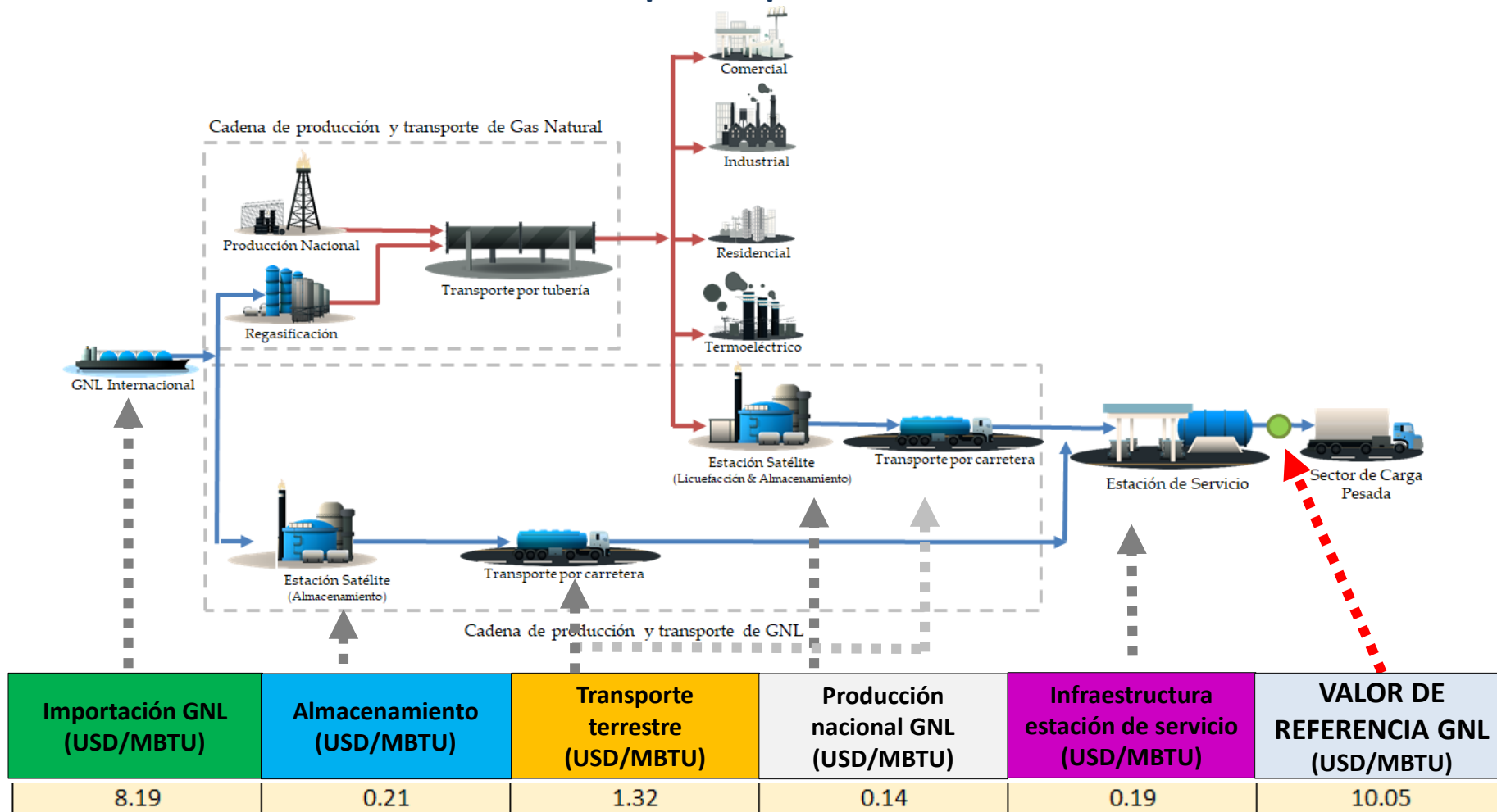
Esquema cadena de valor GNL

Costos



# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Escenario 3: Valor de referencia para el país



## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

### Análisis de sensibilidad

- **Cambio en el precio internacional del GNL**
  - ✓ **Disminución del 50% frente al valor actual**
  - ✓ **Aumento del 100% frente al valor actual**

