

Tipo de documento: Tesis de maestría

Master in Management + Analytics

Selección de nuevas estaciones de servicio mediante la optimización de la red logística de Delta Patagonia

Autoría: Redruello, Santiago

Fecha de defensa de la tesis: 2023

¿Cómo citar este trabajo?

Redruello, S. (2023) "Selección de nuevas estaciones de servicio mediante la optimización de la red logística de Delta Patagonia". [*Tesis de maestría. Universidad Torcuato Di Tella*]. Repositorio Digital Universidad Torcuato Di Tella <https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/12039>

El presente documento se encuentra alojado en el Repositorio Digital de la Universidad Torcuato Di Tella bajo una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 2.5 Argentina (CC BY-NC-SA 2.5 AR)
Dirección: <https://repositorio.utdt.edu>



**UNIVERSIDAD
TORCUATO DI TELLA**

MASTER IN MANAGEMENT + ANALYTICS

SELECCIÓN DE NUEVAS ESTACIONES DE SERVICIO
MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED
LOGÍSTICA DE DELTA PATAGONIA

TESIS

Santiago Redruello

Mayo 2023

Tutor: Javier Marengo

Resumen

Delta Patagonia es una compañía de energía con sede en la ciudad de Buenos Aires. Cuenta con accionistas e inversores argentinos y paraguayos que operan en Argentina, Bolivia, Uruguay y Paraguay. En Argentina opera la marca Gulf para combustibles y comercializa sus lubricantes en el canal de estaciones de servicio.

La empresa actualmente cuenta con siete terminales por donde retira el combustible y se distribuye a 120 estaciones de servicio. Las terminales están situadas en distintas provincias incluyendo la Matanza y la Plata en la provincia de Buenos Aires, Montecristo en Córdoba, San Lorenzo en Santa Fe, Lujan de Cuyo en Mendoza, Barranqueras en Chaco y Plaza Huincul en Neuquen.

Estas terminales fueron adquiridas bajo un contrato que se firmó con YPF por lo que a los fines de este trabajo se van a mantener fijas.

Con el objetivo de negocio de maximizar el *market share* y *revenue*, la empresa busca ampliar la cantidad de estaciones a lo largo del país.

La competencia principal de Delta es Puma por lo que el trabajo se enfoca en superar la participación de mercado de esta compañía adquiriendo, a partir de un modelo de optimización, las llamadas "estaciones blancas" las cuales no están siendo trabajadas por ninguna empresa.

En esta tesis se aborda esta problemática con un modelo de optimización que tiene como objetivo maximizar la ganancia de la compañía a partir de la demanda, los precios de venta y los de los productos y logísticos. El modelo considera restricciones específicas del problema como la demanda por estación, la capacidad que tiene cada terminal y apunta a superar la participación de mercado de la competencia. El resultado de este modelo de optimización es la identificación de las "estaciones blancas", que cumplen con los objetivos de maximizar la ganancia de la compañía y superar la participación de mercado de la competencia, teniendo en cuenta las restricciones mencionadas.

Abstract

Delta Patagonia is an energy company based in the city of Buenos Aires. It has Argentine and Paraguayan shareholders and investors who operate in Argentina, Bolivia, Uruguay, and Paraguay. In Argentina, it operates under the Gulf brand for fuels and markets its lubricants through service station channels.

The company currently has seven terminals where it picks up fuel and distributes it to 120 service stations. The terminals are located in different provinces, including La Matanza and La Plata in the province of Buenos Aires, Montecristo in Córdoba, San Lorenzo in Santa Fe, Lujan de Cuyo in Mendoza, Barranqueras in Chaco, and Plaza Huinca in Neuquen.

These terminals were acquired under a contract signed with YPF, so they will remain fixed for the purposes of this work.

With the business objective of maximizing market share and revenue, the company aims to expand the number of stations across the country.

Delta's main competitor is Puma, so the work focuses on surpassing the market share of this company by acquiring, through an optimization model, the so-called "white stations" which are not being operated by any company.

