

**Modelo de alternativas de abastecimiento para mitigar el riesgo de concentración de
proveedores en una compañía de distribución y comercialización de GLP**

Juan Andrés González Méndez

Universidad de la Sabana

Maestría en Gerencia Internacional de la

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Chía, Colombia

Octubre 2024

Dedicatoria

A Jesucristo mi amado Señor y Salvador, a mi amada esposa Marcela, a mis hijos hermosos Juan Simón y Sofía, a mis padres abnegados José Eugenio y Gloria y hermanos valiosos Juan Camilo, Carolina y Andrea, cuyo amor incondicional y apoyo han sido la fuerza de mi vida.

Agradecimiento

Agradecimiento profundo al profesor Carlos Leonardo Quintero Araujo (PhD) por la generosidad al compartir su conocimiento y tiempo en la dirección de este trabajo de investigación. En segundo lugar, agradezco a Olga Lucia Motes Gordillo, Andrés Carantonio Farías y al profesor Giovanni Andrés Hernández Salazar, por facilitar mi crecimiento profesional y brindarme el apoyo. Por último, quiero reconocer a Fernando Goyeneche – Gerente general de la compañía Combustibles Líquidos de Colombia S.A. E.S.P. – CLC por su contribución en esta investigación.

Resumen

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos livianos extraídos del procesamiento del gas natural o refinamiento del petróleo, principalmente constituido por propano y butano. En Colombia, se estima que alrededor de 12 millones de personas lo usan para cocinar alimentos, principalmente por usuarios de estratos uno y dos, minorías étnicas y del sector rural. De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se estima que el 21% de las familias colombianas utilizan GLP para este fin, después del gas natural.

Ecopetrol ha sido la principal fuente de oferta nacional de GLP. Durante el año 2022, contribuyó en promedio al 86% (48.442 tonelada-mes) de la demanda nacional. El restante provino de otros campos nacionales e importaciones. En el contexto de balance de oferta y demanda nacional de GLP, se muestra que para el año 2026, Ecopetrol, pase del 79% a suministrar el 51,34%. Al mismo tiempo, los otros productores locales pasen del 19% al 11,21%, del consumo total proyectado. Por ende, se espera que el país importe alrededor del 37,45% del GLP.

Estas proyecciones subrayan la importancia de gestionar los riesgos asociados con la dinámica de la oferta y demanda de GLP en Colombia. En particular, la compañía Colombiana de Distribución y Comercialización de GLP – CDCGLP, que se abastece en un 80% a través del mecanismo Oferta Pública de Cantidades - OPC de Ecopetrol, se enfrentaría a la materialización del riesgo de concentración. Entonces, ante ese escenario, la pregunta es: ¿Cómo podría mitigarse el riesgo de concentración de proveedores mediante un modelo de alternativas de abastecimiento que permita responder proactivamente a los cambios en el contexto actual? Para responder a la pregunta planteada se utilizaron herramientas propias de la investigación operativa

aplicadas en el estudio de caso de la compañía CDCGLP con el ánimo de proponer y validar un modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento, considerando factores que intervienen en el abastecimiento de GLP. De modo que:

Se identificó los siguientes factores en el proceso de caracterización del abastecimiento de GLP desde su cadena de valor y como respuesta al objetivo planteado en esta investigación: el riesgo de concentración asociada al proveedor, el costo de abastecimiento, los principales jugadores locales e internacionales, la capacidad de oferta vinculada al proveedor y la demanda de CDCGLP.

Se propone el modelo matemático para la optimización de alternativas de abastecimiento de GLP que permite mitigar el riesgo de concentración. Modelo que contempla los factores que intervienen en el abastecimiento de GLP. Es un modelo de programación entera mixta multiobjetivo implementado en GAMS®, en el cual se tienen dos objetivos a optimizar de manera simultánea (riesgo de concentración y costo del abastecimiento).

Al validar el modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento de GLP utilizando la información proporcionada por la compañía CDCGLP y sus proveedores, se ha demostrado que este modelo permitirá a la compañía, tomar decisiones informadas y estratégicas respecto al riesgo de concentración y el costo de abastecimiento. Esto facilitará una respuesta ágil a los cambios en la oferta y demanda de GLP, adaptación a nuevos procesos de producción y distribución, y una mejor alineación con los actores de la cadena de suministro.

Palabras Claves: GLP, OPC, riesgo de concentración y Supply Chain Management.

Tabla de contenido

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Resumen	4
Tabla de contenido	6
1. Presentación del problema de investigación	9
Contexto	9
Justificación.....	14
Pregunta de investigación.....	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos.....	17
2. Estado del arte.....	19
3. Marco teórico	28
El papel del abastecimiento en una cadena de suministro.....	28
Costo total de propiedad - CTP.....	29
Selección de proveedores: subastas y negociaciones	32
Subastas en la cadena de suministro.	34
Principios básicos de la negociación.....	35
Compartir riesgos y recompensas en la cadena de suministro	36
Diseño de una cartera de abastecimiento: abastecimiento a medida.....	37

4.	Marco metodológico	41
	Estudio de caso:.....	41
	Paso uno: diseño del estudio de caso.	41
	Paso dos: recopilación de información.	41
	Paso tres: análisis de información.	42
	Paso cuatro: redacción del informe.	42
	El proceso de construcción de modelos matemáticos de investigación operativa:	42
	Paso uno: formule el problema.	42
	Paso dos: observar el sistema.....	42
	Paso tres: formular un modelo matemático del problema.....	43
	Paso cuatro: verificar el modelo y utilizarlo para la predicción.....	43
	Paso cinco: seleccionar una alternativa viable.	43
	Paso seis: presentar los resultados y la conclusión del estudio a la organización.....	43
	Paso siete: implementar y evaluar las recomendaciones.....	44
5.	Resultado y análisis.....	45
	Caracterización del abastecimiento de GLP desde su cadena de valor (observar el sistema).....	45
	Principales jugadores locales e internacionales.	45
	Acerca del GLP.	45
	Planificación de la demanda.....	48

Producción.	50
Transporte.	60
Distribución.....	61
Comercialización.....	62
Capacidades de CDCGLP (objeto de esta investigación). <i>Planificación de la demanda.</i>	64
Proponer el modelo matemático de alternativas de abastecimiento	68
Validar el modelo matemático de alternativas de abastecimiento.....	71
6. Conclusiones y recomendaciones	74
7. Referencias bibliográficas.....	77
8. Anexos	81

1. Presentación del problema de investigación

Contexto

A nivel mundial el GLP ha jugado un papel importante en el sector del petróleo y gas. No obstante, su historia, que se remonta a principios del siglo XX, ha estado llena de desafíos y oportunidades. En los primeros días, la gasolina producida se evaporaba rápidamente durante el almacenamiento, lo que representaba un riesgo significativo. En 1911, el químico estadounidense Walter Snelling identificó que el propano y el butano eran los responsables de esta evaporación. Desarrolló un método para separar estos gases de la gasolina, lo que marcó el inicio de la producción comercial de GLP en los años 20. (LPG Exceptional Energy, 2024)

La distribución regional del GLP no comenzó hasta la década de 1950, y su uso generalizado no despegó hasta las décadas de 1940 y 1960. Durante este tiempo, la industria del GLP creció a la par de la disponibilidad de refinerías. La construcción de nuevas refinerías en la década de 1960 aumentó la disponibilidad de GLP, lo que permitió que el gasóleo reemplazara al carbón como combustible industrial. Antes de la década de los 70, la distribución internacional de GLP era principalmente un comercio regional, con cada región teniendo su propia estructura de precios, transporte, distribuidores y compradores. El primer comercio regional, que se inició en los años 50, producía flujos entre los estados del Golfo de Estados Unidos – EE. UU y Sudamérica. La crisis del petróleo de 1973 marcó un punto de inflexión. Los países productores de petróleo reconocieron que la exportación de GLP podría generar beneficios económicos significativos y comenzaron a construir plantas de GLP. La expansión de la capacidad de producción de GLP en Oriente Medio entre 1975 y 1985 fue particularmente notable, con la

capacidad instalada aumentando de 6 millones de toneladas en 1975, a 17 millones en 1980 y a 30 millones en 1985. Además, no sólo se construyeron plantas de GLP en Oriente Medio. Australia, Indonesia, Argelia, el Mar del Norte y Venezuela emergieron como nuevos productores, lo que convirtió a la década de 1980 en un período de expansión significativa de las exportaciones de GLP en todo el mundo. (Gasnova, 2020)

Hoy en día, el GLP es utilizado por cerca de tres mil millones de personas en los seis continentes, con un consumo total de 300 millones de toneladas. (WLGA, 2024)

Respecto a cifras internacionales, es crucial analizar las dinámicas globales del mercado de GLP en 2021. Según la World LPG Association - WLPGA, las exportaciones globales ascendieron a 132 millones de toneladas, mientras que las importaciones superaron ligeramente este número con 133 millones de toneladas, lo que indica un balance positivo para las importaciones.

El 2021 comenzó con desafíos significativos, incluyendo condiciones climáticas extremas en la costa del Golfo de EE. UU y retrasos en el tránsito del Canal de Panamá. Estos factores, junto con un flujo constante de exportaciones de los principales productores (EE. UU y Medio Oriente), contribuyeron a un aumento en las tarifas de flete. Norte América lideró las exportaciones de GLP con 59 millones de toneladas, seguida por el Medio Oriente con 36 millones de toneladas. Europa y euro Asia, por otro lado, exportaron 20,5 millones de toneladas en 2021, y sus importaciones fueron superiores con 27,4 millones de toneladas. Los países de Centro y Sur América, con importaciones de 15,3 millones de toneladas y exportaciones de 2,1 millones de toneladas, se destacaron como una región predominantemente importadora. (Caro, 2022)

Es importante destacar el papel de Asia, que registró la mayor importación en 2021 con 75,5 millones de toneladas al año. Este hecho subraya la necesidad de monitorear de cerca las tendencias comerciales en la región de Asia-Pacífico. Todos los países importadores a nivel mundial están en competencia directa o indirecta con Asia por el GLP. En la última década, las importaciones de Asia han aumentado en un 307% (36,4 toneladas en 2011 vs 75,5 toneladas en 2021), lo que tiene implicaciones significativas en el precio de Mont Belvieu en EE. UU, que fluctuará en función de la demanda de su principal importador. (Caro, 2022)

A pesar de la recuperación de la demanda mundial de petróleo, en 2021, tras la caída histórica causada por la pandemia de COVID, la perspectiva a largo plazo se ve desafiada por la transición hacia combustibles más limpios. (Caro, 2022) Esta transición energética podría tener impactos significativos para el mercado de GLP en el futuro.

En Colombia, la evolución del uso del GLP ha atravesado varias fases críticas. Iniciando en los años 30, de manera informal se distribuían cilindros con producto de las refinerías de Barrancabermeja y Tibú. Este combustible emergente se presentó como una alternativa viable al carbón, la leña, el queroseno y la energía eléctrica para la cocción de alimentos. El GLP ganó prominencia debido a su bajo costo y facilidad de transporte, convirtiéndose en el principal energético para la cocción. Durante los años 50, se construyeron los primeros poliductos y propanoductos, así como las primeras plantas envasadoras de cilindros.

En la década de los 60, se enfrentó un escenario de oferta deficitaria y monopolio en el suministro. Esto, junto con el surgimiento de empresas distribuidoras, llevó al Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) a regular la actividad mediante un sistema de cupos,

asignando a cada distribuidor un volumen mensual y una zona exclusiva para su distribución. Con la promulgación de la Constitución de 1991 y la posterior expedición de la Ley 142 de 1994, se eliminó el sistema de cupos. Las actividades de la cadena de GLP pasaron a ser un servicio público domiciliario, regulado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), y bajo el control y vigilancia de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). (Minenergía, 2023)

Respecto a cifras locales, las proyecciones actuales indican una disminución significativa en la contribución de los productores locales al consumo total de GLP. Se anticipa que Ecopetrol, un actor estratégico en el mercado, reducirá su aporte del 79% al 51,34%. De manera similar, se espera que otros productores locales disminuyan su participación del 19% al 11,21%. Esta tendencia podría implicar importantes decisiones en cuanto a diversificación de riesgos y estabilidad del suministro. (Caro, 2022).

Frente a la infraestructura, se destaca que la compañía CDCGLP, junto con 56 de las 62 compañías locales de distribución y comercialización de GLP, carece de infraestructura o facilidades portuarias para la importación de GLP. Esto contrasta con otros competidores locales directos como Norgas, Chilco, Gasco, Montacargas y Rayo Gas (Almagas), que forman el “consorcio G5” y tienen acceso a la facilidad portuaria “Okianus Terminals” ubicada en Cartagena. (López, 2021).

Es importante resaltar, que existen otras instalaciones portuarias en Colombia para la importación de GLP, como la Refinería de Cartagena (exclusiva de Ecopetrol con precio regulado), Plexa Port (subasta con precio no regulado), Puerto Solo (actualmente en construcción), Puerto Bahía (aliado de Gasco-G5) (Halcones y palomas, 2022) y Tumaco Pacific Port (ubicación viable para el pacífico colombiano). La dependencia de las

instalaciones portuarias de terceros puede limitar la capacidad de la compañía CDCGLP para responder de manera efectiva a las fluctuaciones del mercado y asegurar un suministro constante de GLP.

A continuación, en la tabla 1 se reflejan las ventas a cierre de 2021. Esta tabla permite analizar el desempeño en ventas de las compañías que cuentan con facilidades portuarias (consorcio G5: Norgas, Chilco, Gasco, Montacargas y Rayo Gas -Almagas) en comparación con aquellas que no disponen de dicha facilidad:

Tabla 1

Ventas de GLP en 2021

Empresa	Ventas KG – 2021	Cantidad ventas en KG
Norgas (G5)	30.59%	127.094.048
Chilco (G5)	17.19%	71.412.705
Gasco (G5)	16.30%	67.703.213
Montacargas (G5)	7.96%	33.075.886
Roscogas	6.34%	26.335.020
Rayogas-Almagas (G5)	4.51%	18.747.146
CLC	2.22%	9.215.635
Gas Zipa	1.68%	6.964.446
Gas Neiva	1.31%	5.449.200
Lidagas	1.01%	4.196.283
Otros	10.90%	45.287.069
Totales	100.00%	415.480.651

Nota: Datos tomados del SUI de la SSPD. Ventas GLP 2021.

La tabla 1 sugiere que las empresas que forman parte del Consorcio G5: Norgas, Chilco, Gasco, Montagas y Rayogas (Almagas), ocupan los primeros seis lugares en el

mercado colombiano al cierre de 2021. Esto podría indicar dos aspectos significativos: Primero, la terminal portuaria “Okianus Terminals” representa una ventaja competitiva para las empresas del Consorcio G5. Esto se refleja en las ventas al cierre de 2021, que indican una cobertura del 76% del mercado, y segundo, frente a un posible cambio en la oferta del principal productor de GLP en Colombia (Ecopetrol), las empresas del Consorcio G5 estarían en una posición ventajosa. En contraste, las otras 57 empresas dependerían de terceros que cuenten con estas facilidades portuarias. Las empresas que no forman parte del Consorcio G5 podrían enfrentar riesgos significativos en términos de seguridad de suministro y capacidad para competir eficazmente en el mercado.

Justificación

La importancia de abordar esta problemática en el presente trabajo de grado radica en que la compañía CDCGLP objeto de esta investigación, se abastece de GLP en un 80% con el proveedor Ecopetrol, lo cual deriva en un riesgo de concentración que consiste en la probabilidad de pérdida derivado de incumplimientos o deficiencias en la prestación de servicios a la compañía por parte de un único proveedor con el cual se tiene una dependencia excesiva. Este riesgo se podría materializar ante posibles cambios en la industria de hidrocarburos que se prevén para el año 2026 según la Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME, específicamente con una disminución del 30% en la capacidad de producción local del proveedor citado anteriormente, lo cual generaría una pérdida económica para CDCGLP.

En ese escenario, CDCGLP enfrentaría un incremento en los costos de ventas (precio del GLP dado por el productor al comercializador mayorista, que es CDCGLP), lo

que afectaría a su utilidad bruta, si se mantuviera los precios del GLP dados por CDCGLP (comercializador mayorista) al cliente final. La caída de la producción de Ecopetrol, el principal productor nacional y mayor proveedor de la compañía CDCGLP mediante el mecanismo de OPC, mecanismo que permite el precio más bajo comparando con los otros proveedores de GLP del mercado, obligaría a la compañía CDCGLP a adaptar su mezcla de suministro de local a internacional o mixto para mantener el abastecimiento continuo de GLP, con la posibilidad de afectar de forma negativa la utilidad bruta.