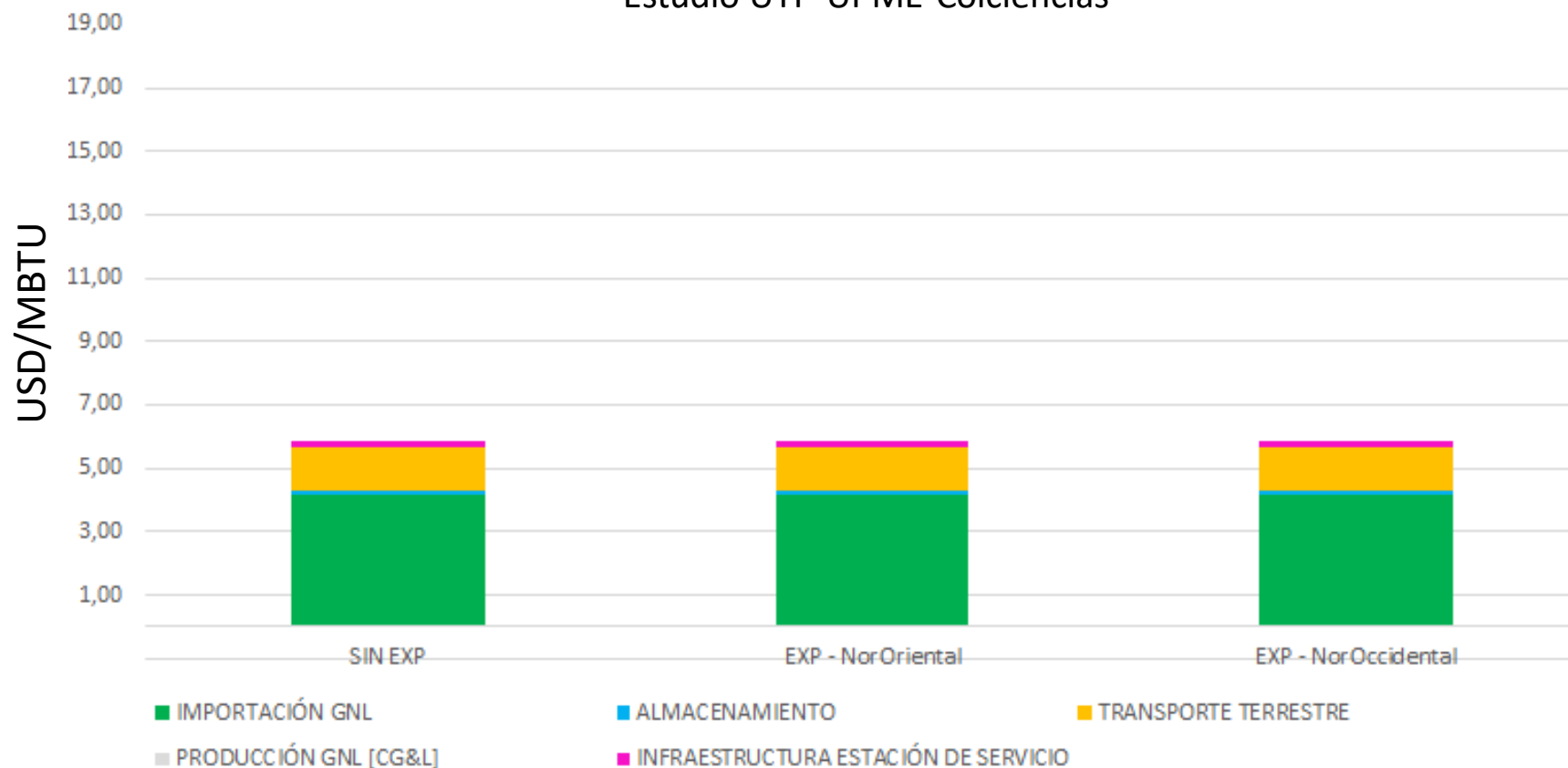
## 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