In this thesis, this issue is addressed with an optimization model that aims to maximize the company's profit based on demand, selling prices, and logistic costs and the products costs. The model takes into consideration specific constraints of the problem, such as demand by station and terminal capacity, and aims to surpass the market share of the competition. The result of this optimization model is the identification of "white stations" that meet the objectives of maximizing the company's profit and surpassing the market share of the competition, considering the mentioned constraints.

ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción	5
1.1. Contexto.....	5
1.2. Problema.....	14
1.3. Objetivo	17
Capítulo 2: Datos	20
Capítulo 3: Metodología	38
Capítulo 4: Resultados	44
Capítulo 5: Conclusiones	68
Referencias	71
Apéndice A. Implementación de la fórmula de Haversine en Python.	73
Apéndice B. Modelo de optimización en ZIMPL	74
Apéndice C. Resultados obtenidos del modelo	75

Capítulo 1: Introducción

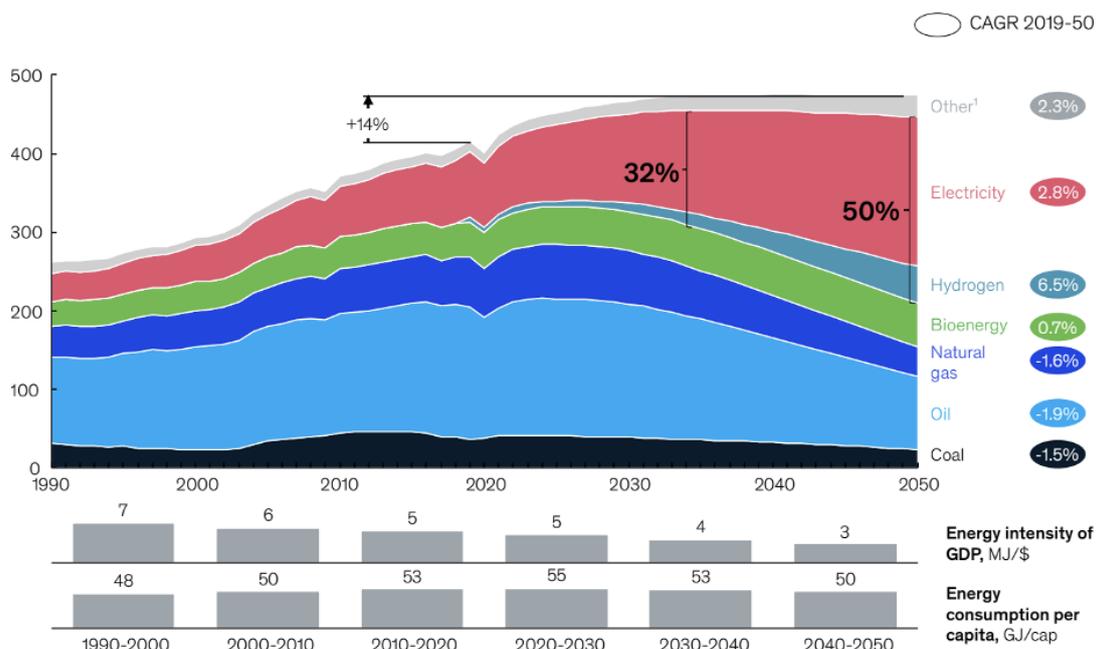
1.1. Contexto

Global

La transición hacia sistemas energéticos más sostenibles está ocurriendo a una velocidad sin precedentes, generando cambios significativos en la forma en que consumimos energía en nuestros hogares, transportamos personas y productos, y producimos energía para nuestras industrias. Estas tendencias tendrán importantes implicaciones para empresas, gobiernos y personas en las próximas décadas. Por lo tanto, es fundamental comprender las perspectivas energéticas a nivel mundial antes de adentrarse en el mercado del petróleo.