Esta adaptación también implicaría una mayor dependencia de un mercado internacional que es conocido por su volatilidad en los precios del GLP. Además, la compañía tendría que depender de las instalaciones portuarias de terceros para responder eficazmente a las fluctuaciones del mercado y garantizar un suministro constante de GLP. Estos factores subrayan la necesidad de diseñar un modelo matemático de alternativas de abastecimiento que permita mantener en equilibrio las dimensiones de riesgo de concentración y utilidad bruta asociado al costo de abastecimiento.

Para comprender estos desafíos se analiza la proyección de la oferta y demanda de GLP en Colombia. La UPME ha proyectado la demanda de energéticos para el periodo 2022 – 2035. Para el caso del GLP, la estimación de la demanda se realiza bajo el modelo Generalized Additive Model - GAM. Según estas proyecciones, se espera que el consumo de GLP presente una tendencia creciente, con un crecimiento promedio anual esperado de 2,20%, con un rango de 1,40% hasta 2,90%.

Frente a estas proyecciones de demanda y basándonos en la declaración de producción publicada por MinMinas en la Resolución 00783 de abril 25 de 2022, se proyecta que para el año 2026 el país tendrá que importar alrededor del 37,45% de las

necesidades de consumo. Esto implica un crecimiento en las importaciones de GLP por encima del 35%. A nivel local, se proyecta que el productor local Ecopetrol pase de suministrar el 79% a suministrar 51,34% y los otros productores locales pasen de suministrar el 19% a suministrar el 11,21% del consumo total proyectado. (Caro, 2022)

Estas proyecciones subrayan la importancia de gestionar el riesgo de concentración asociado con la dinámica de la oferta y demanda de GLP en Colombia. En particular, la compañía CDCGLP, que se abastece en un 80% a través del mecanismo OPC de Ecopetrol, se enfrenta al riesgo de concentración o dependencia de un solo proveedor.

Este riesgo podría materializarse ante posibles cambios en la industria de hidrocarburos. Para analizar el riesgo de concentración, es importante considerar diversos factores que podrían influir de manera positiva o negativa. Estos incluyen; OPC con tendencia a disminuir, demanda parcialmente cubierta con la oferta local que impulsa al abastecimiento de terceros internacionales, decrecimiento en la producción internacional, eliminación de beneficios fiscales, presiones para avanzar en la transición de fuentes renovables, entre otros factores.

Dadas estas proyecciones, es posible que la capacidad de venta de Ecopetrol a nivel local se vea afectada. Esto, a su vez, podría impactar el modelo de abastecimiento de la compañía CDCGLP. Por lo tanto, en el presente trabajo se busca, desde un modelo matemático de alternativas de abastecimiento, mitigar el riesgo de concentración que podría materializarse dada las proyecciones mencionadas y posibles cambios en el mercado.

Pregunta de investigación

¿Cómo podría mitigarse el riesgo de concentración de proveedores de GLP mediante un modelo matemático de alternativas de abastecimiento que permita responder proactivamente a los cambios en el contexto actual?

Objetivo general

Diseñar un modelo matemático de alternativas de abastecimiento para mitigar el riesgo de concentración de proveedores de GLP buscando que, el abastecimiento no sea interrumpido en un escenario de altibajos e incertidumbre de la industria de hidrocarburos, considerando las estimaciones de capacidad de producción en el corto y mediano plazo.

Objetivos específicos

- 1) Caracterizar el proceso de abastecimiento de GLP para determinar y analizar las variables internas y externas que mayor impacto tienen en el modelo de abastecimiento de la compañía CDCGLP, soportado en el conocimiento de las proyecciones de inversión en exploración y producción de petróleo y gas en Colombia y el mundo y en los principales jugadores locales e internacionales.
- 2) Proponer un modelo matemático de alternativas de abastecimiento asociado al riesgo de concentración y al costo de abastecimiento, que muestre posibles escenarios para el abastecimiento en la compañía CDCGLP, considerando factores que intervienen en la cadena de valor del GLP y que tienen un nivel significativo de impacto sobre el suministro.

- 3) Validar el modelo matemático de alternativas de abastecimiento de GLP mediante el uso de información suministrada por la compañía CDCGLP y proveedores, y sugerir recomendaciones para su implementación.

2. Estado del arte

La investigación se centra en el riesgo de concentración de proveedores de la compañía CDCGLP, por su dependencia en un 80% del proveedor Ecopetrol. En particular, una materialización del riesgo de concentración, impulsado por una posible reducción del 30% en la capacidad de producción de GLP por parte de Ecopetrol, el principal proveedor de CDCGLP, podría aumentar los costos de ventas en CDCGLP, lo que tendría un impacto negativo en su utilidad bruta, si se mantienen los precios al cliente final. Esta situación podría obligar a CDCGLP a reevaluar su estrategia de suministro, pasando de un enfoque local a uno internacional o mixto. Como impacto adicional, la empresa podría aumentar su dependencia del volátil mercado internacional de GLP y de las instalaciones portuarias de terceros.

Para llevar a cabo la revisión del estado del arte, se propuso la siguiente ecuación de búsqueda en la base científica de datos Scopus: TITLE-ABS-KEY (("liquefied petroleum gas" OR "LPG") AND (sourcing OR supply OR "supplier selection")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Supply Chains") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Developing Countries") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fuel Supply Systems") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fuel Supply") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Petroleum Gas, Liquefied")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "p") OR LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (

SUBJAREA , "BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "DECI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ECON")). Con el resultado de la ecuación de búsqueda en Scopus, se ejecutaron los siguientes cuatro pasos para revisar la literatura:

Pasos a seguir para revisar la literatura existente

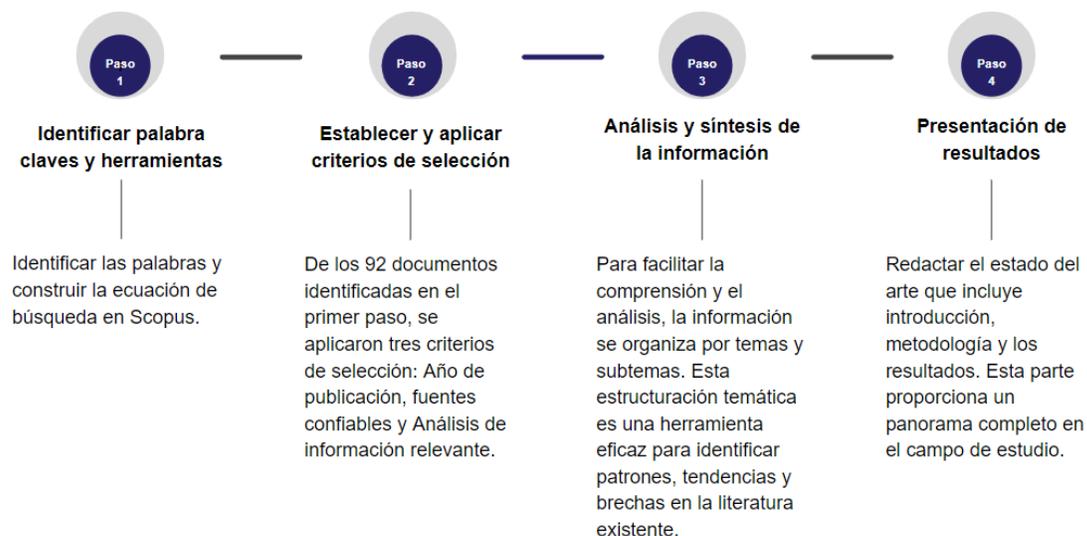


Figura 0: Elaboración propia con información tomada de Normas APA.in

Posteriormente, se organizaron los artículos y conferencias en tres temas principales, cada uno con subtemas específicos. Esta estructura temática proporciona una visión integral de los aspectos de la investigación, lo que facilita la exploración detallada del tema de estudio.

El primer tema se centra en el análisis de la cadena de suministro, con tres estudios destacados: 1) Análisis de la cadena de suministro de petróleo y gas mediante simulación de eventos discretos en tiempo continuo. (Kbah, 2020) Este estudio se centra en las cadenas de suministro de petróleo y gas, destacando su complejidad y la necesidad de mejorar su eficiencia operativa para mantener la competitividad. Dada la dificultad de desarrollar modelos analíticos precisos debido a la alta variabilidad operativa, se opta por la simulación

como método de análisis. Sin embargo, no aborda directamente cómo se puede diversificar la cadena de suministro de combustible para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. 2) Modelo conceptual de mapeo de la estructura de la cadena de suministro: un caso de producto básico de GLP subsidiado en Yogyakarta. (Sulistio et al., 2016). La investigación se centra en el programa de conversión de queroseno a GLP lanzado por el gobierno en 2007, para reducir los subsidios energéticos, especialmente al queroseno. Respecto a la pregunta de la investigación de esta tesis, se identifica que este documento no aborda cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. 3) Pasar por la cadena de suministro: implicaciones para el poder de mercado. (Melo et al., 2021). Este artículo explora la relación entre el traspaso y el poder de mercado en la industria brasileña del GLP. Se utilizó un shock fiscal estatal y se aplicó una estrategia de diferencias para estimar el traspaso en diferentes niveles de la cadena de suministro y para estimar la demanda. Posteriormente, estas estimaciones alimentaron un modelo teórico para inferir un parámetro de conducta que mide el poder de mercado. Este artículo no aborda cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. En resumen, el primer tema, tras la revisión de varios estudios centrados en las cadenas de suministro de petróleo y gas, se destaca su complejidad y la necesidad imperante de mejorar su eficiencia operativa. No obstante, una brecha evidente en estos estudios es la falta de discusión sobre cómo diversificar la cadena de suministro de combustible para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. Esta omisión señala un área de investigación crucial que esta tesis busca abordar.

El segundo tema se centra en modelos predictivos y análisis de riesgos en la distribución de GLP, con seis estudios destacados: 1) Modelos predictivos sobre opciones viables para la distribución de GLP: caso para una PYME de pequeña y mediana escala en Nigeria. (Neeka et al., 2019). Esta literatura examina la producción y distribución del GLP en Nigeria, un país con reservas probadas de gas de más de 189,27 billones de pies cúbicos (TCF). A pesar de la abundancia de gas natural, la producción y distribución de GLP ha experimentado un crecimiento limitado en las últimas tres décadas. Se aplicó un modelo estocástico a datos históricos y predictivos de 1994 a 2020 para analizar el patrón de producción, consumo y distribución racionalizada del país. El estudio asume cambios en las diversas etapas de las cadenas de valor de producción (producción, almacenamiento, distribución, infraestructura de oleoductos y cadenas de suministro en el país). Se adoptaron enfoques de regresión lineal y correlación, y los modelos utilizados coincidieron favorablemente con los gráficos de los datos establecidos. Los resultados indican que el consumo de GLP aumentó rápidamente a partir de 2016 debido a los aumentos en el excedente de infraestructura, la inversión y las iniciativas de sensibilización. Este artículo aborda un modelo estocástico que podría servir para construir un modelo matemático que considere el riesgo de concentración de proveedores. 2) Evaluación de riesgos de las actividades de mantenimiento mediante lógica difusa. (Gallab et al., 2019). Este estudio propone un nuevo modelo para cuantificar los riesgos asociados con las actividades de mantenimiento, combinando el análisis de riesgos con la lógica difusa. El objetivo es calcular los valores cualitativos del nivel de riesgo. La cuantificación del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se basa en tres parámetros: frecuencia, detectabilidad y gravedad. Sin embargo, no contempla cómo se pueden desarrollar modelos de

abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. 3) Análisis de riesgos de las actividades de mantenimiento en una cadena de suministro de GLP con enfoque Multi-Agente. (Gallab et al., 2017). Este artículo presenta un nuevo enfoque de modelado sistémico utilizando el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) y Sistemas de Agentes Múltiples (MAS) para modelar la complejidad y analizar los riesgos de las actividades de mantenimiento dentro de una cadena de suministro de GLP. Este estudio se centra en el análisis de riesgos de las actividades de mantenimiento en la cadena de suministro de GLP, pero no aborda cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. 4) Análisis de riesgos para incidentes de gas de servicios públicos y GLP a nivel de consumidor utilizando modelos probabilísticos de red. (LAM & CRUZ, 2019) Este estudio de caso se centra en los incidentes de gas en Japón, donde el gas utilitario y el GLP se utilizan ampliamente para necesidades domésticas y comerciales. Este estudio propone un enfoque de modelado de red probabilístico para considerar las características inherentes de los factores de riesgo para incidentes de gas a nivel del consumidor. pero no aborda cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. 5) Problemas de selección de proveedores y asignación de pedidos considerando interrupciones regionales y de proveedores con una estrategia de aversión al riesgo. (Lee & Moon, 2024) Este artículo estudia la selección óptima de proveedores y los problemas de asignación de pedidos considerando interrupciones regionales y de proveedores. Sugiere una política de precios que tenga en cuenta la probabilidad de interrupción, que refleja la relación de compensación entre costo y riesgo. Presenta un modelo neutral al riesgo considerando el costo esperado y un modelo adverso

al riesgo considerando la medida condicional del valor en riesgo (CVaR). También presenta un modelo CVaR ponderado que considera varios niveles de tolerancia simultáneamente. Propone varios modelos multiobjetivo que consideran tanto modelos adversos al riesgo como neutrales al riesgo. En resumen, el segundo tema, se han estudiado diversas literaturas que examinan los riesgos asociados con las actividades de mantenimiento, producción y distribución, lo cual podría aportar en esta investigación. 6) Optimización de la cartera de compras de materiales considerando el riesgo de suministro. (Hao et al., 2020) Propone un modelo de programación multiobjetivo. Este documento analiza e identifica los factores de riesgos de suministro y construye un sistema de evaluación de riesgo de suministro a partir de las dimensiones de calidad, precio, entrega, servicio y tecnología. En segundo lugar, con base en la escala lingüística y la teoría difusa, este documento mide el riesgo de suministro de los proveedores candidatos y estima los parámetros relevantes del modelo de optimización multiobjetivo utilizando los números difusos triangulares.

En resumen, el segundo tema, se han estudiado diversas literaturas que examinan los riesgos asociados con las actividades de mantenimiento, producción y distribución. Tres de los seis estudios proponen modelos matemáticos que hicieron parte la solución al planteamiento del problema.

El tercer tema se centra en oportunidades y desafíos en los mercados de petróleo y gas, con cinco estudios destacados: 1) Evolución de la industria india del GLP: exploración de las condiciones para la innovación del modelo de negocio del sector público. (Agarwal et al., 2021) Este artículo explora las condiciones para la innovación del modelo de negocio en el sector público, con un enfoque en la creación de valor para los ciudadanos, la industria y el gobierno. Se analiza la importancia de la innovación de modelos de negocios

en la entrega de un producto clave, el GLP, a grandes poblaciones del mundo en desarrollo. Pero, no se centra específicamente en las estrategias para mitigar el riesgo de concentración de proveedores en la cadena de suministro de GLP. 2) Cambio de combustible en hogares de barrios marginales y no marginales de la India urbana. (Ahmad & Puppim De Oliveira, 2015). Este artículo aborda la necesidad de mejorar el acceso a los combustibles modernos en los países en desarrollo para mitigar los impactos adversos en la salud humana y el medio ambiente causados por los combustibles tradicionales. Se analiza la heterogeneidad en el uso de combustibles entre los hogares en los países en desarrollo, con un enfoque en la India urbana. Utilizando un modelo de elección discreta sobre micro datos representativos a nivel nacional, se estiman los factores que impulsan el cambio de combustible en hogares dentro y fuera de los barrios marginales. Sin embargo, no se centra específicamente en las estrategias para mitigar el riesgo de concentración de proveedores en la cadena de suministro de GLP 3) Decisiones sobre el apilamiento de combustible y la elección de estufas: un modelo de elección discreta de las preferencias de los hogares de Sri Lanka por una solución de cocina limpia. (Dissanayake et al., 2022). El documento aborda la transición de combustibles para cocinar no limpios a combustibles limpios en los países en desarrollo, un requisito esencial para el desarrollo sostenible. Se destaca el papel crucial que juegan las decisiones del hogar en esta transición y la preferencia hacia factores específicos del producto. Dada la complejidad de los desafíos socioeconómicos que enfrentan estos países, se enfatiza la necesidad de abordar este problema de inmediato. Pero no aborda cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. 4) Evaluar la viabilidad de una política de migración de cocinas de GLP a cocinas de inducción para reducir los subsidios al GLP. (al

Irsyad et al., 2022) Este escrito analiza la viabilidad de un programa de cocinas de inducción en Indonesia para reducir los subsidios al GLP. Se descubrió que el ahorro en el subsidio al GLP puede compensar los costos de capital que implica cambiar a la cocina por inducción en un plazo de tres años. Sin embargo, no aborda cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores.