Análisis de sensibilidad: Cambio en los valores del precio del GNL

### VALORES DE REFERENCIA DE GNL EN ESTACIÓN DE SERVICIO (USD/MBTU)

Análisis de sensibilidad en reducción al 50% del valor actual del precio de GNL

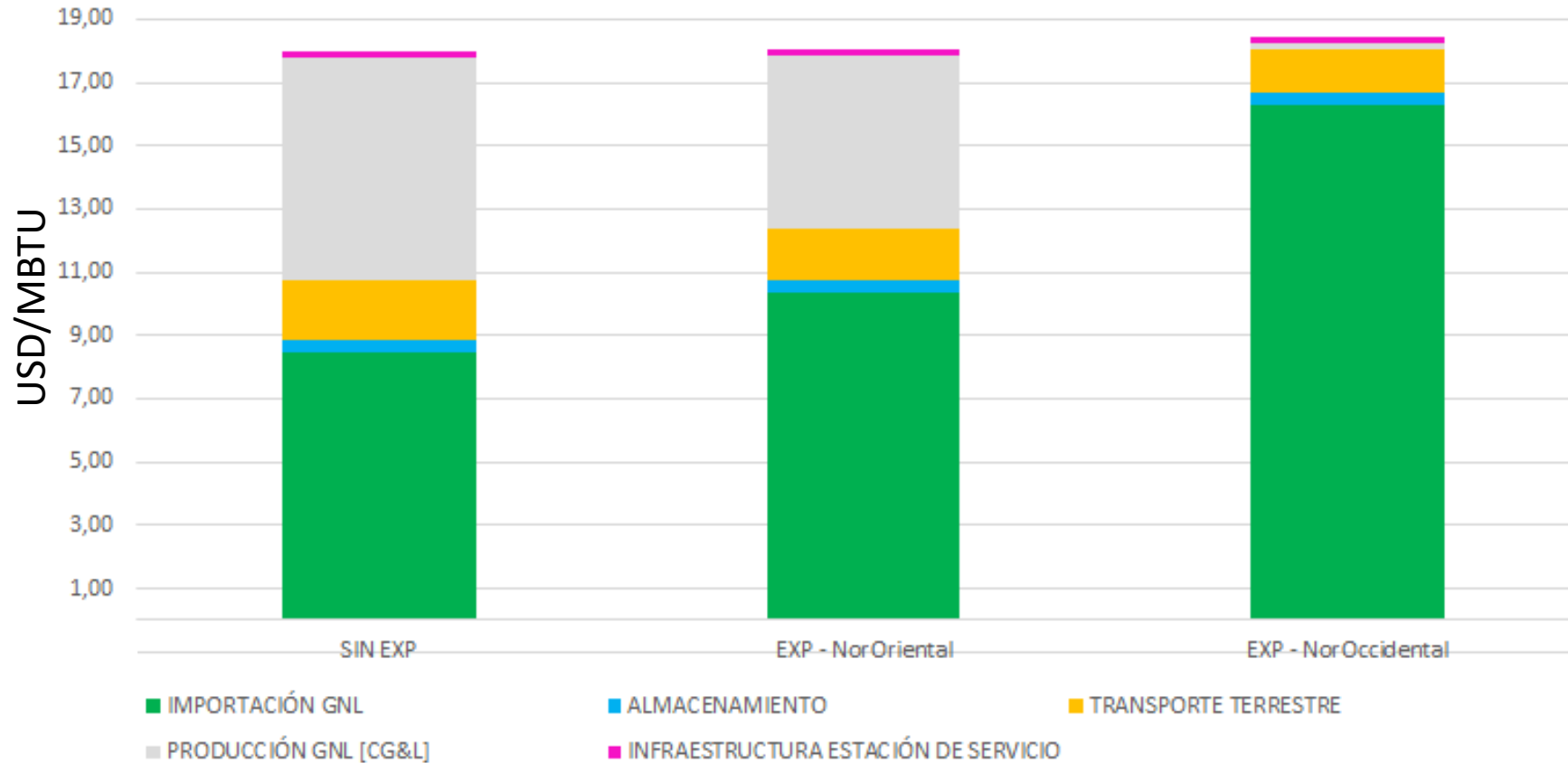
Estudio UTP-UPME-Colciencias



# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

Análisis de sensibilidad: Cambio en los valores del precio del GNL

**VALORES DE REFERENCIA DE GNL EN ESTACIÓN DE SERVICIO (USD/MBTU)**  
Análisis de sensibilidad para un aumento del 100% del valor actual del precio de GNL  
Estudio UTP-UPME-Colciencias