El contexto global del combustible está experimentando una transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles debido a la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Según el informe *Global Energy Perspective 2022 de McKinsey Energy Insights [1]*, se espera que las energías renovables lideren la generación de energía, alcanzando el 80-90% en 2050, con la energía solar y eólica terrestre como principales impulsores de crecimiento. En la Figura 1 se observa un gráfico del consumo de energía por combustible a lo largo de los años en el cual se estima que la participación de la electricidad y el hidrógeno podría aumentar hasta un 32% para el año 2035 y un 50% para el año 2050, según el informe.

Figura 1. Consumo final de energía por combustible, en millones de terajulios. *Global Energy Perspective 2022 de McKinsey Energy Insights [1]*.

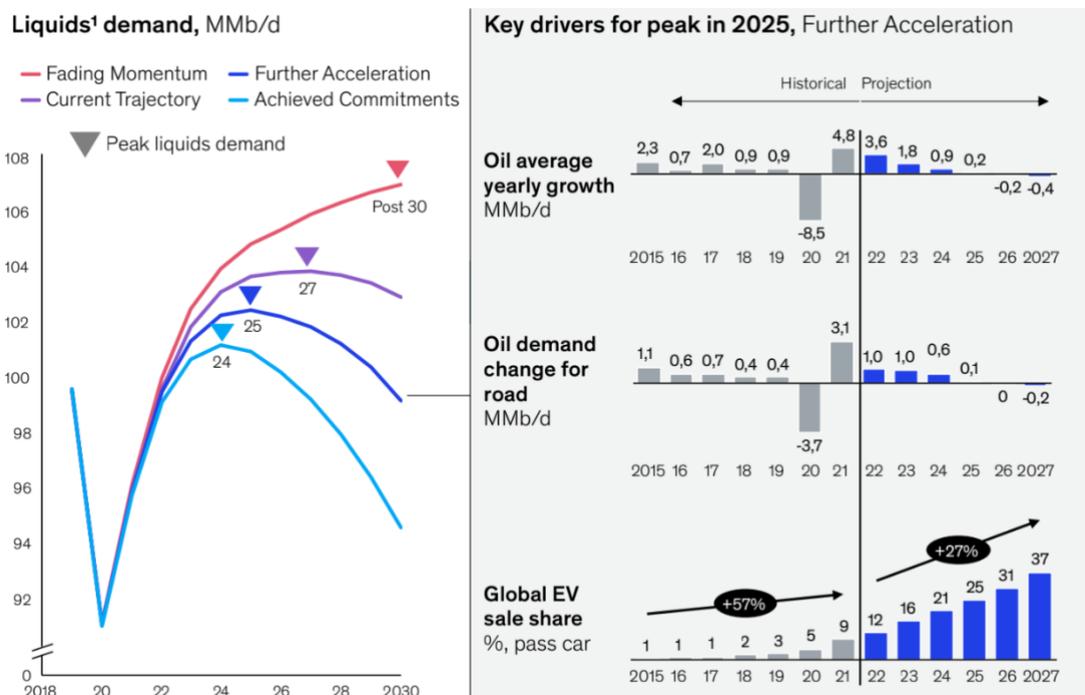


La electrificación se proyecta como la opción más barata y fácil para lograr los objetivos de reducción de emisiones, con el transporte experimentando la transición más rápida a la electricidad debido a la paridad de costos entre los vehículos eléctricos y los vehículos con motor de combustión interna. Además, se espera que la demanda de hidrógeno verde crezca cinco veces para 2050, impulsada principalmente por el transporte por carretera, marítimo y aéreo [1]. En general, se espera que las emisiones relacionadas con la energía alcancen su punto máximo antes de 2030 y disminuyan entre un 30% y un 70% para 2050, dependiendo del escenario [1].

Según el informe, para lograr una transición energética exitosa, es necesario un enfoque integral que incluya políticas públicas, inversiones en infraestructura y tecnología, y cambios en los patrones de consumo y producción. Además, se necesitan soluciones innovadoras para abordar los desafíos técnicos y económicos asociados con la integración de energías renovables intermitentes en la red eléctrica.