5) Oportunidades y desafíos para los mercados de petróleo y GLP en África subsahariana. (Matthews, 2014). Esta investigación se centra en el impacto de los altos precios del petróleo en las economías de los países del África subsahariana, donde los productos derivados del petróleo son vitales para el transporte, la generación de energía y el uso doméstico. En un contexto de altos precios del petróleo, los subsidios estatales a estos productos pueden presionar mucho a los presupuestos gubernamentales, mientras que la transmisión de los cambios de precios a los consumidores puede afectar directamente a los de los hogares. Sin embargo, no aborda cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. En resumen, del tercer tema, se han revisado varios estudios que exploran las oportunidades y desafíos en los mercados de petróleo y GLP. Aunque estos estudios proporcionan información valiosa, no abordan cómo se pueden desarrollar modelos de abastecimiento alternativos para mitigar el riesgo de concentración de proveedores. Esta brecha en la literatura existente indica una oportunidad para explorar y desarrollar modelos alternativos de abastecimiento, lo cual es un objetivo clave del presente trabajo de grado.

Se puede concluir que, de acuerdo con la revisión realizada en la literatura científica, existe una brecha sobre la diversificación de alternativas de compra en la cadena de suministro para mitigar el riesgo de concentración de GLP. Por otra parte, hay una

carencia de estudios donde se apliquen modelos de optimización para la mitigación del riesgo de concentración de proveedores de GLP. Sin embargo, estos estudios proporcionan información que en conjunto es valiosa para el tema a investigar. Por lo tanto, el desarrollo de la presente tesis no solo contribuirá a la solución de un problema específico por parte de la compañía CDCGLP, sino también al desarrollo de nuevo conocimiento sobre modelos matemáticos de optimización de alternativas de abastecimiento para mitigar el riesgo de concentración de proveedores de GLP.

3. Marco teórico

El papel del abastecimiento en una cadena de suministro

Las adquisiciones, conocidas como compras, constituyen el mecanismo por el cual las organizaciones obtienen recursos esenciales como materias primas, componentes, productos y servicios de proveedores para operar. El abastecimiento engloba el conjunto integral de procesos comerciales requeridos para la adquisición de bienes y servicios.

(Chopra & Meindl, 2016)

Desde una perspectiva de riesgo, las decisiones de selección de proveedores deben considerar factores como daño incidental, daño malicioso o terrorismo, amenazas y riesgos de las partes involucradas, interdependencias entre proveedores y daño a la reputación o la marca. Además, otros factores a considerar son la calidad del producto o servicio, la estabilidad de los costos y la eficiencia de la entrega. (Internacional Organización for Standardization, 2022). Es importante hacer estas preguntas: 1) ¿Aumentará el tercero el excedente de la cadena de suministro en relación con la realización de la actividad? 2) ¿En qué medida aumentan los riesgos con la compra a un solo proveedor? 3) ¿Existen razones estratégicas para comprar a un solo proveedor?

El superávit en la cadena de suministro se define como la discrepancia entre el valor percibido de un producto por el cliente y el costo acumulativo de todas las actividades de la cadena de suministro necesarias para entregar el producto al cliente. La idea fundamental es que las decisiones de compra son beneficiosas si logran incrementar este superávit en la cadena de suministro (asumiendo que podemos retener una porción de este incremento) sin inducir un aumento considerable en los riesgos asociados. Por lo tanto, cualquier decisión de aprovisionamiento debe estar orientada hacia la maximización del valor neto generado

por la cadena de suministro. (Chopra & Meindl, 2016) En economía y comercio y según la definición de la Real Academia Española, el superávit es el exceso de los ingresos sobre los gastos. (Real Academia Española, 2024)

Tomar decisiones de abastecimiento efectivas ayuda a:

- a) Identificar la fuente adecuada puede dar como resultado una actividad realizada con mayor calidad y menor costo.
- b) Se pueden lograr mejores economías de escala si se agregan los pedidos dentro de una empresa.
- c) Transacciones de adquisición más eficientes pueden reducir significativamente el costo total de compra.
- d) La colaboración en el diseño puede dar como resultado productos que son más fáciles de fabricar y distribuir, lo que resulta en costos generales más bajos. Este factor es importante para los componentes que contribuyen en gran medida al costo y valor del producto.
- e) Los buenos procesos de adquisiciones pueden facilitar la coordinación con el proveedor y mejorar la previsión y la planificación. Una mejor coordinación reduce los inventarios y mejora la correspondencia entre la oferta y la demanda.
- f) Un reparto adecuado de riesgos y beneficios puede generar mayores beneficios tanto para el proveedor como el comprador.
- g) Las empresas pueden lograr un precio de compra más bajo aumentando la competencia mediante el uso de subastas.
- h) Al diseñar una estrategia de abastecimiento, es importante que una empresa tenga claro los factores que tienen la mayor influencia en el desempeño y apunte a mejorar en esas áreas.

Costo total de propiedad - CTP

En el proceso de selección de proveedores, un error común que cometen muchas empresas es enfocarse exclusivamente en el precio cotizado, pasando por alto que existen múltiples factores que inciden en el costo total de utilizar un proveedor, como lo es el

riesgo de concentración. Por ejemplo, los proveedores presentan diferentes precios o plazos de reabastecimiento. Surge entonces la pregunta: ¿Es conveniente seleccionar un proveedor más costoso, pero con un plazo de entrega más corto o el proveedor menos costoso, pero aumentando el riesgo de concentración?, O ¿justifica el proveedor más confiable o menos costoso los pocos pesos extras que cobra por pieza? (Chopra & Meindl, 2016). El precio que cobra el proveedor es solo uno de los factores que afectan al excedente de la cadena de suministro. Es crucial enfocarse en el CTP al seleccionar proveedores. El CTP engloba todos los costos de la cadena de suministro relacionados con la adquisición de un bien o servicio de un proveedor específico y se puede dividir en tres “categorías” de costos: adquisición, propiedad y posteriores a la propiedad.

Los costos de adquisición comprenden todos los costos asociados con la compra de material de un proveedor hasta que llega al comprador y está listo para su uso. Estos costos incluyen el precio del proveedor, los términos del proveedor que afectan los costos de financiamiento, impuestos y aranceles, costos de entrega y costos de calidad entrantes. Los costos de adquisición también deben incluir los gastos generales de gestión de la relación y planificación de las compras. Los costos de propiedad abarcan todos los costos asociados con la pieza comprada desde que llega del proveedor hasta que el producto terminado se vende al cliente. Estos costos incluyen costos de inventario, costos de almacenamiento, costos de fabricación o conversión, costos de calidad de producción y costos de tiempo del ciclo de producción. Los costos posteriores a la propiedad incluyen todos los costos incurridos por la empresa después de que el producto terminado haya llegado al cliente final. (costos de garantía, ambientales, responsabilidad del producto y reputación). (Chopra & Meindl, 2016)

Tabla 2*Factores que influyen en el coste total de propiedad*

Categoría	Componentes	Cuantificable
Costo de adquisición		
Precio de proveedor	Mano de obra, materiales, gastos generales	SI
Términos de proveedor	Condiciones de pago neto, frecuencia de entrega, tamaño mínimo de lote, descuentos por cantidad	SI
Impuestos y deberes	Todas las tarifas y costos de cumplimiento	SI
Gastos de envío	Costos de transporte desde el origen hasta el destino, costos de embalaje	SI
Costos de calidad entrante	Costos de inspección, defectos y re trabajo	Difícil
Costos de gestión	Inventario de proveedores, incluyendo materia prima, productos en proceso y terminado, inventario en tránsito, inventario de productos terminados en la cadena de suministro	SI
Costos de almacenamiento	Costos de almacenamiento y manejo de materiales para soportar inventario adicional	SI
Costo de manufactura	Costos de fabricación asociado con la pieza de origen	SI
Costos de Calidad de producción	Impacto de la pieza de origen en la calidad del producto terminado	Difícil
Costo del ciclo de tiempo	Impacto de la pieza de origen en el tiempo del ciclo de producción	SI
Costos posteriores a la propiedad		
Reputación	Impacto en la reputación por problemas de calidad	No
Costo de garantía y responsabilidad del producto	Costos de garantía y responsabilidad del producto asociados con la pieza de origen	Difícil
Costos ambientales	Costos ambientales producidos por la pieza de origen	Difícil
Capacidades del proveedor	Plazo de reposición, rendimiento puntual, flexibilidad, capacidad de coordinación del diseño, viabilidad del proveedor	Hasta cierto punto

Nota: Datos tomados de Chopra & Meindl, 2016.

Al calificar y evaluar a los proveedores, se pueden organizar los factores que influyen en el costo total, como se muestra en la tabla 2.

Es esencial evaluar el rendimiento de cada fuente potencial, incluyendo la producción interna, en función de diversos factores que influyen en el Costo Total de Propiedad (CTP). Es crucial tener en cuenta las tendencias existentes, especialmente si algunas de las fuentes se encuentran en el extranjero. Estas tendencias pueden incluir fluctuaciones en los tipos de cambio, inflación local en los costos de materiales y mano de obra, costos de transporte y tarifas.

Actualmente, estos factores sufren cambios rápidos. En 2008, muchos ejecutivos observaron que las largas cadenas de suministro, la falta de visibilidad, los problemas de calidad, los crecientes costos de transporte y los salarios en aumento en los países en desarrollo hacían que el abastecimiento de proveedores locales fuera más atractivo. La menor distancia de transporte incrementa aún más el atractivo de los proveedores locales desde una perspectiva medioambiental. Dado que es poco probable que una decisión de abastecimiento cambie rápidamente, es importante incluir tendencias y escenarios en el análisis de costos totales. La adopción de la perspectiva del CTP ha permitido a varias empresas tomar decisiones más acertadas. En algunos casos, centrarse en el precio de compra ha resultado en un aumento del costo total. (Chopra & Meindl, 2016)

Selección de proveedores: subastas y negociaciones

Antes de la selección de proveedores, es crucial que una organización determine si optará por un único proveedor o varios. El abastecimiento único puede asegurar al proveedor un volumen de negocio suficiente, especialmente cuando se requiere una inversión significativa y específica por parte del comprador, sin embargo, el abastecimiento

único aumenta la exposición al riesgo de concentración. (Chopra & Meindl, 2016) Ahora, para la selección de proveedores es recomendable utilizar un o más modelos matemáticos de optimización, lo cual permitirá encontrar la mejor solución científica, considerando limitaciones y objetivos específicos planteados por el comprador. Un modelo matemático es una representación matemática de una situación real que puede usarse para tomar mejores decisiones o simplemente para comprender mejor la situación real. Los componentes de un modelo de optimización incluyen: a) función (es) objetivo, b) variables de decisión y c) restricciones. En resumen, un modelo de optimización busca encontrar valores de las variables de decisión que optimizan (maximizan o minimizan) una función objetivo entre el conjunto de todos los valores de las variables de decisión que satisfacen las restricciones dadas. Los modelos de optimización son: a) modelos estáticos y dinámicos, es aquel en el que las variables de decisión no involucran secuencias de decisiones durante múltiples períodos, b) modelos lineales y no lineales. Supongamos que siempre que aparecen variables de decisión en la función objetivo y en las restricciones de un modelo de optimización, las variables de decisión siempre se multiplican por constantes y se suman. Tal modelo es un modelo lineal. Si un modelo de optimización no es lineal, entonces es un modelo no lineal, c) modelo enteros y no enteros. Si una o más variables de decisión deben ser enteras, entonces decimos que un modelo de optimización es un modelo entero. Si todas las variables de decisión pueden asumir valores fraccionarios, entonces el modelo de optimización es un modelo no entero, d) modelos deterministas y estocásticos. Supongamos que, para cualquier valor de las variables de decisión, se conoce con certeza el valor de la función objetivo y si se satisfacen o no las restricciones. Tenemos entonces un

modelo determinista. Si este no es el caso, entonces tenemos un modelo estocástico.

(Wayne L. Winston, 2004)

El uso de múltiples fuentes de suministro garantiza un cierto grado de competencia y también puede reducir el riesgo de concentración, al proporcionar una alternativa si una fuente falla. Un indicador útil para determinar si una empresa tiene el número correcto de proveedores es analizar el impacto de eliminar o agregar un proveedor. Si cada proveedor no desempeña un papel algo diferente, es probable que la base de suministro sea demasiado grande. En contraste, si agregar un proveedor con una capacidad única y valiosa no aumenta significativamente el costo total, la base de suministro puede ser demasiado pequeña. (Chopra & Meindl, 2016)

La selección de proveedores se hace mediante mecanismos, como ofertas competitivas, subastas inversas o negociaciones directas. Independientemente del mecanismo utilizado, la selección de proveedores debe basarse en el CTP de utilizar un proveedor, no solo en el precio de compra. Las subastas suelen ser más efectivas cuando el costo de adquisición cuantificable es el componente principal del costo total. Sin embargo, si los costos de propiedad o post-propiedad son significativos, las subastas pueden no ser el método más adecuado para seleccionar proveedores. En tales casos, las negociaciones directas a menudo conducen a resultados más favorables. A continuación, se presentan algunas consideraciones para diseñar subastas eficaces. (Chopra & Meindl, 2016)

Subastas en la cadena de suministro. En muchos entornos de cadenas de suministro, un comprador busca seleccionar un proveedor para que le provea en, la producción o el transporte. Los proveedores potenciales primero son calificados y luego se les permite ofertar sobre cuánto cobrarían por realizar la función. El proceso de calificación

es importante porque existen múltiples atributos de desempeño (como se describe en la tabla 2) que interesan al comprador. (Chopra & Meindl, 2016)

Es difícil organizar una subasta que tenga en cuenta múltiples atributos, de los cuales no todos pueden cuantificarse con precisión. Por lo tanto, el proceso de calificación se utiliza para identificar proveedores que cumplan con las expectativas de desempeño en los atributos no relacionados con el precio. Si el número de atributos importantes distintos del precio es grande, a menudo es mejor entablar negociaciones directas en lugar de recurrir a una subasta. (Chopra & Meindl, 2016)

Principios básicos de la negociación. Las organizaciones a menudo entran en negociaciones tanto para la selección de proveedores como para establecer los términos del contrato con un proveedor existente. Cuando el CTP consta de múltiples componentes además del costo de adquisición, las negociaciones suelen resultar en un resultado más favorable en comparación con el uso de subastas. (Chopra & Meindl, 2016)

El éxito de la negociación es probable solo si el valor que el comprador atribuye a la externalización de una función de la cadena de suministro a un proveedor es al menos tan grande como el valor que el proveedor atribuye al desempeño de la función para el comprador. El valor que un proveedor asigna al desempeño de una función está influenciado por su costo, así como por otras alternativas disponibles para su capacidad existente. De manera similar, el valor que el comprador asigna está influenciado por el costo de realizar la función internamente y el precio disponible de proveedores alternativos. La diferencia entre los valores del comprador y del vendedor se conoce como excedente de negociación. El objetivo de cada parte en la negociación es idealmente crear una situación en la que el excedente aumente, ampliando así el “pastel” que tienen para compartir. Este

enfoque de ganar-ganar puede conducir a relaciones comerciales más sólidas y duraderas. (Chopra & Meindl, 2016)

Compartir riesgos y recompensas en la cadena de suministro

Hasta ahora, se enfatiza que todas las decisiones de abastecimiento deben tomarse para aumentar el excedente de la cadena de suministro. En la práctica, sin embargo, a muchas empresas les importa menos aumentar el excedente y más qué proporción pueden captar. A medida que las empresas ganan mayor poder en una cadena de suministro, a menudo intentan capturar una mayor proporción del excedente y, al mismo tiempo, imponen más riesgos a sus socios de la cadena de suministro. Se sugiere algunos enfoques que pueden usarse para contrarrestar las desventajas de la optimización local. (Chopra & Meindl, 2016)

Ahora se centra en identificar posibles soluciones que permitan compartir el riesgo de una manera que aumente las ganancias de la cadena de suministro. Para mejorar las ganancias generales, el proveedor debe compartir el riesgo de una manera que anime al comprador a comprar más y aumentar el nivel de disponibilidad del producto. Esto requiere que el proveedor comparta parte de la incertidumbre de la demanda del comprador. Los siguientes tres enfoques para compartir riesgos aumentan las ganancias generales de la cadena de suministro (Chopra & Meindl, 2016): a) Riesgo compartido a través de recompras: Una cláusula de recompra o devolución permite a un minorista devolver el inventario no vendido hasta una cantidad específica, a un precio acordado. En este caso, el proveedor comparte el riesgo al aceptar recomprar el inventario no vendido al minorista. b) Reparto de riesgos mediante el reparto de ingresos: En los contratos de reparto de ingresos, el fabricante cobra al minorista un precio mayorista c más bajo (en comparación con el caso

sin reparto de riesgos), pero comparte una fracción f de los ingresos del minorista. En este caso, el fabricante comparte el riesgo porque el costo del minorista es menor (que sin el riesgo compartido) si la demanda es baja. Incluso si no se permiten devoluciones, el precio mayorista más bajo reduce el costo para el minorista en caso de exceso de existencias. De este modo, el minorista aumenta el nivel de disponibilidad del producto, lo que se traduce en mayores beneficios tanto para el fabricante como para el minorista cuando el reparto de ingresos se diseña adecuadamente. c) Riesgo compartido mediante la flexibilidad cuantitativa: Según los contratos de flexibilidad cuantitativa, el fabricante permite al minorista cambiar la cantidad pedida (dentro de límites) después de observar la demanda. El riesgo compartido mediante la flexibilidad cuantitativa podría ayudar al comprador a minimizar el riesgo de concentración, tras tomar decisión informadas previo a la utilización de modelos de optimización.