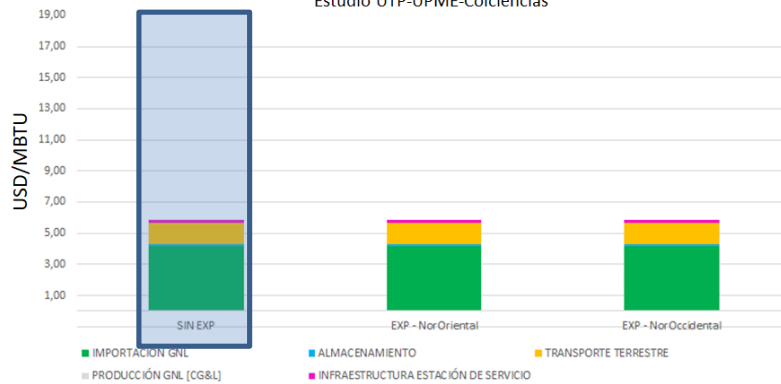
# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

## Análisis de sensibilidad

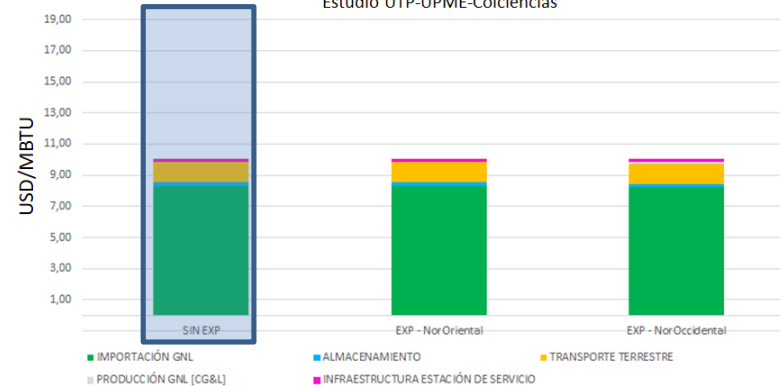
 Efecto del precio sin expansión

 Efecto en la infraestructura de la cadena de valor (siguiente diapositiva)

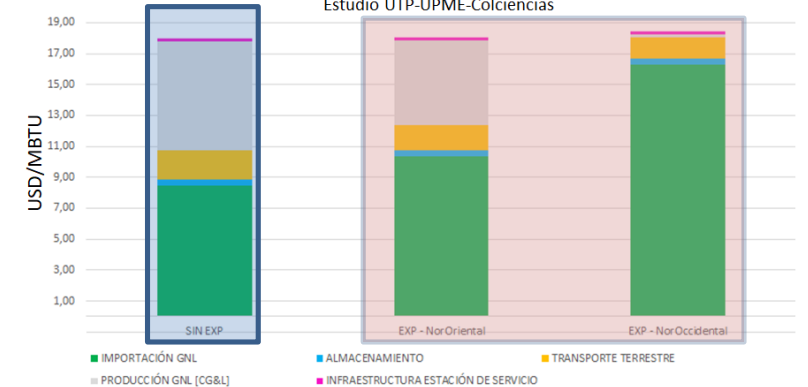
VALORES DE REFERENCIA DE GNL EN ESTACIÓN DE SERVICIO (USD/MBTU)  
Análisis de sensibilidad en reducción al 50% del valor actual del precio de GNL  
Estudio UTP-UPME-Colciencias



VALORES DE REFERENCIA DE GNL EN ESTACIÓN DE SERVICIO (USD/MBTU)  
Valor actual del precio de GNL  
Estudio UTP-UPME-Colciencias