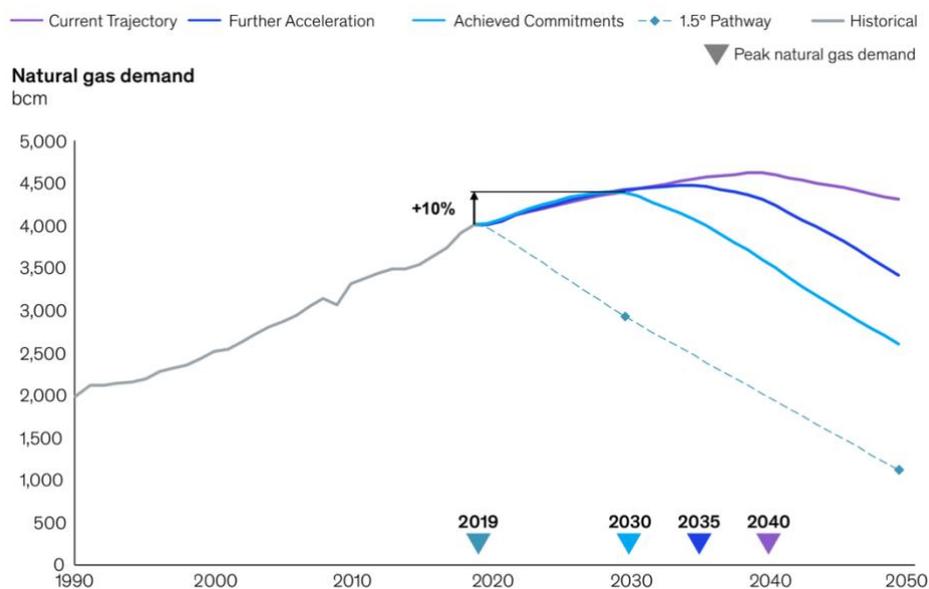
La demanda de petróleo ha experimentado un crecimiento anual de más del 1% en las últimas tres décadas, sin embargo, a partir de 2020, la velocidad de crecimiento ha disminuido significativamente. Según el informe, se espera que la demanda de petróleo alcance su pico máximo en los próximos cinco años, debido a la adopción de vehículos eléctricos. En la Figura 2 se puede visualizar la evolución de la demanda de productos de petróleo crudo, biocombustibles líquidos y combustibles sintéticos en millones de barriles por día.

Figura 2. Demanda de productos de petróleo crudo, biocombustibles líquidos y combustibles sintéticos en millones de barriles por día. *Global Energy Perspective 2022 de McKinsey Energy Insights [1].*



Con respecto a la demanda de gas, la misma ha ido en aumento de forma gradual en la mezcla energética y se proyecta que tendrá un papel clave en la transición energética debido a su amplio rango de aplicaciones. No obstante, se discute la volatilidad de los precios del gas debido a la incertidumbre en torno al ritmo y la forma de la transición energética. Además, se menciona que el gas podría desempeñar un nuevo papel en la producción de hidrógeno azul y amoníaco, y que la infraestructura de gas podría ser reutilizada para combustibles de bajo carbono como el hidrógeno y el biogás, o para el transporte de dióxido de carbono para la captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS). Se proyecta que la demanda de gas alcanzará su punto máximo en 2035 y que su papel en la provisión de calor y energía disminuirá debido al alto crecimiento de alternativas de bajo carbono en estos sectores [1]. En la Figura 3 se puede observar la evolución de la demanda de gas natural en miles de millones de metros cúbicos.

Figura 3. Demanda gas natural en billones de metros cúbicos. *Global Energy Perspective 2022 de McKinsey Energy Insights [1].*



En resumen, el contexto global del combustible está experimentando una transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, y se espera que las energías renovables lideren la generación de energía en el futuro.