Diseño de una cartera de abastecimiento: abastecimiento a medida

Al estructurar una cartera de proveedores, las empresas tienen muchas opciones con respecto a quién y dónde abastecerse, lo cual ayuda a mitigar el riesgo de concentración. Con respecto al “quién”, una empresa debe decidir si producir internamente o comprar a un tercero o con varios terceros para mitigar el riesgo de concentración. La empresa también debe decidir si la fuente de suministro será rentable o receptiva. Con respecto al “dónde”, una empresa puede elegir entre deslocalización o no. La deslocalización se refiere a producir el producto en el mercado donde se vende, incluso cuando se trata de una ubicación de alto costo. El nearshoring se refiere a producir el producto en una ubicación de menor costo cerca del mercado. Para el mercado estadounidense, por ejemplo, producir en México es un proceso de nearshoring. (Chopra & Meindl, 2016)

La mayoría de las empresas necesitan adaptar su cartera de proveedores en función de una variedad de características de productos y mercados, buscando así, reducir los riesgos de concentración de proveedores. La Tabla 3 identifica factores que favorecen la selección de una fuente de bajo costo. Como ocurre con Zara, una cartera personalizada consiste en una combinación de proveedores receptivos, de bajo costo y que se contemple el riesgo de concentración. Para utilizar eficazmente una cartera personalizada, la demanda debe distribuirse entre los proveedores de manera coherente con sus capacidades y teniendo presente el riesgo de concentración. A los proveedores de bajo costo se les deben dar pedidos grandes y constantes de productos maduros y de bajo valor que no requieran un apoyo significativo de ingeniería o diseño. Los proveedores receptivos deberían ser responsables de productos volátiles y de alto valor que suelen estar en las primeras etapas de su ciclo de vida y necesitan un importante apoyo de ingeniería/diseño. (Chopra & Meindl, 2016)

Tabla 3

Factores que favorecen la selección de una fuente de bajo costo

Ciclo de vida del producto	Fase temprana	Fase madura
Volatilidad de la demanda	Alto	Bajo
Volumen de demanda	Bajo	Alto
Valor del producto	Alto	Bajo
Tasa de obsolescencia del producto	Alto	Bajo
Calidad deseada	Alto	Bajo a medio
Soporte de ingeniería/diseño	Alto	Bajo

Nota: Datos tomados de Chopra & Meindl, 2016.

En general, las fuentes de respuesta tenderán a estar ubicadas en tierra o cerca de la costa para facilitar una respuesta rápida. Las fuentes de bajo costo podrían ubicarse en cualquier lugar, pero el bajo costo es a menudo la razón principal para recurrir al mar o a zonas cercanas a la costa. En la Tabla 4, identificamos algunos factores que influyen en la decisión de ubicación del abastecimiento. (Chopra & Meindl, 2016)

Tabla 4

Factores que favorecen la deslocalización

Factores	Costa adentro	Cerca de la costa	Costa a fuera
Tasa de innovación/variedad de productos	Alto	Medio a alto	Bajo
Volatilidad de la demanda	Alto	Medio a alto	Bajo
Contenido laboral	Bajo	Medio a alto	Alto
Relación volumen	Alto	Alto	Bajo
Impacto de la interrupción de la cadena de suministro	Alto	Medio a alto	Bajo
Costos de inventario	Alto	Medio a alto	Bajo
Soporte de ingeniería/gestión	Alto	Alto	Bajo

Nota: Datos tomados de Chopra & Meindl, 2016.

Conforme se incrementan los costos de transporte, las alternativas de abastecimiento terrestre y local ganan atractivo en comparación con la deslocalización. Resulta esencial que las empresas diseñen una estrategia de abastecimiento a medida, en la que las particularidades del producto y del mercado se alineen con la capacidad de respuesta y la ubicación geográfica de la fuente de suministro. Esta alineación estratégica puede optimizar la eficiencia de la cadena de suministro y minimizar los costos asociados sin perder de vista el riesgo de concentración. (Chopra & Meindl, 2016)

China y otras partes de Asia fueron fuentes populares de deslocalización durante las dos décadas entre 1990 y 2010. Sin embargo, algunas tendencias actualmente vigentes están haciendo que los gerentes estadounidenses reconsideren sus opciones de deslocalización. Uno es el cambio en los salarios chinos y el fortalecimiento del yuan, los cuales disminuyen la ventaja de los costos laborales de China, especialmente en comparación con ubicaciones cercanas a la costa como México.

El otro es el aumento de los precios del petróleo y de los costos de transporte, que actúa como barrera arancelaria y hace que la deslocalización sea algo menos atractiva. Finalmente, el aumento de la volatilidad y la necesidad de mitigar el riesgo también han alentado a los diseñadores de cadenas de suministro a incluir una fuente interna o cercana a la costa para complementar una fuente externa de bajo costo. (Chopra & Meindl, 2016)

Punto clave: Las empresas deben considerar una estrategia de abastecimiento personalizada que combine fuentes terrestres o cercanas con capacidad de respuesta con fuentes costa afuera de bajo costo, lo anterior, teniendo presente el riesgo de concentración. Las fuentes internas con capacidad de respuesta deberían centrarse en productos de alto valor con una alta volatilidad de la demanda, mientras que las fuentes extraterritoriales de bajo costo deberían centrarse en productos de menor valor y alto volumen con alto contenido de mano de obra. (Chopra & Meindl, 2016)

4. Marco metodológico

Las dos técnicas utilizadas para la investigación en este proyecto son el estudio de caso y el proceso de construcción de modelos matemáticos en siete pasos. A continuación, se describe cada técnica;

Estudio de caso:

El estudio de casos es uno de los métodos más apropiados para aprender la realidad de una situación, en los que se requiere explicar relaciones causales complejas, realizar descripciones de perfil detallado, generar teorías o aceptar posturas teóricas exploratorias o explicativas, analizar procesos de cambio longitudinales y estudiar un fenómeno que sea, esencialmente, ambiguo, complejo e incierto. (Jiménez Chaves, 2012)

Yin (1989), uno de los más renombrados investigadores, manifestó sobre el estudio de casos en la metodología de investigación como “una investigación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo en su contexto real, donde los límites entre el fenómeno y el contexto no se muestran de forma precisa, y en él, que múltiples fuentes de evidencia son utilizadas”. Siguiendo al mismo autor, el estudio de caso permite analizar el fenómeno objeto de estudio en su contexto real, utilizando múltiples fuentes de evidencia, cuantitativas y/o cualitativas simultáneamente. (Jiménez Chaves, 2012)

Para mayor claridad acerca de qué es un estudio de caso, se relaciona el procedimiento metodológico: (Ramón & Ramírez, 2019)

Paso uno: diseño del estudio de caso. Contiene; contexto del tema, formulación del problema y justificativa.

Paso dos: recopilación de información. Establecer el estado del arte y sobre esta base se define los conceptos básicos sobre los que erige la investigación.

Paso tres: análisis de información. El procesamiento y análisis de la información obtenida debe poner al investigador en posición de elaborar conclusiones y recomendaciones sobre el problema que se estudia. Lo cual se evidencia en el numeral de “Conclusiones y recomendaciones” de esta investigación.

Paso cuatro: redacción del informe. Al proyectarse un trabajo investigativo así, es imprescindible no perder de vista que dicho trabajo constituye una generalización y aplicación de contenidos vinculados a una temática, curso, o carrera determinada, dirigidos a solucionar un problema particular de la práctica profesional pedagógica en un centro docente, empleando herramientas científicas.

La intención al estudiar el caso como metodología es investigar información mediante la revisión de documentos técnicos que permitan analizar el entorno del abastecimiento de GLP en Colombia y su impacto en el modelo de abastecimiento de una compañía cuya actividad principal es la distribución y comercialización de GLP en el país.

El proceso de construcción de modelos matemáticos de investigación operativa:

El siguiente procedimiento es una guía metodológica para la “construcción de modelos matemáticos en siete pasos”, esto ayuda en parte a resolver el problema de CDCGLP en el abastecimiento: (Wayne L. Winston, 2004.)

Paso uno: formule el problema. El investigador de operaciones primero define el problema de la organización. Definir el problema incluye especificar los objetivos de la organización y las partes de la organización que deben estudiarse antes de que se pueda resolver el problema.

Paso dos: observar el sistema. A continuación, el investigador de operaciones recopila datos para estimar el valor de los parámetros que afectan el problema de la

organización. Estas estimaciones se utilizan para desarrollar (en el paso tres) y evaluar (en el paso cuatro) un modelo matemático del problema de la organización.

Paso tres: formular un modelo matemático del problema. En este paso, el investigador de operaciones desarrolla un modelo matemático del problema.

Paso cuatro: verificar el modelo y utilizarlo para la predicción. El investigador de operaciones ahora intenta determinar si el modelo matemático desarrollado en el paso tres es una representación precisa de la realidad. Por ejemplo, para validar el modelo, se podría verificar y ver si (1) representa con precisión el rendimiento de los valores de las variables de decisión que no se usaron para estimar (1). Incluso si un modelo es válido para la situación actual, debe aplicarlo con cautela. Por ejemplo, si el gobierno impusiera nuevas restricciones en el mercado que afecten a la organización, entonces se tendría que agregar nuevas restricciones al modelo, y el rendimiento del proceso [y la ecuación (1)] podría cambiar.

Paso cinco: seleccionar una alternativa viable. Dado un modelo y un conjunto de alternativas, el investigador de operaciones ahora elige la alternativa que mejor cumple con los objetivos de la organización. (¡Puede haber más de uno!)

Paso seis: presentar los resultados y la conclusión del estudio a la organización. En este paso el investigador de operaciones presenta el modelo y la recomendación del paso cinco al individuo o grupo que toma las decisiones. En algunas situaciones, se podrían presentar varias alternativas y dejar que la organización elija la que mejor satisfaga sus necesidades. Después de presentar los resultados del estudio de investigación de operaciones, el analista puede encontrar que la organización no aprueba la recomendación. Esto puede resultar de una definición incorrecta de los problemas de la organización o de

no involucrar a quien toma las decisiones desde el inicio del proyecto. En este caso, el investigador de operaciones debería volver al paso uno, dos, o tres. Este paso está limitado en el alcance debido a desvinculación del analista de la compañía CDCGLP.

Paso siete: implementar y evaluar las recomendaciones. Si la organización ha aceptado el estudio, entonces el analista ayuda a implementar las recomendaciones. El sistema debe ser monitoreado constantemente (y actualizado dinámicamente a medida que cambia el entorno) para garantizar que las recomendaciones permitan a la organización cumplir sus objetivos. Este paso está limitado en el alcance debido a desvinculación del analista de la compañía CDCGLP.

5. Resultado y análisis

Caracterización del abastecimiento de GLP desde su cadena de valor (observar el sistema)

Principales jugadores locales e internacionales. La Figura 1, que se despliega a continuación, busca ofrecer una visión sintetizada y precisa de los actores fundamentales involucrados en el suministro local e internacional para el mercado colombiano, y para CDCGLP.

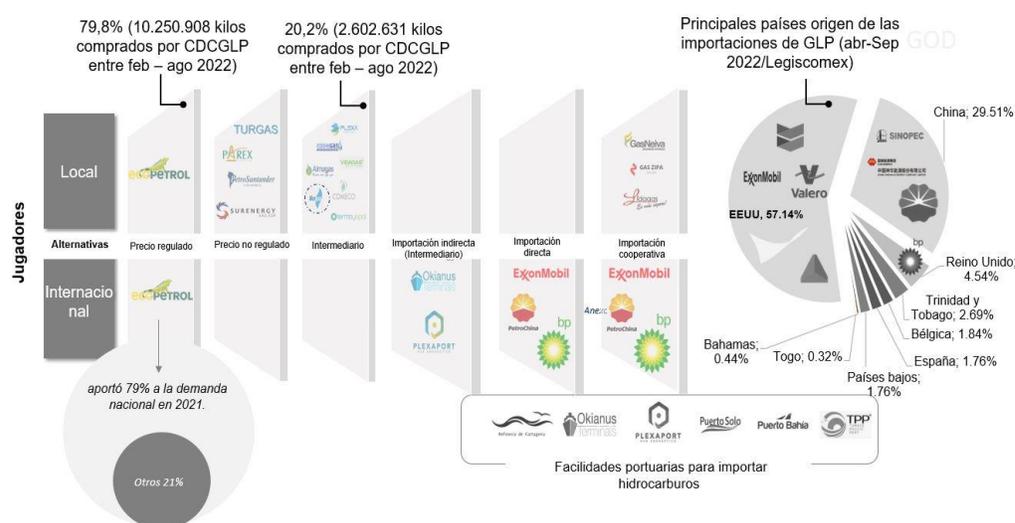


Figura 1. Entendimiento abastecimiento local e internacional de GLP – Tomado de Legis Comex y entendimiento proceso de CDCGLP

Acerca del GLP. El GLP es una mezcla de hidrocarburos extraídos del procesamiento del gas natural o del petróleo, gaseosos en condiciones atmosféricas, que se licúan fácilmente por enfriamiento o compresión, principalmente constituido por propano y butano. (República de Colombia, 2021). Su calidad corresponde con las especificaciones y estándares adoptados por la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, en su

Resolución CREG-023/08, Art. 1; Res CREG-045/08, Art. 1 y Resolución CREG-098/08, Art. 2.

“En Colombia, el GLP tiene dos orígenes: el 51% proviene de la refinación del petróleo y el 49% del procesamiento de gas natural.” (WLP, 2015)

Respecto a la producción en la cadena valor, históricamente Ecopetrol ha sido la principal fuente de oferta nacional de GLP. La cadena de valor del GLP se muestra en la figura 2-Cadena expuesta por MinMinas. En 2021 y en lo que llevamos de 2023 aporta en promedio el 86% de la demanda nacional, el porcentaje restante lo han cubierto otros campos nacionales e importaciones, que se proyectan cada vez con mayor participación en el balance oferta y demanda. (GASNOVA, 2023).



Figura 2. Cadena de valor del GLP – MinMinas, historia del GLP, Minenergía.gov.co

Como parte del entendimiento y la realidad del proceso caracterizado, es importante agregar en la descripción de la cadena de valor, la etapa de “planificación de la demanda”, la cual iría antes de la etapa “producción” de GLP. Lo anterior, para tener una claridad mayor relacionada al proceso de abastecimiento de GLP.

Desde los 60 y frente a un escenario de oferta deficitaria y de monopolio en el suministro, así como un surgimiento de empresas distribuidoras de GLP, MinMinas reguló la actividad distribución mediante el sistema de cupos, por el que se asignaba a cada distribuidor un volumen mensual y una zona exclusiva para su distribución, conocida como OPC. (Minenergía, 2023)

La comercialización en el mercado mayorista del GLP está regulada por la Resolución CREG 053 de 2011, por la que Ecopetrol ostenta la calidad de comercializador mayorista de GLP y se encarga de realizar la OPC de GLP, en desarrollo de una actividad complementaria de comercialización de gas combustibles según lo establecido en la Ley 142 de 1994. La venta del GLP en fuentes de Ecopetrol tiene un precio regulado de acuerdo con las disposiciones contenidas en la Resolución CREG 066 de 2007 sus modificaciones.