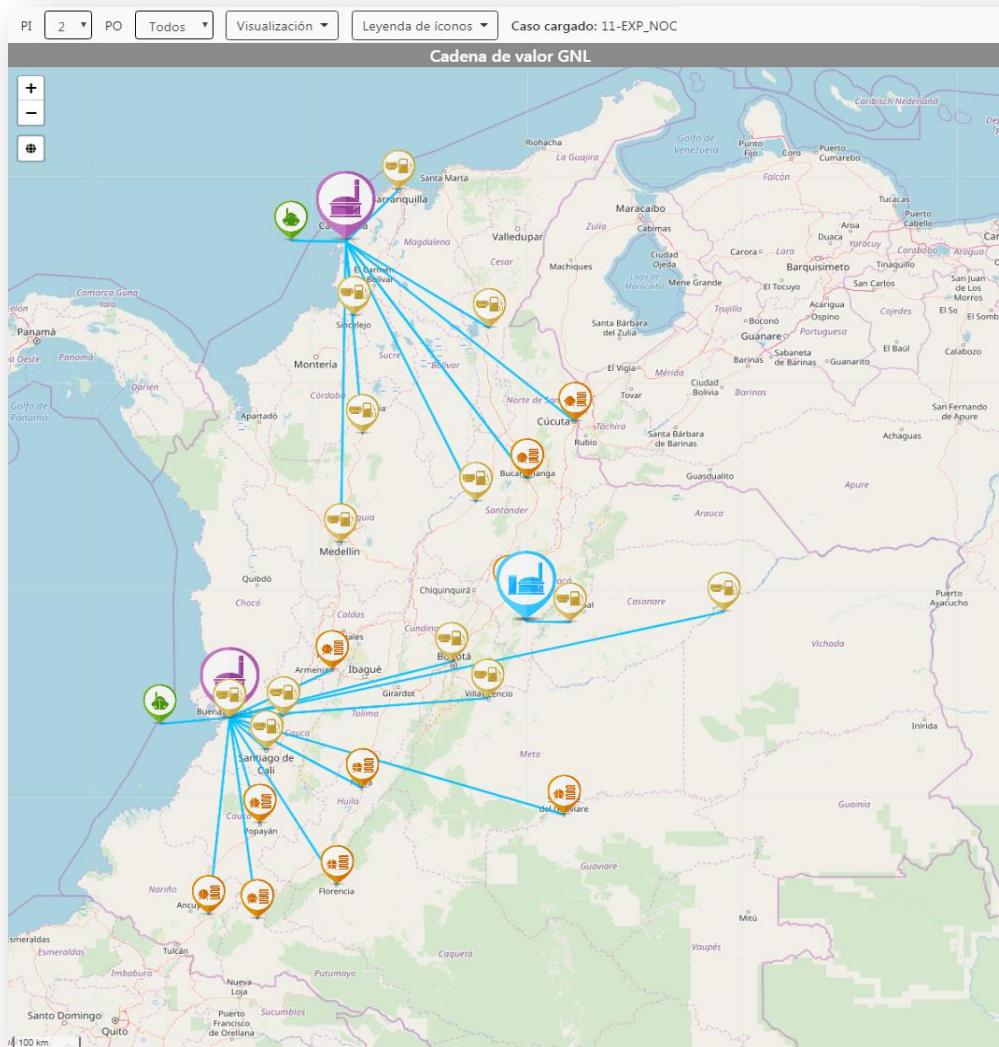
VALORES DE REFERENCIA DE GNL EN ESTACIÓN DE SERVICIO (USD/MBTU)  
Análisis de sensibilidad para un aumento del 100% del valor actual del precio de GNL  
Estudio UTP-UPME-Colciencias