Local

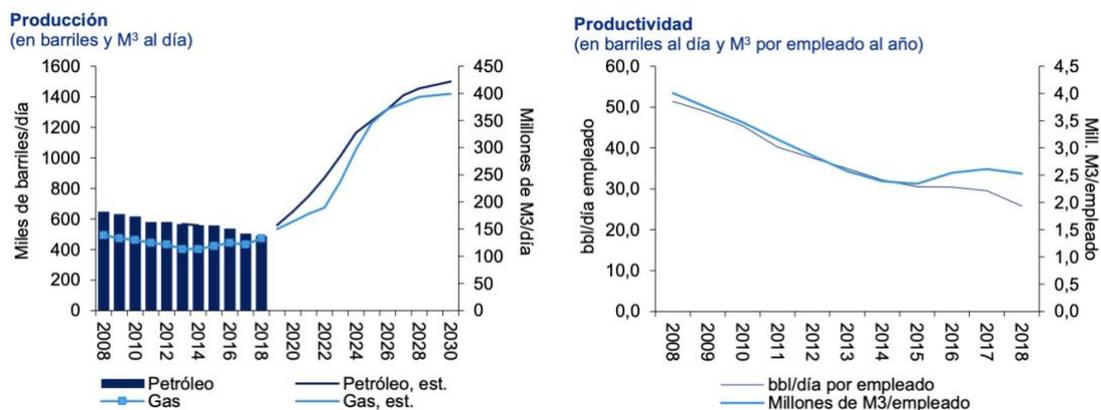
La producción nacional de hidrocarburos ha experimentado una disminución constante desde finales de la década de 1990, cuando alcanzó un máximo histórico cercano a los 50 millones de metros cúbicos en 1998 (equivalente a una producción media diaria de alrededor de 850.000 barriles). Desde entonces, la producción ha sido afectada por condiciones económicas desfavorables y políticas que favorecían la demanda sobre la oferta, lo que resultó en una disminución gradual pero consistente en la inversión en casi todos los sectores productivos. Esto, combinado con un aumento en la demanda energética, ha llevado a una crisis de

suministro que ha requerido un aumento significativo en la importación de gas y electricidad. En 2011, esto resultó en un importante déficit en la cuenta de energía, que alcanzó los US\$ 7.000 millones en 2013 [2].

Es importante destacar que los principales ítems que impactan en el costo de perforación local son el laboral, el de transporte y logística, y el impositivo. El gobierno sigue buscando nuevas herramientas para mejorar el ambiente de negocios y el entorno fiscal con el objetivo de atraer un mayor flujo de inversiones y nuevos actores, por lo que se están llevando a cabo importantes cambios, especialmente en materia impositiva, laboral y de infraestructura. Entre ellos, se destaca el convenio firmado con el sindicato de Petróleo y Gas de Río Negro, La Pampa y Neuquén con el fin de incentivar y posibilitar reducciones en los costos laborales, para mejorar la productividad en el rubro y volverse más competitivos en el mercado externo [2].

En cuanto a la producción, es importante señalar que, tal como se muestra en la Figura 4, se espera un constante crecimiento a una tasa anual del 16% hasta 2024 y del 4% hasta 2030, logrando alcanzar un nivel de extracción de 1,5 millones de bbl/día para ese año [2].

Figura 4. Producción en barriles y metros cúbicos por día y productividad en barriles por día y metros cúbicos por empleado al año en Argentina. *KPMG Argentina. (2019). Industria de Oil & Gas: tendencias para 2019 [2].*