Las cantidades de GLP que comercializa Ecopetrol son las declaradas a la CREG semestralmente, como parte del proceso de OPC. Adicionalmente y de manera indicativa, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 40694 de 2016 “Por la cual se establece el procedimiento para realizar la declaración de producción de GLP, modificada por la Resolución 41248 de 2018, Ecopetrol declara al MinMinas, las cantidades de GLP por un horizonte de 5 años. El MinMinas publica periódicamente las declaraciones de producción de los productores de GLP. El MinMinas emitió los reglamentos técnicos operativos, el más reciente entró en vigor el 31 de diciembre de 2017 y se detalla en las Resoluciones 40246, 40247 y 40248 todas del 2016. (Ecopetrol, 2021)

Acerca de la caracterización del proceso de abastecimiento de GLP en Colombia, se entiende que hay cinco actividades que componen la cadena de valor del GLP, los cuales

son; Planificación, Producción, Transporte, Distribución y Comercialización. Esto lo vemos reflejado en parte y de forma general en la siguiente imagen: (Minenergía, 2023)

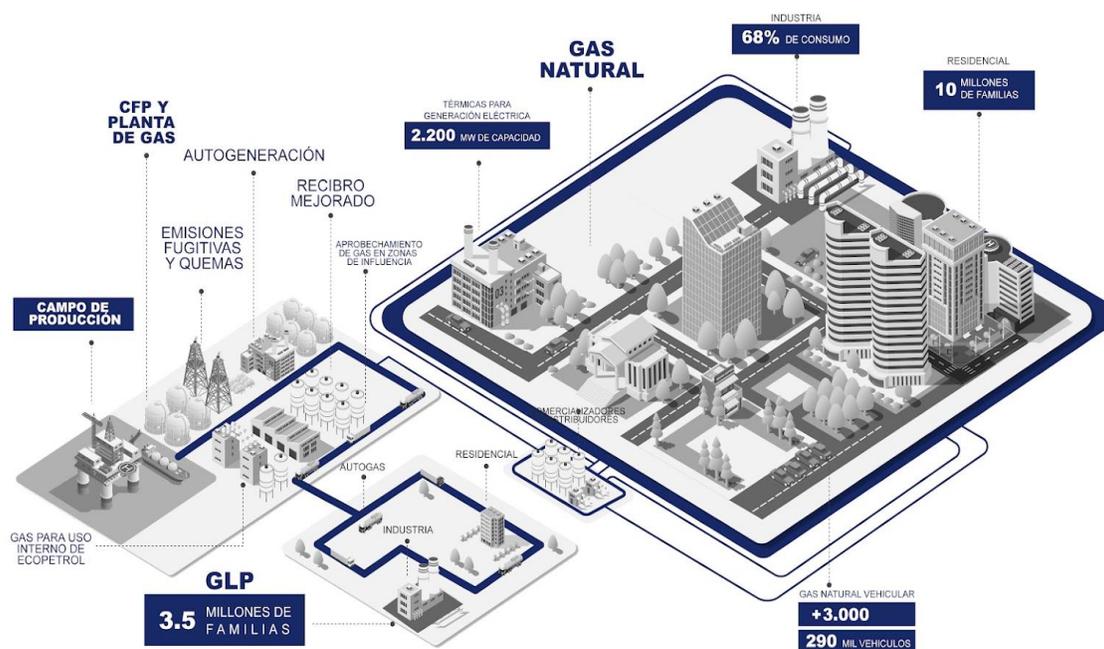


Figura 3. Así mueven el GAS y el GLP a Colombia. Datos tomados de presentación Ecopetrol (2023)

En línea con la anterior imagen y para dar mayor contexto se describe el detalle del proceso de abastecimiento de GLP:

Planificación de la demanda. las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP proyectan las cantidades y las solicitan al productor regulado y/o al productor no regulado:

Productor regulado. Productor Regulado o Ecopetrol (Fuente Nacional Regulada o importaciones reguladas) cuyas principales características son; el precio se da a través de fórmula tarifaria para el GLP y la venta se hace a través de la OPC.

Productor no regulado. Productor no Regulado o Productor distinto a Ecopetrol (Fuente Nacional no regulada o importaciones no reguladas) cuyas principales características es; el precio se da a través del valor en la Fuente de producción más unos pesos por cada KG. Por ejemplo: Precio= Reficar que es la fuente de producción, más \$750 pesos/KG o en otras palabras el precio se fija libremente y la venta se hace a través de subasta.

Para saber la cantidad a solicitar, ya sea al productor regulado y/o al productor no regulado, las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP deben hacer la proyección contemplando las siguientes tres variables:

Primero, la capacidad de compra publicada por la CREG que es habilitada por una formular. (CREG, 2021) La fórmula figura en la tabla 5. Según la resolución número 503 004 del 30 de enero de 2024 expedida por la CREG, se entiende por capacidad de compra la cantidad total de GLP, medida kilogramos, que puede comprar un distribuidor en el mercado mayorista, durante lo que resta del período de compra.

Tabla 5

Fórmula de la capacidad de compra de los comercializadores mayoristas de GLP

$$CD_{i,t,m} = CC_{i,t} - Q_{i,t,m} - \max \{QT_{i,t-1} - CC_{i,t-1}, 0\}$$

Explicación fórmula: $CD_{i,t,m}$ es capacidad disponible de compra del distribuidor i , para el periodo de compra t , calculada para el mes m , medida en KG; $CC_{i,t}$ es capacidad de compra del distribuidor i , para el periodo de compra t , medida en KG; $Q_{i,t,m}$ es cantidad de producto que recibe el distribuido i , medida en KG durante el periodo de compra t , calculada en el mes m , a partir de los contratos de suministro, reportado al SUI, que tenga alguna entrega durante el periodo t ; $QT_{i,t-1}$ es cantidad total de producto que recibe el distribuidor i , medida en KG, durante el periodo de compra $t-1$, calculada a partir de los contratos de suministro, reportados al SUI, que tengan alguna entrega durante el periodo $t-1$; m . es mes de cálculo de la capacidad disponible de compra; t . corresponde al periodo de compra siguiente a la fecha del cálculo del $CC_{i,t}$.

Nota: Datos tomados de la resolución CREG 063 de 2016 y Resolución CREG 180 de 2017

Segundo, el promedio de ventas de los tres meses anteriores a la publicación de la OPC. (CREG, 2017) Según la CREG, las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP deben reportar al Sistema Único de Información - SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD las ventas de la compañía mediante puntos de ventas, tanques fijos y cantidad vendidas por el comercializador minorista. Tercero, el análisis de mercado del sector del GLP. Este análisis es un estudio propio de cada compañía colombiana de distribución y comercialización de GLP, el cual debería contener lo siguiente: Comportamiento de los precios del suministro que se ven impactados en gran parte por la variación en el precio del dólar y precios internacionales altos, puesto que en Colombia, la regulación tarifaria establecida por la CREG para el cálculo del precio de GLP tiene indexada el precio de referencia del Mont Belvieu de Estados Unidos y la Tasa Representativa del Mercado (TRM). El Mont Belvieu es un indicador de la evolución del costo internacional del GLP puesto en su fuente de origen. (Morales et al., 2023) Es pertinente resaltar que a 2022, el 86% de la demanda de GLP es cubierta con oferta nacional de Ecopetrol, cuyo precio está amarrado a los precios internacionales del propano y butano Mont Belvieu.(GASNOVA, 2023)

Producción. En el presente contexto, se examina la dinámica del proceso de producción a nivel local (Colombia) y las compras a nivel internacional (importaciones). Además, se aborda un proceso de producción técnico que opera tanto a nivel local como internacional. Este proceso se segmenta en tres etapas fundamentales: Downstream, Upstream y Midstream, las cuales están interconectadas entre sí.

Local (Colombia). *Actores.* La producción de GLP en Colombia es de pocos agentes, donde el mayor agente productor (Ecopetrol), no tiene como objetivo la

producción del GLP, por ser un combustible producido como un subproducto de la producción de otros combustibles en el proceso de refinación o como un subproducto en la producción del gas natural. Es importante mencionar que el principal productor del país (Ecopetrol) es un usuario del GLP, puesto que emplea GLP para diluir el crudo, en particular los volúmenes producidos en el Campo de Apiay. Igualmente puede requerir el GLP para el proceso de refinado. (Ramírez et al., 2018)

En relación con los actores de la producción se cuenta con un total de siete agentes: REFINERÍA DE CARTAGENA Y BARRANCABERMEJA (FILIALES DE ECOPEPETROL), PAREX RESOURCES, TERMOYOPAL (TYGAS), PETROLEUM BLENDING INTERNATIONAL, TURGAS, PETROSANTANDER GMBH. (CREG, 2023) El promedio potencial de producción de GLP figura en la tabla 6:

Tabla 6

Promedio mensual de producción de GLP – Por fuente enero – julio 2023

Fuente	Punto de entrega	Propietario	Metodología fijación precio	Producción GLP (Potencial, ton/mes)
Refinería	Cartagena	Ecopetrol	Regulado	9.017,33
Refinería	Bucaramanga	Ecopetrol	Regulado	12.744,46
Campos	Cusiana/Cupiagua	Ecopetrol	Regulado	41.791,36
Campos	Dina	Ecopetrol	Regulado	443,39
Campos	Capachos	Ecopetrol-Parex	Libre	1.206,06
Campos	Toqui-Toqui	Turgas	Libre	146,12
Proceso secado de GN	Tygas	Tygas	Libre	4.865,82

Nota: Datos tomados de MinMinas. Declaración de producción 2023-2027. – Minenergi.gov (2023)

OPC. El GLP producido por Ecopetrol se comercializa exclusivamente a través de la participación de la OPC. La venta de GLP proveniente de Ecopetrol está sujeta a un

precio regulado, conforme a las estipulaciones de la Resolución CREG 066 de 2007 y sus modificaciones. En otras palabras, la comercialización de GLP en el mercado mayorista está regulada por la Resolución CREG 053 de 2011. Según esta resolución, Ecopetrol distingue ser un comercializador mayorista de GLP y realiza la OPC como actividad complementaria a la comercialización de combustibles gaseosos, según la Ley 142 de 1994. La OPC se realiza siguiendo las reglas y procedimientos establecidos en la Resolución CREG 053 de 2011, entre otros. (Ecopetrol, 2021)

Las empresas participantes u oferentes deben ser agentes de la cadena de comercialización de GLP (Comercializador Mayorista, Distribuidor Mayorista). Las cantidades de GLP que comercializa Ecopetrol son las declaradas a la CREG semestralmente, como parte del proceso de OPC y su importancia radica en que permiten conocer previamente la declaración de producción, o sea, del 90 % del volumen total nacional que se ofertará en 6 meses. Así, puede decirse que la OPC refleja la calidad del mercado respecto a la oferta. (CREG, 2023)

La OPC inicia desde los 60, en un escenario de oferta insuficiente y de monopolio en el suministro, así como un surgimiento de empresas distribuidoras de GLP, MinMinas reguló la actividad distribución mediante el sistema de cupos (OPC), por el que se asignaba a cada distribuidor un volumen mensual y una zona exclusiva para su distribución. (Minenergía, 2023) El procedimiento para la asignación del producto luego de la oferta es el siguiente: a) Se publican las cantidades disponibles por fuente. b) Se consulta el promedio de ventas de los últimos tres meses de cada agente que lo ha reportado en SUI. c) Los interesados envían las solicitudes de GLP por fuente, teniendo en cuenta su zona de influencia (ZI) y su Capacidad de Compra (CC). d) Se consulta la CC definida en circular

CREG para cada cliente. e) Ecopetrol calcula la capacidad Disponible de Compra (CD), (teniendo en cuenta, entre otros, la Capacidad Contratada con Terceros). f) Se compara la solicitud de compra de GLP frente a la CD y toma el mínimo valor entre los dos. g) Se calcula la Oferta de Compra Ajustada (OCA), de tal forma que la suma de las Ofertas de Compra sea igual a la CD. h) Se compara la sumatoria de las ofertas finales de compra por fuente frente al producto disponible. i) Se realiza la asignación con base en la distribución de ZI definidas por la CREG. Luego de todo este procedimiento se lleva a cabo la suscripción de los contratos entre Ecopetrol y los comercializadores mayoristas y, a su vez, entre estos y los demás agentes. (CREG, 2023)

Importaciones de GLP. Actores. Los importadores de GLP, propano y butano en Colombia son: Ecopetrol, Plexa S.A. ESP y las empresas comercializadoras mayoristas de GLP que conforman el Consorcio G5, esto es Norgas S.A. ESP, Gasco (Inversiones GLP S.A. ESP), Chilco S.A.S ESP, Montagas S.A. ESP y Rayogas S.A. E.S.P. (Almagas S.A. ESP). Cada una de las empresas consorciadas realiza el proceso de importación de manera independiente y directa, incluso sin comunicar sus procesos de compra a los otros consorciados. Para uno y otro la importación implica la interacción de diversos agentes como son: a) El concesionario portuario: es la empresa que dispone de una concesión portuaria. b) El operador portuario: desarrolla las actividades operativas en el puerto, como por ejemplo el cargue y descargue. c) El “Trader”: es un agente facilitador que conoce los procesos de importación, igualmente se encarga de identificar a los agentes vendedores del GLP en el mercado internacional. d) La naviera que realiza el transporte: es la empresa que transporta el GLP desde el origen hasta el puerto colombiano. e) La empresa de Servicio Público Domiciliaria compradora del GLP, que adquiere el GLP para su comercialización

directa o presta el servicio de importación a terceros. Ante la Dian es el importador.

(CREG, 2023)

A continuación, se presenta información relevante para la caracterización relacionada con las importaciones. Antes de continuar, es importante recordar que, el producto importado se compra en el mercado internacional según la necesidad de este para la atención de la demanda doméstica (CREG, 2023): a) En el contexto de la importación, compañías como Ecopetrol, Plexa, Consorcio G5, Puerto Solo, Puerto Bahía y Tumaco Pacific Port poseen facilidades de importación independientes. Así mismo, los operadores portuarios mantienen su independencia entre ellos. Según los importadores, estas infraestructuras están disponibles para cualquier parte interesada en el proceso de importación. Establecen un precio por el uso de estas facilidades, que se gestiona a través del operador portuario. Las infraestructuras de importación fueron construidas con recursos privados. Las inversiones fueron motivadas por la información de ECOPETROL de reducir la producción nacional, sacando a Apiay del mercado, aumentando la codilusión con GLP para mejorar otros productos y el declive de los campos Cusiana y Cupiagua. b) Las importaciones dependen del déficit de producción nacional que varía para cada año según la información reportada en la declaración de producción vs la producción informada en cada periodo de comercialización mayorista, esto es la venta de ECOPETROL en el marco de las OPC, de TYGAS que comercializa sus cantidades antes de la OPC y PAREX que la realiza una vez al año. c) La declaración de producción de GLP proporciona información valiosa, aunque no definitiva, ya que se actualiza anualmente y las cantidades ofrecidas por los proveedores varían antes de iniciar sus procesos de comercialización. Además, se examina la declaración de producción de gas natural para evaluar el comportamiento del

GLP. Esto conlleva la dificultad de establecer contratos internacionales a largo plazo a precios más eficientes. Aunque se puede determinar el suministro internacional del producto en términos generales, la disponibilidad inmediata en el país cuando se necesita no está garantizada. Esto resulta en costos de flete más elevados. Se estima que un 8% del producto importado es necesario para satisfacer el 100% de la demanda nacional.