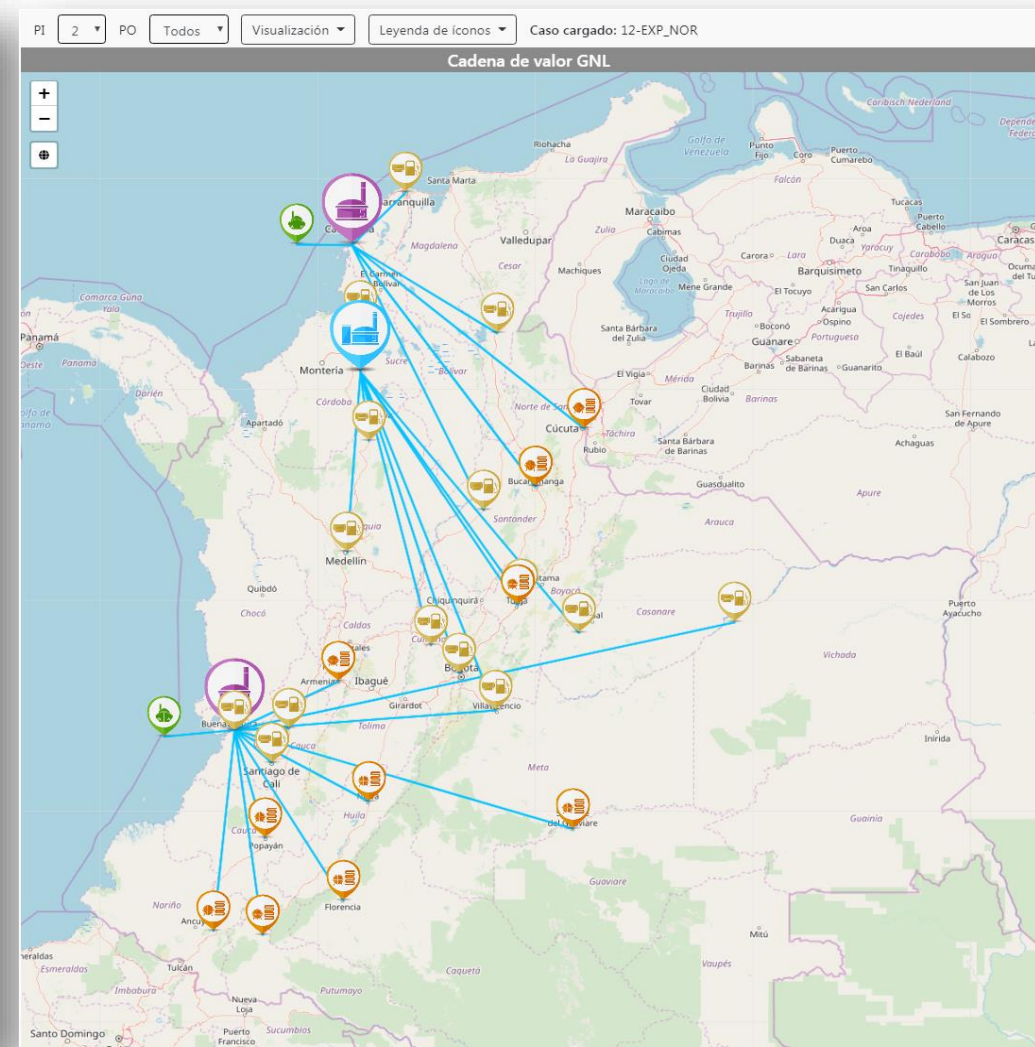
# 4. Valores de referencia para la penetración de GNL en Colombia

**Análisis de sensibilidad:** Efecto en la infraestructura de la cadena de valor para un aumento del 100% del valor actual del precio de GNL

Cadena de valor de GNL con expansión nor-occidental



Cadena de valor de GNL con expansión nor-oriental



## Contenido parte 2

1. Cadena de valor del Gas Natural Licuado (GNL) a pequeña escala
2. Conceptualización de la herramienta de modelado y optimización
3. Interfaz de usuario
4. Valores de referencia para la penetración de GNL a pequeña escala en Colombia
5. **Comentarios finales**

## 5. Comentarios finales

- Este estudio determinó unos **valores de referencia de penetración** del GNL a pequeña escala para diferentes escenarios junto con su respectivo análisis de sensibilidad.
- En términos generales los resultados numéricos indican que **la expansión de la red de transporte de gas natural, la condición de precio internacional, y la oferta de gas natural del país** tienen un efecto importante en la cadena de valor y los valores de referencia del GNL a pequeña escala para Colombia.
- Este estudio desarrolló un **modelo de optimización matemática –no reportado en la literatura especializada- y una herramienta computacional** con los cuales la UPME y los tomadores de decisión en políticas energéticas pueden realizar ejercicio de prospectiva del GNL a pequeña escala para nuestro país.

## Muchas gracias

Carlos Arturo Saldarriaga Cortés, PhD (email: [casaldarriaga@utp.edu.co](mailto:casaldarriaga@utp.edu.co))

Harold Salazar Isaza, PhD. (email: [hsi@utp.edu.co](mailto:hsi@utp.edu.co))

Julián Eduardo Ibarra Vadillo, MSc. (email: [jeibarra@utp.edu.co](mailto:jeibarra@utp.edu.co))

Juan Esteban Tibaquirá Giraldo, PhD. (email: [juantiba@utp.edu.co](mailto:juantiba@utp.edu.co))

Álvaro Hernán Restrepo Victoria, PhD. (email: [arestrep@utp.edu.co](mailto:arestrep@utp.edu.co))

Juan Camilo López Restrepo, MSc. (email: [juanc.lopez@utp.edu.co](mailto:juanc.lopez@utp.edu.co))

Tatiana Loaiza Vera, MSc. (email: [tloaiza@utp.edu.co](mailto:tloaiza@utp.edu.co))