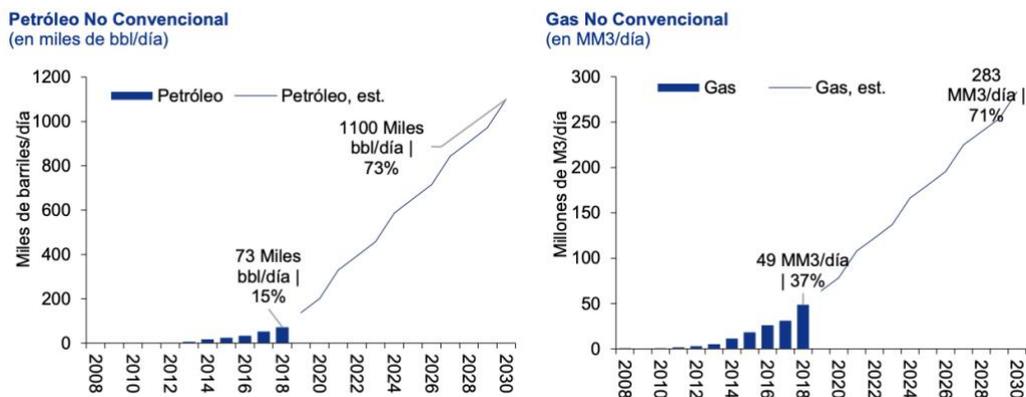


En lo que se refiere a los niveles de productividad, medida que muestra el desempeño de la industria local en relación al empleo demandado, es decir, qué cantidad de producto genera una unidad empleada al día/año, la Figura 4 muestra que mientras para el crudo se estabilizó en 2018 en alrededor de 30 barriles al día por empleado, para el gas se observa un incremento que podría haberse ubicado en torno a los 2,5 millones de metros cúbicos por empleado al año [2].

La producción de hidrocarburos no convencionales en Argentina, específicamente en la formación de Vaca Muerta en la provincia de Neuquén, ha llevado al país a convertirse en uno de los cuatro países productores a gran escala de este tipo de recursos. Esto ha sido posible gracias a los importantes reservorios presentes en la región, que han atraído inversiones globales en exploración y producción. Según estadísticas oficiales, en 2019 los hidrocarburos no convencionales contribuyeron alrededor del 15% de la oferta doméstica de crudo y el 37% de la oferta de gas, en comparación con el 10% y 20% respectivamente que se registró dos años antes [2]. Respecto a la proyección hacia 2030, la producción de crudo de origen no convencional

podría llegar a los 1,1 millones de bbl/día para ese año [3], lo que podría significar, siempre en términos aproximados, alrededor del 73% de la oferta doméstica de este recurso tal como se indica en la Figura 5.

Figura 5. Evolución de la producción de petróleo en miles de barriles por día y gas no convencional miles de metros cúbicos por día en Argentina. *KPMG Argentina. (2019). Industria de Oil & Gas: tendencias para 2019 [2].*



Es importante tener en cuenta que la extracción de recursos no convencionales requiere mayores inversiones y costos en comparación con los convencionales. Además, la tasa de declinación en la producción de los primeros es más rápida que en los segundos. Por lo tanto, es prioritario fomentar políticas que beneficien la actividad y establecer nuevos acuerdos entre el gobierno nacional, provincial y la industria del petróleo y gas para mejorar el clima de negocios y atraer inversiones. A pesar de los avances realizados en este campo, los principales riesgos para el desarrollo del sector de no convencionales son la incertidumbre política, la inestabilidad macroeconómica y el comportamiento de los precios a corto plazo.

Delta Patagonia

Delta Patagonia es una compañía de Energía con sede en la ciudad de Buenos Aires. Entre sus socios se encuentran Copetrol, Energía del Paraná y Barcos & Rodados. Cuenta con accionistas e inversores argentinos y paraguayos que operan en Argentina, Bolivia, Uruguay y Paraguay. En Argentina opera la marca Gulf para combustibles y comercializa sus lubricantes en el canal de estaciones de servicio [4].

Gulf Retail desembarca en Argentina de la mano de Delta Patagonia S.A. con la adquisición en Diciembre de 2018 de 124 estaciones de servicio y agroservicios de la ex red Oil Combustibles. Mediante un plan de inversión sostenido, aspira a alcanzar las 150 bocas de expendio para mediados de 2022.

Gulf es una marca pionera en el mundo de las estaciones de servicio. Tal es así que fue la primera en abrir una estación en Estados Unidos. Posee una vasta trayectoria en el mercado internacional, con presencia en más de 100 países y acuerdos de marca con socios estratégicos referentes en el mundo del deporte.

El desembarco en Argentina, a través de Delta Patagonia, se sustenta en una fuerte alianza comercial que asegura una propuesta integral tanto para el operador de estaciones de servicio y Agroservice como para el cliente final. Gulf posee una moderna planta de lubricantes en la provincia de Buenos Aires con la que abastece los diferentes canales y perfiles de clientes en la región.