Cantidad. Los actores toman como referencia de información la declaración de producción principalmente la parte de producción de fuentes nacionales y no la de importadores. Esta información base se utiliza para establecer la necesidad de producto en los diferentes meses durante la OPC. Un elemento determinante para activar el proceso de importación es que se presente un déficit en el abastecimiento de GLP durante la OPC. Desde el punto de vista técnico se debe tener en cuenta las limitaciones por la cantidad mínima que puede traer un buque y que justifique el pago de los diferentes costos. Las cantidades mínimas pueden ser de 20.000 kg. Con esta información determinan una cantidad para importación. Con el resultado de este análisis se inician los contactos y negociaciones con los vendedores del mercado internacional. Todos utilizan un intermediario que realiza las gestiones comerciales a partir de las cantidades y periodos informados por el importador. El tercero intermediario comúnmente llamado “Trader” es un mandatario con funciones de negociación y aduaneras. El “Trader” consulta ofertas según cantidades, precio, flete, periodos de entrega, con los diferentes vendedores. Por lo general comparan tres ofertas. Las acciones aduaneras son ejercidas por el mismo “Trader”. Los agentes consorciados en el G5 utilizan el mismo “Trader”. Plexa tiene varios “Traders”. El plazo mínimo para programar la compra es de 30 días antes de recibirlo o necesitarlo. Entre más cerca al plazo más caro es el flete. (CREG, 2023)

Calidad. La calidad obedece a un alto estándar HD5. El producto importado tiene menos olefinas, por eso se considera la presión con la que viene el producto, porque a mayor presión se consume con más rapidez. La calidad dependerá de la especificación solicitada por el importador. El proceso de seguimiento de la calidad se lleva a cabo en dos momentos: Al momento del cargue en el buque o barco contenido en el “BL”- “Bill of Landing” y antes del descargue del buque o barco en el puerto colombiano. El “Trader” envía al barco un auditor quien verifica cantidad y calidad. (CREG, 2023)

Precios. Los importadores utilizan plataformas de información de precio diferentes. No coinciden en la misma (OPIX, PLATTS, MONTBELVIUE). La más utilizada es Mont Belvieu (Texas). El precio del producto es fijado por los vendedores. A este precio debe incluirse el costo logístico del transporte marítimo, los costos de nacionalización y en caso extremo el costo de esperar en puerto para poder hacer la entrega. Además, deben considerarse los costos del operador portuario, incluyendo la remuneración del concesionario portuario y sus propios costos, por la gestión de descarga y trasiego y el uso de la infraestructura. La Superintendencia portuaria regula los precios en las áreas concesionadas, ya que el combustible pasa a las zonas francas o en las privadas. Los precios de las actividades, como el trasiego, lo determinan los acuerdos entre las partes. Ante la baja cantidad y poca continuidad en la importación los vendedores no pueden mantener un precio a largo plazo por lo que se negocia por cada proceso de importación. Por eso, no se celebran contratos en firme a largo plazo, sino que se compra en el mercado Spot. Entiéndase mercado Spot, lo disponible en el mercado y barcos que están en tránsito. Pero en algunas ocasiones proviene directamente del puerto exportador. Los costos de nacionalización del producto son pagados por cada importador a través del "Trader" que

ejecuta todas las gestiones necesarias para disponer del producto en el puerto cuando se necesite. El precio se fija en dólares por kilo suministrado en puerto colombiano. El precio se calcula de dos formas: el promedio de los precios de los últimos tres días anteriores a la entrega del producto en puerto colombiano o el resultado del promedio de cinco días tomando el precio de los dos días antes del zarpe del puerto de origen y dos días después del zarpe del puerto de origen. En todo caso el “Trader” tiene una capacidad de negociación a nombre del importador. La forma de pago por lo general es anticipada, en muy pocas veces permiten pagos posteriores y es máximo a los cinco días de la entrega. El producto debe pagarse antes de que el buque zarpe del puerto. Esto contraviene la recuperación de estos costos, ya que los consumidores del producto importado suelen tener condiciones de pago preferenciales y pagan a los 30,60, 90 y hasta 120 días. En los primeros suministros se exige la constitución de garantías bancarias a favor del vendedor. Como el pago se pacta en su mayoría anticipado ya no exigen garantías. El precio de venta del producto importado en el mercado nacional remunera los siguientes costos: precio de suministro, flete, margen del importador (en este margen se incluyen los costos del uso del puerto). (CREG, 2023)

Dimensión Geográfica. La principal fuente de adquisición es Houston, USA y ocasionalmente de las islas del Caribe como Trinidad y Tobago. El área geográfica de la importación la determina, por una parte, la ubicación de los puertos. Por otra los costos de los fletes terrestres, los cuales determinan hasta donde resulta económicamente razonable realizar una importación. En resumen, son los costos los que determinan si es viable o no importar el GLP. (CREG, 2023)

Uso. El GLP importado no tiene un uso diferente al GLP producido en refinería de Cartagena dada su alta calidad, permitiendo su uso en todos los sectores. No obstante, el

GLP importado suele ser mezclado con el GLP de producción nacional, cumpliendo los requerimientos de la NTC 2303 de 2007. (CREG, 2023)

Proceso de producción técnico. Upstream. Esta contiene las siguientes subetapas:

a) Identificación de oportunidades: Antes de iniciar la exploración es necesario obtener un permiso conocido como dominio minero, tras el que se realizan mediciones para identificar y evaluar las oportunidades. b) Exploración: Exploración es la búsqueda de yacimientos de petróleo crudo y gas natural, tanto subterráneos como submarinos. c) Desarrolla y produce: En la etapa de perforación y extracción, primero se hace la perforación de pozos exploratorio y posteriormente la perforación y explotación de los pozos que sacan el petróleo crudo o el gas natural hasta la superficie. (Repsol, 2024)

Midstream. El sector de Midstream incluye el transporte por cualquier medio y el almacenaje de los combustibles fósiles extraídos en la fase Upstream. Midstream incluye toda la infraestructura necesaria para mover estos recursos, como oleoductos, camiones, ferrocarriles y barcos. El sector de Midstream se encarga de unir la fase Upstream con la Downstream. (GPA, 2024)

Downstream. El segmento Downstream refina, procesa y purifica petróleo crudo y gas natural y distribuye energía a los consumidores y usuarios finales a través de productos como gasolina, queroseno, combustible para aviones, combustible para calefacción, lubricantes, gas natural licuado y cientos de petroquímicos. (GPA, 2024) El GLP es una mezcla de gases, se obtiene a partir del proceso de refinación del petróleo crudo y también de procesos de separación del gas natural. A continuación, se describe los dos procesos:

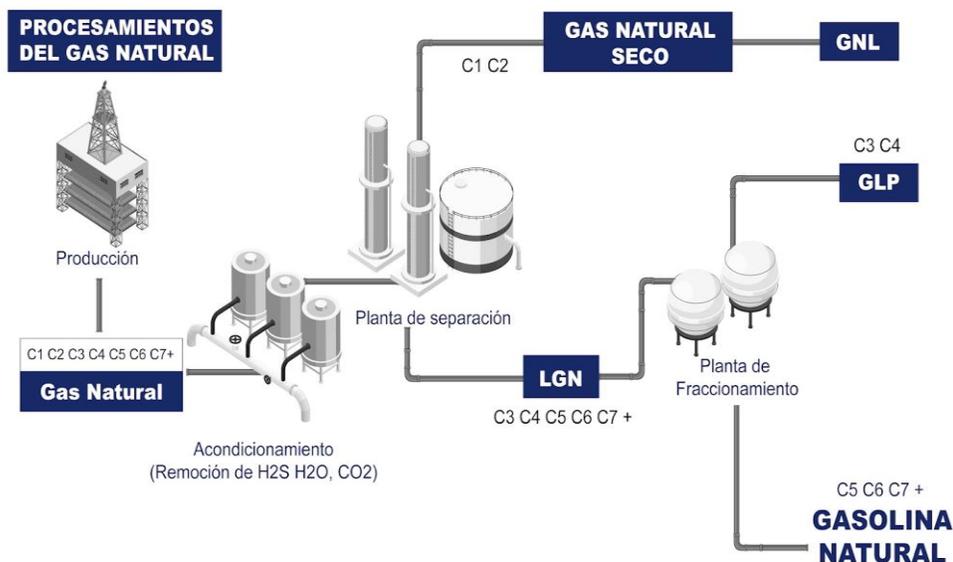
Refinación: La refinación del petróleo empieza con un tratamiento del crudo que comienza en las torres de refinación primaria, las cuales son unas destiladoras a baja

presión, lo que hacen es recibir el crudo, a alta temperatura, aproximadamente 380 °C, por la parte inferior de las torres y a medida que va ascendiendo se va condensando en los diferentes platos, este proceso se da por medio de la evaporación que permite una separación física de los diferentes productos a tratar, provenientes del hidrocarburo, como lo son el gas, la gasolina, el kerosene y el diésel y los productos más pesados, que se quedan en el fondo, se utilizan como insumos para otros procesos. Esto se puede ver en la Figura 2. Tras refinarse el combustible está listo para someterse a diferentes tratamientos de purificación, para entregar combustibles limpios. (González, 2017)



Figura 2. Torre de destilación. Análisis Operacional de Depósitos de Hidrocarburos Refinados. (González, 2017)

Separación: La planta de procesamiento de gas natural o Planta de Secado de Gas–PSG se basa en el proceso de turbo expansión que permite recuperar y/o separar hidrocarburos valiosos, como el gas licuado del petróleo (GLP) y la gasolina natural. Este gas natural proviene de pozos o yacimientos de gas natural. (Termoyopal, 2024)



Transporte. Actores. En el contexto colombiano, Cenit filial de Ecopetrol se destaca como la única entidad que se encarga del transporte de propano a través de ductos o poliductos. Sin embargo, Cenit ha disminuido gradualmente sus operaciones de transporte de GLP por producto, por razones técnicas, ambientales y de seguridad (dado que el transporte de GLP implica una alta presión de vapor y las áreas cercanas a los sistemas están muy pobladas) o de rentabilidad, según la regulación actual. Por ende, esta actividad está en proceso de desvanecimiento. (CREG, 2023)

Características. El mercado de transporte de GLP por propano ductos o poliductos es decreciente. Según Cenit no existen señales regulatorias y condiciones de seguridad para extender nuevos sistemas de transporte, así como tampoco para intervenir los existentes que no están en uso. Durante el año 2022, Cenit transportó un promedio de 3,3 KBDC de GLP, mientras que movilizó de otros combustibles líquidos 301,5 KBDC.

Es importante resaltar que la Refinería de Barrancabermeja no cuenta con facilidades para el cargue directo de carro tanques, incluido el GLP. Por lo tanto, cuando el GLP se transporta por ducto, debe recibirlo en algún terminal del sistema de poliductos de Cenit, donde están las plantas de los agentes distribuidores. La inflexibilidad logística en la Refinería conduce a que Cenit mantenga el monopolio sobre el transporte del GLP que se produce allí. Las tarifas para el transporte de GLP por ductos están reguladas por la Resolución CREG 122 de 2008. (CREG, 2023)

Competencia directa, indirecta y/o potencial. El transporte terrestre por carro tanques (cisternas) es la competencia al transporte de GLP por ductos. Por dos variables importantes, el transporte terrestre suele ser más competitivo que el transporte por ductos: a) La metodología tarifaria no se actualiza desde hace 15 años y las tarifas actuales son mayores a los fletes de los carros tanques. b) Existe una estampilla al transporte por ducto del GLP para subsidiar la movilización del producto para las islas de San Andrés y Providencia y esa estampilla se traduce en un costo adicional para los usuarios de GLP que son abastecidos utilizando ductos. (CREG, 2023)

Distribución. La distribución consiste en transportar GLP en vehículos (cisterna) hasta las plantas de envasado donde se llenan los cilindros y el carro tanque. (Minenergía, 2023)

Actores. Conforme a información reportada mediante la Circular CREG 072 de 2023, se identificaron los siguientes prestadores del servicio de transporte terrestre de GLP por camiones cisterna, en la tabla 7:

Tabla 7

Prestadores de servicios de transporte de GLP – Camiones cisterna

Servicio de transporte de GLP	Vehículo propio – Transporte de GLP
Maquehua	Montagas
Cotranscol	Gaszipa
Plexa	Velogas de Occidente
Rayo Carga	Transandina
Citycarga	Codegas
Transpcargas	Comeco

Nota: Datos tomados de la CREG. Caracterización (2023)

Características. El camión cisterna son vehículos utilizados para transportar fluidos gaseosos, como lo es GLP. (PAREX, 2020) La actividad de transporte con cisternas se realiza primordialmente para retirar el producto de las fuentes de producción o importación, o los puntos de salida del sistema de transporte, de Barrancabermeja, Cusiana, Cupiagua, Dina, Cartagena y TYG, entre otras, hasta las plantas de almacenamiento de GLP o directamente a una planta de envasado o sistema de distribución por redes. Esta actividad en la industria colombiana de GLP se conoce como transporte primario. (CREG, 2023)

Comercialización. El fin del proceso de distribución, conecta con el inicio del proceso de comercialización, en esta parte; El prestador del servicio de transporte terrestre de GLP (camiones cisterna) entrega el GLP a las plantas de envasado de GLP, el cual es almacenado en los tanques principales de esta planta, para posteriormente envasar el GLP en cilindros o hacer trasiego a carro tanques de menor capacidad. (*Envasado de cilindros de GLP: Actividad que consiste en llenar un cilindro portátil con GLP en una Planta*

Envasadora y la operación de esta última. Esta actividad incluye la revisión y clasificación de los cilindros para su mantenimiento o destrucción con sujeción al Reglamento Técnico vigente expedido por MinMinas, y el drenaje, previo al llenado, de los residuos no volátiles que permanecen en los mismos después de que el usuario ha utilizado el combustible envasado. (CREG, 2008)). Estas plantas pertenecen a las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP. A continuación, se describe el proceso de comercialización de las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP:

Ventas de GLP de Marca – Cilindro envasado. Las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP hacen el proceso de traslado del GLP que está en el tanque principal de la planta al envase o cilindro, este proceso se conoce como envasado. Posterior al proceso de envasado, las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP entrega el GLP envasado en cilindros en el domicilio de los usuarios finales o en expendio.

Venta de GLP a Granel – Tanque estacionario - Trasiego a carro tanque. Las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP hacen el proceso de trasiego del GLP que está en el tanque principal de la planta envasadora al carro tanque. Posterior al proceso de trasiego, las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP en su carro tanque recarga de GLP los tanques estacionarios ubicados en el predio del cliente y/o usuario final.

En conclusión, el proceso de abastecimiento de GLP inicia con la planificación por parte de las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP y finaliza

con la comercialización del GLP por parte de las compañías colombianas de distribución y comercialización de GLP.

Capacidades de CDCGLP (objeto de esta investigación). *Planificación de la demanda.*

CDCGLP proyecta las cantidades con base en la siguiente información:

Ventas. CDCGLP vendió 5.454.240 KG de GLP entre agosto y octubre 2020 y otras compañías vendieron 171.967.779 KG en el mismo tiempo.

SUI. CDCGLP: carga al SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos las ventas de la compañía en tanques, distribuidor en punto de venta y cantidad vendida por el minorista. Para este caso carga la información del punto anterior pero mensualmente.

Capacidad de compra. El 25 noviembre de 2020, la CREG publicó como capacidad de compra de CDCGLP 16.123.735 KG, con base en la información cargada en el SUI y el 30 noviembre publicó las zonas de influencia. Capacidad para ser utilizada en 6 meses.

Proyección. CDCGLP proyecta y aprueba a través de la gerencia y junta directiva las cantidades a solicitar al productor regulado y no regulado, teniendo en cuenta la capacidad de compra, el análisis de mercado y el promedio de ventas de los tres meses anteriores a la publicación de la OPC. Con corte al 31 octubre de 2020, las necesidades de la compañía ascendieron a 12.026.923 KG, de las cuales fueron cubiertas por el productor regulado y no regulado. Tal como aparece en el siguiente título.

Producción. Productor regulado. OPC: El dos de diciembre de 2020, el productor regulado publicó la OPC por 306.484.345 KG. A través de la OPC el productor regulado comunica al mercado la cantidad disponible de GLP.

Asignación: El 22 de diciembre de 2020, el productor regulado asignó a CDCGLP (Incluye asignación adicional) 9.686.923 KG con base en la distribución de zonas de influencia.

Productor no regulado. Almagas y Tygas son los dos mayoristas de fuentes no reguladas a los cuales CDCGLP les compró 2.340.000 KG entre noviembre de 2020 y enero de 2021 para cubrir la demanda proyectada por CDCGLP.

Distribución. La distribución consiste en el transporte de GLP en vehículos (cisterna) desde los puntos de entrega de GLP (Refinería de Cartagena y Barrancabermeja, Campo Cusiana, Dina, Toqui-Toqui y proceso secado de gas natural Tygas y Almagas) hasta las plantas de envasado propiedad de CDCGLP donde se llenan los cilindros y el carro tanque que se utiliza para el llenado de tanques estacionarios ubicados en las instalaciones de los usuarios o clientes. Para el caso de CDCGLP cuenta con el proveedor Contrascal que cuenta con una flota de 40 vehículos (tracto camiones o cabezotes) de los cuales cinco coloca a disposición de CDCGLP, para los nueve tanques cisterna que son propiedad de CDCGLP.

Comercialización. *Ventas de GLP de Marca – Cilindro envasado.* CDCGLP cuenta con 99 vehículos que sirven para hacer la distribución sin contar los vehículos de contratistas, un depósito y 57 puntos de ventas.

Ventas de GLP a Granel – Carro tanques. CDCGLP cuenta con siete carros tanques y 550 tanques estacionarios ubicados en los predios de los clientes.

Ubicación. CDCGLP está ubicada en 32 ciudades de siete departamentos de Colombia (Cundinamarca, Boyacá, Valle, Antioquia, Cauca, Quindío y Caldas) y cuenta con siete plantas de envasado.

Gestión comercial (primer semestre 2023). El volumen total de gas vendido durante el primer semestre del año 2023 fue de 10.147 Toneladas, presentando un decrecimiento del 3% frente al segundo semestre del año 2022. La baja se dio principalmente en la línea de cilindros, donde genera más impacto para la compañía, ya que el 83% de las ventas corresponde a esta línea. Ver tabla 8:

Tabla 8

Comparativo semestral de ventas de cilindro y granel CDCGLP

Línea	Ventas toneladas		Ventas 1Sem (2023) Vs. 2Sem (2022)	
	2Sem (2022)	1Sem (2023)	Ton	%
Cilindros	8.656	8.381	-275	-3,2%
Granel	1.752	1.766	14	0,8%
Total, ventas	10.408	10.147	261	-2,5%

Nota: Datos tomados del SUI SSPD e informe de gestión de CDCGLP a junio 2023

Las ventas de CDCGLP se comportan como el sector, con un incremento en granel de 0,8 % respecto al semestre anterior, pese a la caída en ventas de cilindros de 3,2 %.