Delta Patagonia busca convertirse en la tercera empresa más grande en términos de participación de mercado en Argentina, superando a su principal competidor, PUMA. Para lograr este objetivo, Delta Patagonia busca adquirir nuevas estaciones de servicio en ubicaciones donde no haya otras empresas operando, conocidas en la industria como "estaciones blancas". En esta tesis, proponemos un modelo de optimización basado en técnicas avanzadas para seleccionar las estaciones de servicio que maximicen las ganancias de la compañía y se alineen con el objetivo de Delta Patagonia de convertirse en la tercera empresa más importante en la industria de distribución de combustibles en Argentina.

Figura 6. Logo de la empresa Delta Patagonia. *Delta Patagonia. Página de empresa de Delta Patagonia en LinkedIn [5].*



Figura 7. Logo de la empresa Gulf. *Página de Wikipedia de Gulf Oil Corporation [6].*



Competidores:

- YPF es una empresa energética argentina que se dedica a la exploración, explotación, destilación, distribución y producción de energía eléctrica, gas, petróleo y derivados de hidrocarburos. La compañía tiene una estructura accionaria mixta, con el Estado argentino como propietario del 51% de las acciones y el 49% restante cotizando en la Bolsa de Buenos Aires y Nueva York. A fines de 2012, YPF poseía una red de más de 1600 estaciones de servicio y 26 bloques exploratorios en tierra y mar que abarcaban 148,000 kilómetros cuadrados en Argentina. Sus operaciones en 91 áreas productivas se

encuentran en las cuencas Neuquina, del Golfo San Jorge, Cuyana, Noroeste y Austral. La empresa también cuenta con tres refinerías en Argentina, en La Plata (provincia de Buenos Aires), Luján de Cuyo (provincia de Mendoza) y Plaza Huinul (provincia de Neuquén). Además, posee una participación accionaria del 50% en la planta industrial de Refinor en la provincia de Salta. En cuanto a la producción petroquímica, posee los complejos industriales de Ensenada (provincia de Buenos Aires) y Plaza Huinul en Neuquén, y participa con un 50% en la empresa de fertilizantes nitrogenados Profertil. En abril de 2017, YPF se convirtió en la primera empresa en Argentina en ofrecer el servicio de recarga rápida para vehículos eléctricos, instalando 200 puestos en 110 de sus estaciones de servicio [7].

Figura 8. Logo de la empresa YPF. *Página de archivo de YPF en Wikipedia [8].*



- Shell es una compañía que ha operado en Argentina desde 1914, centrándose en la exploración y producción de petróleo y gas, la refinación de petróleo crudo y la comercialización de combustibles y lubricantes. En 2018, la compañía vendió su negocio del Downstream a Raízen, una compañía brasileña, lo que incluyó la Refinería de Buenos Aires, aproximadamente 665 estaciones de servicio, negocios de LPG, combustibles marítimos, combustibles de aviación, asfaltos y lubricantes, así como las actividades de suministro y distribución en el país. Sin embargo, la venta no incluyó los activos del Upstream (exploración y producción de petróleo y gas no convencional) que la compañía tiene en la formación Vaca Muerta, en la provincia de Neuquén. Desde la venta, Sean Rooney se convirtió en el presidente de la filial argentina. En diciembre de 2018, Shell Argentina anunció su decisión de pasar a la fase de desarrollo en los bloques Sierras Blancas, Cruz de Lorena y Coirón Amargo Sur Oeste (CASO) en la formación de No Convencionales en Neuquén, Vaca Muerta. Esta decisión marcó el inicio del desarrollo a gran escala de gas y petróleo en las áreas, con un potencial de producir más de 70,000 barriles diarios de petróleo equivalentes para mediados de la próxima década. Raizen en Brasil es la principal compañía productora de azúcar, etanol y bioenergía, con aproximadamente 860,000 hectáreas de tierras agrícolas cultivadas. Además, posee 26 plantas de producción de bioinsumos, con capacidad para procesar anualmente 73 millones de toneladas de caña de azúcar. También cuenta con la infraestructura suficiente para generar casi 1,000 megavatios de energía eléctrica. Según las estadísticas, Shell es la segunda compañía después de YPF en abarcar el mercado de combustible en un 20% en promedio a lo largo de los últimos 10 años [9].