Gestión abastecimiento – Principal costo de producción. En el primer semestre del año 2023 la compañía compró 9.473 Toneladas de GLP; de los cuales el 89,9% fue adquirido a Ecopetrol, mientras que el 10,1% a terceros mayoristas (960 Ton), que representa una disminución en esta fuente. Tal como aparece en la tabla 9:

Tabla 9

Comparativo semestral de compras de GLP por fuentes de CDCGLP

Compras		2Sem 2022		1Sem 2023		Compras 1Sem (2023) Vs. 2Sem (2022)	
GLP							
Fuente	Ton	%	Ton	%	Ton	%	
Ecopetrol (nacional)	8.361	77,90%	8.512	89,90%	-152	1,80%	
Terceros Mayoristas	2.369	22,10%	960	10,10%	1.409	-59,50%	
Total	10.730	100,00%	9.473	100,00%	1.257	-11,70%	

Nota: Datos tomados del SUI SSPD e informe de gestión de CDCGLP a junio 2023

Gestión logística. En el I semestre del 2023 se movilizaron 10.286 toneladas de producto a granel en las nueve cisternas con las que cuenta la compañía para el transporte, almacenamiento y abastecimiento de los centros operativos a nivel nacional. En el siguiente cuadro se detalla la cantidad de kilogramos transportados en cisternas propias y a través de terceros. Ver tabla 10.

Tabla 10

Toneladas de GLP transportados en el 1Sem de 2023

¿Quién realiza la función?	Ton	% Participación
Internamente	4.301	42%
Subcontratación	5.985	58%
Total	10.286	100,00%

Nota: Datos tomados del SUI SSPD e informe de gestión de CDCGLP a junio 2023.

De acuerdo con el ejercicio de la caracterización del abastecimiento de GLP, se determinan como factores que intervienen en la cadena de valor de GLP: a) Demanda o

capacidad mensual de compra de KG de GLP de la compañía CDCGLP que para el 2022-2023 fue 1.788.000 KG, (información tomada del informe de gestión de CDCGLP). b) capacidad de oferta mensual de KG de GLP y precio por KG de GLP de cada proveedor que tiene relación comercial con CDCGLP. Esta información se muestra en la tabla 11.

Tabla 11

Parámetros relacionados con la capacidad de oferta, precio y riesgo

Proveedor	Capacidad oferta en KG de GLP (mes)	Precio por KG de GLP (redondeado)	Calificación riesgo consolidada – Encuesta
Ecopetrol	41.200.000	\$ 997	4.76 (muy bajo riesgo)
Termoyopal	10.140.000	\$ 2.434	3.82 (bajo riesgo)
PetroSantander	5.070.000	\$ 2.008	3.44 (riesgo moderado)
Almagas	400.000	\$ 2.164	3.23 (alto riesgo)
Comeco	1.690.000	\$ 1.845	3.15 (muy alto riesgo)

Nota: Datos tomados de las páginas web de cada proveedor. En cuanto al riesgo, fue tomado de la percepción de riesgo dada por los especialistas del sector de GLP encuestados.

c) el parámetro riesgo de concentración. La información se tomó del resultado de la encuesta dirigida a especialistas del sector de GLP. (ver tabla 11)

Proponer el modelo matemático de alternativas de abastecimiento

El modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento que se propone es un modelo de programación entera mixta multiobjetivo, en el cual se tienen dos objetivos a optimizar de manera simultánea. El primer objetivo se asocia al riesgo de concentración mientras que el segundo se asocia al costo del abastecimiento.

Modelo matemático:

Se asume que I es el conjunto de los diferentes proveedores de GLP que se consideran en la presente tesis, el conjunto J es una copia del conjunto I .

Se utiliza la siguiente notación para la construcción del modelo.

- R_i : riesgo de concentración asociado al proveedor i
- $Costo_i$: costo de compra de 1kg de GLP al proveedor i
- $CapOferta_i$: capacidad mensual de oferta asociada al proveedor i , en kg/mes
- $Demanda$: demanda mensual de la compañía, en kg/mes
- $Compramax$: porcentaje de compra máxima a cada proveedor para evitar riesgo de concentración. Definido por expertos, de acuerdo con lo especificado en el numeral c.

Se tienen, además, las siguientes variables de decisión:

X_i : cantidad de kg /mes de GLP a comprar por parte de la compañía, al proveedor i . Y_i : variable binaria para indicar si se compra o no al proveedor i .

El objetivo del riesgo total de concentración ($f1$) se puede formular de la siguiente manera: $f1 = \sum_i R_i Y_i$. A su vez, el objetivo de costo que es un costo proporcional a las cantidades compradas ($f2$) se puede formular de la siguiente manera: $f2 = \sum_i Costo_i X_i$. Es importante mencionar, que la función objetivo multiobjetivo que minimiza el riesgo total de concentración, al tiempo que minimiza el costo total de abastecimiento mensual se puede expresar como:

$$ft = \alpha \cdot f1 + (1 - \alpha) \cdot f2 \quad (1)$$

Donde α , es el peso o importancia que la compañía le otorgue al riesgo de concentración; por lo tanto, el complemento se le asigna al costo de abastecimiento.

Ahora, se listan las restricciones asociadas al modelo:

- $\sum_i X_i \geq Demanda \quad (2)$

- $X_i \leq CapOferta_i Y_i; \forall i$ (3)

- $\frac{X_i}{\sum_{ij} X_j} \leq Compramax; \forall i$ (4)

- $X_i \leq \min(CapOferta_i, Demanda) Y_i; \forall i$ (5)

- $X_i \geq 0; Y_i \in \{0,1\}; \forall i$ (6)

La restricción (2) está relacionada con la satisfacción de la demanda mensual, la restricciones (3) establecen no comprar a cada proveedor más de su capacidad, cuando se decida comprarle; las restricciones (4) indican respetar el porcentaje máximo a comprarle a cada proveedor para garantizar que no haya concentración; las restricciones (5) definen el tope máximo de la cantidad a comprar a cada proveedor específico, al que decida comprarle, el cual está dado por el mínimo entre la demanda de la compañía y la oferta de ese proveedor y las últimas restricciones (6) señalan los valores permitidos a las variables de decisión.

Función objetivo para ajustar:

$$ft = \alpha \cdot \frac{f1}{f1^*} + (1 - \alpha) \cdot \frac{f2}{f2^*} \quad (7)$$

Función objetivo definitiva:

$$ft = \alpha \cdot \frac{f1}{2.2} + (1 - \alpha) \cdot \frac{f2}{2540578140} \quad (8)$$

Es importante mencionar que, para poder optimizar ambos objetivos a la vez, se debe hacer un ajuste a la función objetivo (1), ya que el primer objetivo es adimensional mientras que el segundo objetivo está expresado en unidades de costo (\$). Este ajuste

requiere en obtener una nueva función relativizada (7). Donde f_1^* , f_2^* , son los valores mínimos obtenidos para el objetivo de riesgo y de abastecimiento, cuando son trabajados de manera monoobjetivo, es decir cada uno por aparte. De acuerdo con la experimentación, los valores óptimos son: $f_1^* = 2.2$ y $f_2^* = 2540578140$; por lo tanto, la función objetivo definitiva es la (8).

Validar el modelo matemático de alternativas de abastecimiento

El modelo anterior se implementó con el software GAMS®, donde fue codificado como un modelo de programación entera mixta no lineal y se ejecutaron experimentos haciendo uso de distintos porcentajes del parámetro α , es decir de la importancia dada al objetivo de concentración de riesgo, variándolo desde 100% hasta 0%, en rangos de 10%. Los resultados consolidados se pueden ver en la Tabla 12.

Tabla 12

Peso objetivo riesgo

Peso riesgo	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Función relativizada	1	1.020714	1.041428	1.062142	1.082856	1.10357	1.124238	1.067322	1.05455	1.027273	1.207139
Valor riesgo	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.8	2.8
Valor costo	3066831249	3066831249	3066831249	3066831249	3066831249	3066831249	3066831249	268593360	254057814	2540578140	2540578140

Decisiones en KG – Mes

Ecopetrol	894000	894000	894000	894000	894000	894000	894000	894000	894000	894000	894000
Termoyopal	894000	894000	894000	894000	894000	894000	894000	0	0	0	0
PetroSantander	0	0	0	0	0	0	0	894000	0	0	0
Almagas (Importa G5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comeco	0	0	0	0	0	0	0	0	894000	894000	894000

Nota: Autoría propia (2024)-Sensibilización modelo matemático

Desde un conjunto de opciones posibles entre cinco proveedores relacionados comercialmente con la compañía CDCGLP, la tabla 12 muestra los proveedores óptimos para que la compañía en mención compre el GLP que demanda mensualmente para su negocio, que para el 2022-2023 fue 1.788.000 KG en promedio (según informe de gestión de CDCGLP). Se debe agregar que, para garantizar que no haya concentración, se respetó el porcentaje máximo a comprarle a cada proveedor, que según resultados de una encuesta realizada a especialistas del sector de GLP, no debería superar el 50%. Porcentaje que coincide con las proyecciones de la UPME para 2026 en cuanto a la capacidad de producción de Ecopetrol. En este caso la cantidad mensual comprada a un mismo proveedor no debería superar los 894.000 KG de GLP mes.

Comportamiento de las variaciones objetivo concentración de riesgo

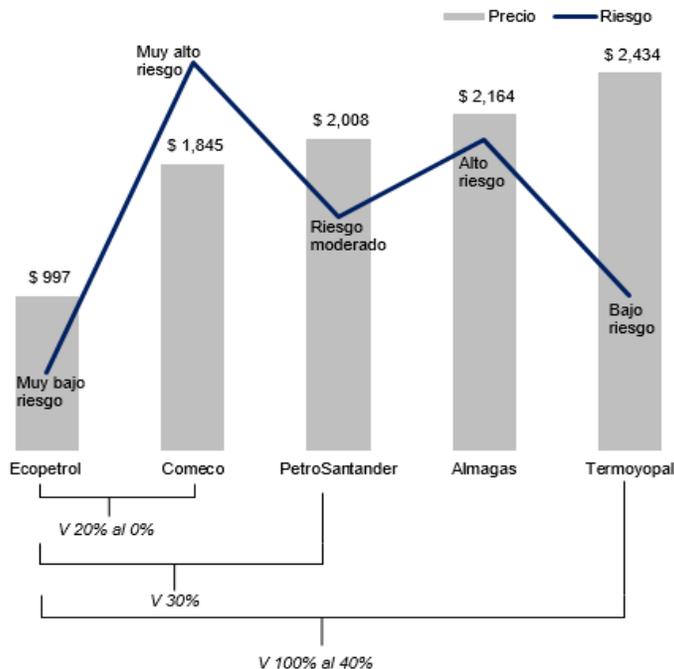


Figura 6: Datos tomados de la aplicación del modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento de GLP. Elaboración propia. V es igual a Variable.

Continuando con el análisis a los resultados de la tabla 12 y teniendo en cuenta la figura 6, se observa que, con una variación desde 100% hasta 40%, las opciones más favorables son Ecopetrol con una calificación de muy bajo riesgo y con el precio más bajo (\$997 por KG de GLP) y Termoyopal con una calificación de bajo riesgo y con el precio más alto de los cinco proveedores evaluados (\$2.434 por KG de GLP). Ahora, frente a una variación del 30%, las opciones más favorables son Ecopetrol y PetroSantander con un riesgo moderado y un precio por KG de GLP de \$ 2.008 (tercer mejor precio de los cinco proveedores evaluados). Finalmente, con una variación del 20% al 0%, las opciones más favorables son Ecopetrol y Comeco que tiene el segundo mejor precio (\$ 1.845 por KG de GLP), sin embargo, tiene calificación de muy alto riesgo. Este resultado generado del modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento refleja que uno de los escenarios más favorables para mitigar el riesgo de concentración es que la compañía CDCGLP compre el 50% de su demanda de GLP a Ecopetrol, sin importar la variación en el objetivo concentración de riesgo y el 50% restante a Termoyopal sin asumir un riesgo mayor. Sin embargo, esto podría aumentar los costos de operación en 144% comparado con el precio más bajo (Ecopetrol) y en un 32% respecto al segundo precio más bajo que lo tiene Comeco.

Como puede verse al validar el modelo y analizar los resultados, la implementación del modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento permitirá a la compañía CDCGLP tomar decisiones informadas y estratégicas con relación al riesgo de concentración, en lugar de limitarse a comprar GLP por el menor precio cotizado, pasando por alto que existen múltiples factores que inciden en el costo total de utilizar un proveedor. (Chopra & Meindl, 2016)

6. Conclusiones y recomendaciones

La investigación llevada a cabo para mitigar el riesgo de concentración de proveedores de GLP en la compañía CDCGLP, que depende en un 80% del mecanismo de OPC de Ecopetrol y enfrenta una posible interrupción del suministro en 2026 debido a una reducción del 30% en la capacidad de producción local de Ecopetrol según la UPME, ha desarrollado un modelo matemático de alternativas de abastecimiento de GLP considerando el riesgo de concentración y el costo de abastecimiento, formulado como un problema de modelación entera mixta no lineal. A continuación, se presentan las conclusiones basadas en los resultados obtenidos:

De acuerdo con el ejercicio de la caracterización del abastecimiento de GLP, se determinaron las siguientes variables internas y externas que mayor impacto tienen para el modelo de alternativas de abastecimiento: la demanda mensual de KG de GLP de la compañía CDCGLP, capacidad de oferta mensual de KG de GLP vinculada al proveedor, precio de compra o costo de abastecimiento de KG de GLP del proveedor y, por último, el riesgo de concentración asociado al proveedor. Estas dos últimas hacen parte de los objetivos a optimizar.

El modelo matemático propuesto para la optimización de alternativas de abastecimiento de GLP que permite mitigar el riesgo de concentración es un modelo de programación entera mixta multiobjetivo, en el cual se tienen dos objetivos a optimizar de manera simultánea. El primer objetivo se asocia al riesgo de concentración mientras que el segundo se asocia al costo del abastecimiento. El modelo anterior se implementó con el software GAMS®, donde fue codificado como un modelo de programación entera mixta no lineal y se ejecutaron experimentos haciendo uso de distintos porcentajes del parámetro α ,

es decir de la importancia dada al objetivo de concentración de riesgo, variándolo desde 100% hasta 0%, en rangos de 10%.

Al validar el modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento de GLP utilizando la información proporcionada por la compañía CDCGLP y sus proveedores, las opciones más favorables son Ecopetrol con una calificación de muy bajo riesgo y con el precio más bajo (\$997 por KG de GLP) y Termoyopal con una calificación de bajo riesgo y con el precio más alto de los cinco proveedores evaluados (\$2.434 por KG de GLP). Ahora, frente a una variación del 30%, las opciones más favorables son Ecopetrol y PetroSantander con un riesgo moderado y un precio por KG de GLP de \$ 2.008 (tercer mejor precio de los cinco proveedores evaluados). Finalmente, con una variación del 20% al 0%, las opciones más favorables son Ecopetrol y Comeco que tiene el segundo mejor precio (\$ 1.845 por KG de GLP), sin embargo, tiene calificación de muy alto riesgo. Este resultado generado del modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento refleja que uno de los escenarios más favorables para mitigar el riesgo de concentración es que la compañía CDCGLP compre el 50% de su demanda de GLP a Ecopetrol, sin importar la variación en el objetivo concentración de riesgo y el 50% restante a Termoyopal sin asumir un riesgo mayor. Sin embargo, esto podría aumentar los costos de operación en 144% comparado con el precio más bajo (Ecopetrol) y en un 32% respecto al segundo precio más bajo que lo tiene Comeco.

Se ha demostrado que este modelo permitirá a la compañía tomar decisiones informadas y estratégicas respecto al riesgo de concentración y el costo de abastecimiento. Esto facilitará una respuesta ágil a los cambios en la oferta y demanda de GLP, adaptación

a nuevos procesos de producción y distribución, y una mejor alineación con los actores de la cadena de suministro. (Harvard Business Review, 2021)

Finalmente, para implementar el modelo matemático de optimización de alternativas de abastecimiento de GLP en la compañía CDCGLP, se sugiere actualizar periódicamente la información relacionada con el riesgo de concentración asociada al proveedor, el precio o costo de abastecimiento, la capacidad de oferta vinculada al proveedor y la demanda de CDCGLP. Para lograr esto oportunamente, es necesario coordinar las áreas de la compañía que facilitan esta información. (Chopra & Meindl, 2016)

A partir del modelo desarrollado queda un campo para futuras investigaciones y extensiones que pueden ser modeladas y aplicadas, entre la cual se propone, contemplar otros factores dentro del modelo, de tal forma que se consideren como variables algunos parámetros como la tasa de cambio, impuestos, cultura organizacional y estrategia, que implicaría una modelación más cercana a la realidad de estos. Adicional, ampliar el modelo a n cantidad de proveedores i , considerando los principales jugadores locales e internacionales del suministro de GLP.

7. Referencias bibliográficas

- Agarwal, R., Mittal, N., Patterson, E., & Giorcelli, M. (2021). Evolution of the Indian LPG industry: Exploring conditions for public sector business model innovation. *Research Policy*, 50(4), 104196. <https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2020.104196>
- Ahmad, S., & Puppim De Oliveira, J. A. (2015). Fuel switching in slum and non-slum households in urban India. *Journal of Cleaner Production*, 94, 130–136. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.01.072>
- al Irsyad, M. I., Anggono, T., Anditya, C., Ruslan, I., Cendrawati, D. G., & Nepal, R. (2022). Assessing the feasibility of a migration policy from LPG cookers to induction cookers to reduce LPG subsidies. *Energy for Sustainable Development*, 70, 239–246. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2022.08.003>
- Caro, R. (2022). INFORME ANUAL DEL GLP. www.gasnova.co
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Supply chain management : strategy, planning, and operation.
- CREG. (2008). Alejandría - Resolución 165 de 2008 CREG. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0165_2008.htm
- CREG. (2017). Resolución Única de Regulación de GLP. Alejandría. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/ru_creg_glp.htm
- CREG. (2021). DEFINICIÓN CAPACIDAD DE COMPRA POR DISTRIBUIDOR DE GLP Décimo primer periodo de compra.
- CREG. (2023). Estudio de caracterización de la cadena de GLP.
- Dissanayake, B. I., Perera, H. N., & Silva, M. M. De. (2022). Fuel Stacking and Stove Choice Decisions: A Discrete Choice Model of Sri Lankan Household Preferences for Clean Cooking Solution. *MERCon 2022 - Moratuwa Engineering Research Conference, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/MERCON55799.2022.9906141>
- Ecopetrol. (2021). Oferta pública de cantidades. Ecopetrol. https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/multisitios/comercial/es/sondeosyofertas/ofertas-informacion-comercial/glp/!ut/p/z1/nZJBT4NAEIV_Sw8cZWZZQqm33VooLYoQ2uJeDBjcklC2oSjx30tiTEQbIM5tNt97m3kzICABUaXvhUybQlVp2fVPwnoO2NomtomB6-Mcw4XF9o4fky2bw-EXsNw6GK6ps4v31OWRCWKK_sGwlsQzyaMd8xWGq82C-vd3yDiZpsdeMeSRwSmiGxj_of90mqYfAMSw_QHE4BeG-QfoRRyNAV0UY8C3w9AWrszRj3ls0A0IWars66ZYIVFbgqjz17zOa_2t7p6PTXO-3GqoYdu2ulRKlrm-ok4aXpMc1aWBpE_C-bTrKsHCK7wbkX20bDb7BEZB8bc!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- Ecopetrol. (2022). OFERTA PÚBLICA DE CANTIDADES DE GAS LICUADO DEL PETRÓLEO CON PRECIO REGULADO-OPC.
- Gallab, M., Bouloiz, H., Alaoui, Y. L., & Tkiouat, M. (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic. *Procedia Computer Science*, 148, 226–235. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.01.065>
- Gallab, M., Bouloiz, H., Garbolino, E., Tkiouat, M., EIKilani, M. A., & Bureau, N. (2017). Risk analysis of maintenance activities in a LPG supply chain with a Multi-

Agent approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 47, 41–56.
<https://doi.org/10.1016/J.JLP.2017.02.026>

- Gasnova. (2020). Historia del GLP a nivel mundial - GASNOVA. Gasnova.
<https://www.gasnova.co/historia-del-glp-a-nivel-mundial/>
- GASNOVA. (2023). InformeGLP2022-2023v2.
- González, M. (2017). Proceso de Refinación. Universidad Tecnológica de Pereira .
- GPA. (2024). What is Midstream? <https://www.gpamidstream.org/midstream101>
- Halcones y palomas. (2022). Puerto Bahía importa GLP. Halcones y Palomas.
<https://www.halconesypalomas.com/2022/12/06/grupo-chileno-gasco-y-el-puerto-bahia-de-frontera-energy-antes-pacific-ep-se-alian-para-construir-terminal-de-cargue-de-glp-en-colombia/>
- Hao, J., Li, J., Wu, D., & Sun, X. (2020). Portfolio optimisation of material purchase considering supply risk – A multi-objective programming model. *International Journal of Production Economics*, 230, 107803. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2020.107803>
- Harvard Business Review. (2021). The New AAA Supply Chain - MBR Journal. Management and Business Review. <https://mbrjournal.com/2021/01/26/the-new-aaa-supply-chain/>
- Internacional Organization for Standardization. (2022). Security and resilience- Security management systems-Requirements INTERNATIONAL STANDARD ISO 28000 ISO 28000:2022(E) COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT.
- Jiménez Chaves, V. E. (2012). El estudio de caso y su implementación en la investigación. In *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales* (Vol. 8, Issue 1). Universidad Autónoma.
http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2226-40002012000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Kbah, Z. , E. N. O. , A. F. (2020). Analysis of oil and gas supply chain using continuous-time discrete-event simulation. <https://www-scopus-com.ez.unisabana.edu.co/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Analysis+of+oil+and+gas+supply+chain+using+continuous-time+discrete-event+simulation&sid=e4fbab23c239ea2260e9f38f6a25cb20&sot=b&sdt=b&sl=91&s=TITLE%28Analysis+of+oil+and+gas+supply+chain+using+continuous-time+discrete-event+simulation%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=e4fbab23c239ea2260e9f38f6a25cb20&limit=10>
- LAM, C. Y., & CRUZ, A. M. (2019). Risk analysis for consumer-level utility gas and liquefied petroleum gas incidents using probabilistic network modeling: A case study of gas incidents in Japan. *Reliability Engineering & System Safety*, 185, 198–212.
<https://doi.org/10.1016/J.RESS.2018.12.008>
- Lee, J., & Moon, I. (2024). Supplier selection and order allocation problems considering regional and supplier disruptions with a risk-averse strategy. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109810. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109810>
- López, A. (2021). La Nación duplica la capacidad de importación de GLP | Infraestructura | Economía | Portafolio. Portafolio.

<https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/la-nacion-duplica-la-capacidad-de-importacion-de-glp-558902>

- Matthews, W. G. (2014). Opportunities and Challenges for Petroleum and LPG Markets in Sub-Saharan Africa. *Energy Policy*, 64, 78–86.
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.07.092>
- Melo, C., Moita, R., & Sunao, S. (2021). Passing through the supply chain: Implications for market power. *International Journal of Industrial Organization*, 79, 102796. <https://doi.org/10.1016/J.IJINDORG.2021.102796>
- Minenergia. (2023). Gas Licuado de Petróleo. Minenergia.
<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/hidrocarburos/funcionamiento-del-sector/gas-licuado-de-petr%C3%B3leo/>
- Morales, A. C., Adrián, C., Flórez, C., Andrés, M., Orozco, P., Herrera, B., Paula, J., & Sánchez García, L. (2023). Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica julio de 2023 diciembre 2050.
https://www1.upme.gov.co/sipg/Publicaciones_SIPG/Proyeccion_precios_energeticos_I_semestre_2023_vf.pdf
- Neeka, J. B., Ikoku, U., Iyalla, E., Joel, O., & Ikiensikimama, S. (2019). Predictive Models on Viable Options for Liquefied Petroleum Gas LPG Distribution: Case for a Small and Medium Scale Enterprise SME Commodity in Nigeria. *Society of Petroleum Engineers - SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition 2019, NAIC 2019*. <https://doi.org/10.2118/198871-MS>
- PAREX. (2020). PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DE SISTEMA DE CARGUE DE GLP.
- Ramírez, R., Subdirección De Hidrocarburos, C., Gómez, E., Andrés, C., Pineda, P., Leyva, S., Apoyo, R., Oliver, E., & Iglesias, D. (2018). Publicado Marzo. In Año.
- Ramón, E., & Ramírez, S. (2019). Método estudio de caso y su significado en la investigación educativa. www.rediech.org ISBN:978-607-98139-1-8 <https://rediech.org/inicio/images/k2/libro-2019-arzola-11.pdf>
- Real Academia Española. (2024). superávit. <https://www.rae.es/diccionario-estudiante/super%C3%A1vit>
- Repsol. (2024). Exploración y producción de petróleo y gas | Repsol.
<https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/exploracion-produccion/index.cshtml>
- República de Colombia. (2021). Ley_2128_de_2021. Función Pública, POR MEDIO DE LA CUAL SE PROMUEVE EL ABASTECIMIENTO, CONTINUIDAD, CONFIABILIDAD Y COBERTURA DEL GAS COMBUSTIBLE EN EL PAÍS, 1–5.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=168087>
- Sulistio, J., Thoif, A., & Alindira, A. F. (2016). Conceptual Model of Supply Chain Structure Mapping - A Case of Subsidized LPG Commodity in Yogyakarta. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 105(1), 012005.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/105/1/012005>
- Termoyopal. (2024). Hidrocarburos | TERMOYOPAL.
<https://termoyopal.com.co/web/hidrocarburos/>
- Tordecilla, R. D., Juan, A. A., Montoya-Torres, J. R., Quintero-Araujo, C. L., & Panadero, J. (2021). Simulation-optimization methods for designing and assessing

resilient supply chain networks under uncertainty scenarios: A review. In *Simulation Modelling Practice and Theory* (Vol. 106). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102166>

- Torres-Ramos, A. F., Reyes-Rubiano, L. S., & Quintero-Araujo, C. (2014). Mathematical Model for the Home Health Care Routing and Scheduling Problem with Multiple Treatments and Time Windows. <https://www.researchgate.net/publication/271518523>
- Wayne L. Winston. (2004). *Operations Research APPLICATIONS AND ALGORITHMS*. www.duxbury.com
- WLPGA. (2015). ¿Qué es el GLP? Gasnova. <https://www.gasnova.co/sobre-el-glp/que-es-el-glp/>
- WLGA. (2024). ¿Qué es el gas líquido? - World Liquid Gas (WLGA). WLGA. <https://www.worldliquidgas.org/about-liquid-gas/what-is-liquid-gas/>

8. Anexos

Modelo abastecimiento

```

sets
i conjunto de proveedores /ecopetrol, termoyopal, petrosantander, almagas, comeco/;
alias(i,j)

Parameters
riesgo(i) riesgo de desabastecimiento asociado al proveedor i /
ecopetrol 1
termoyopal 1.2
petrosantander 1.4
almagas 1.6
comeco 1.8/

capOferta(i) cantidad de kg de GLP que puede proveer al mes el proveedor i /
ecopetrol 4120000
termoyopal 10140000
petrosantander 5070000
almagas 400000
comeco 1690000/

costo(i) precio por kg de GLP asociado al proveedor i /
ecopetrol 996.57
termoyopal 2433.89
petrosantander 2007.83
almagas 2164.21
comeco 1845.24
/
;
scalar demanda cantidad de kg de GLP que necesito comprar al mes /1788000/;
scalar compramax proporcion máxima de kg de GLP a comprar a cada proveedor /0.3/;
scalar alpha peso objetivo riesgo /0.5/;

variables
y(i) 1 si le compro al proveedor i 0 en caso contrario
x(i) cantidad de kg a comprarle al proveedor i
z variable para la funcion objetivo
C costo de compra
R Riesgo de Concentración;
binary variable y;
positive variable x, C, R;

equations
fobjetivo minimizar el riesgo de desabastecimiento
oferta(i) no comprarle a cada proveedor mas de lo que puede ofrecer
Rdemanda cumplir con al menos la demanda requerida
concentracion(j) asegurar que a ningun cliente se le compre mas de cierta proporcion
relacion(i) relaciona las variables de decision
calcRiesgo ecuacion para el calculo del riesgo
calcCosto ecuacion para el calculo del costo ;

fobjetivo.. z
=E= alpha*(sum(i, riesgo(i)*y(i))/2.2) +(1-alpha)*(sum(i,costo(i)*x(i))/2540578140);
oferta(i).. x(i) =L= capOferta(i)*y(i);

Rdemanda.. sum(i,x(i)) =G= demanda;
concentracion(i).. x(i) =L= compramax*sum(j,x(j));
relacion(i).. x(i) =L= min(capOferta(i),demanda)*y(i);
calcRiesgo.. R =e= sum(i, riesgo(i)*y(i));
calcCosto.. C =e= sum(i,costo(i)*x(i));

model aba /all/;

solve aba using MIP minimizing z;
OPTION DECIMALS = 8;
display x.L, y.L, R.L, C.L;

```

Modelo abastecimiento solo costo

```

sets
i conjunto de proveedores /ecopetrol, termoyopal, petrosantander, almagas, comeco/;
alias(i,j)

Parameters
riesgo(i) riesgo de desabastecimiento asociado al proveedor i /
ecopetrol 1
termoyopal 1.2
petrosantander 1.4
almagas 1.6
comeco 1.8/

capOferta(i) cantidad de kg de GLP que puede proveer al mes el proveedor i /
ecopetrol 4120000
termoyopal 10140000
petrosantander 5070000
almagas 400000
comeco 1690000/

costo(i) precio por kg de GLP asociado al proveedor i /
ecopetrol 996.57
termoyopal 2433.89
petrosantander 2007.83
almagas 2164.21
comeco 1845.24
/
;
scalar demanda cantidad de kg de GLP que necesito comprar al mes /1788000/;
scalar compramax proporcion máxima de kg de GLP a comprar a cada proveedor /0.5/;

variables
y(i) 1 si le compro al proveedor i 0 en caso contrario
x(i) cantidad de kg a comprarle al proveedor i
z variable para la funcion objetivo;
binary variable y;
positive variable x;

equations
fobjetivo minimizar el riesgo de desabastecimiento
oferta(i) no comprarle a cada proveedor mas de lo que puede ofrecer
Rdemanda cumplir con al menos la demanda requerida
concentracion(j) asegurar que a ningun cliente se le compre mas de cierta proporcion
relacion(i) relaciona las variables de decision;

fobjetivo.. z
=E= sum(i, costo(i)*x(i));
oferta(i).. x(i) =L= capOferta(i)*y(i);

Rdemanda.. sum(i,x(i)) =G= demanda;
concentracion(i).. x(i) =L= compramax*demanda*y(i);
relacion(i).. x(i) =L= min(capOferta(i),demanda)*y(i);

model aba /all/;
solve aba using MINlp minimizing z;
display x.L, y.L

```

Modelo abastecimiento solo riesgo

```

sets
i conjunto de proveedores /ecopetrol, termoyopal, petrosantander, almagas, comeco/;
alias(i,j)

Parameters
riesgo(i) riesgo de desabastecimiento asociado al proveedor i /
ecopetrol 1
termoyopal 1.2

```

```

petrosantander 1.4
almagas 1.6
comeco 1.8/

capOferta(i) cantidad de kg de GLP que puede proveer al mes el proveedor i /
ecopetrol 41200000
termoyopal 10140000
petrosantander 5070000
almagas 400000
comeco 1690000/

costo(i) precio por kg de GLP asociado al proveedor i /
ecopetrol 996.57
termoyopal 2433.89
petrosantander 2007.83
almagas 2164.21
comeco 1845.24
/
;
scalar demanda cantidad de kg de GLP que necesito comprar al mes /1788000/;
scalar compramax proporcion máxima de kg de GLP a comprar a cada proveedor /0.5/;

variables
y(i) 1 si le compro al proveedor i 0 en caso contrario
x(i) cantidad de kg a comprarle al proveedor i
z variable para la funcion objetivo;
binary variable y;
positive variable x;

equations
fobjetivo minimizar el riesgo de desabastecimiento
oferta(i) no comprarle a cada proveedor mas de lo que puede ofrecer
Rdemanda cumplir con al menos la demanda requerida
concentracion(j) asegurar que a ningun cliente se le compre mas de cierta proporcion
relacion(i) relaciona las variables de decision;

fobjetivo.. z
=E= sum(i, riesgo(i)*y(i));
oferta(i).. x(i) =L= capOferta(i)*y(i);

Rdemanda.. sum(i,x(i)) =G= demanda;
concentracion(i).. x(i) =L= compramax*demanda;
relacion(i).. x(i) =L= min(capOferta(i),demanda)*y(i);

model aba /all/;
solve aba using MINlp minimizing z;
display x.L, y.L

```