Figura 9. Logo de la empresa Shell. *1000marcas.net. [10]*



- Pan American Energy (PAE) es una empresa argentina especializada en la exploración y producción de hidrocarburos. Desde el año 2018, también participa en la refinación y comercialización de combustibles a través de AXION Energy. En la actualidad, opera en las cuatro principales cuencas del país: Golfo San Jorge, Noroeste, Neuquina y Marina Austral. PAE contribuye con el 14% de los hidrocarburos producidos en el país y su presencia en la industria es significativa debido a la envergadura de sus operaciones [11].

Figura 10. Logo de la empresa Axion Energy. *Página de archivo de YPF en Wikipedia [12].*



- Puma Energy es una empresa petrolera que desarrolla sus actividades en los segmentos midstream y downstream como filial de la multinacional Trafigura Beheer BV, dedicada al comercio de materias primas. La empresa se dedica al suministro, almacenamiento, refinación, distribución y venta minorista de una variedad de productos petrolíferos. Desde 2015, Puma Energy opera con 400 estaciones de servicio en Argentina. A su refinería en Bahía Blanca, la terminal en la localidad de Campana y su planta de lubricantes en Avellaneda, se suman más de 70 agroservicios en los principales puntos de la zona productiva de la Argentina [13].

Figura 11. Logo de la empresa Puma Energy. *Canal de YouTube [14].*



- Pampa Energía es una empresa argentina con presencia en distintas áreas de la industria energética del país. En el segmento downstream, la compañía posee una participación directa del 28,5% en Refinor, empresa que cuenta con una refinería de 25,8 miles de barriles de petróleo por día de capacidad, 81 estaciones de servicio Refinor y una capacidad de procesamiento de líquidos de gas natural de 390 mil toneladas anuales. Además, Pampa Energía tiene una importante participación en el sector eléctrico, con una presencia del 12% en la generación eléctrica, el 85% en la transmisión eléctrica y el 20% en la distribución de electricidad en Argentina. En cuanto al sector del gas natural, la empresa participa en el 6% de la producción (incluyendo parte importante de la superficie del yacimiento de Vaca Muerta) y el 60% del transporte de gas natural [15].

Figura 12. Logo de la empresa Refinor. *Página oficial de Refinor. [16].*



- DAPSA tiene como principal negocio la venta y distribución de combustibles líquidos, tales como naftas y gasoil, en especificación y acorde a las necesidades del mercado argentino. Esta actividad se lleva a cabo a través de sus estaciones de servicio y distribuidores independientes, que reciben los productos desde cinco terminales logísticas ubicadas en distintos puntos del país, incluyendo la terminal principal en Dock Sud, Buenos Aires. La capacidad de almacenamiento de la planta principal es de más de 145.000 metros cúbicos, distribuidos en más de 75 tanques, lo que permite el almacenamiento de distintos tipos de productos, como gasoil, naftas y pesados, además de bases lubricantes. Asimismo, la empresa cuenta con un depósito fiscal que aporta 134.600 metros cúbicos de capacidad y un muelle ubicado en la dársena de inflamables del puerto de Dock Sud, que puede operar buques de hasta 190 metros de eslora y 32 metros de manga, con un calado de 32 pies. Estos recursos permiten a DAPSA ofrecer

servicios logísticos de alta calidad en la distribución de combustibles líquidos en Argentina, lo que la ha consolidado como una empresa líder en el sector [17].

Figura 13. Logo de la empresa DAPSA. *Página oficial de DAPSA [18].*



1.2. Problema

En el sector energético, la distribución de combustible es una actividad crítica y altamente competitiva. En este contexto, las empresas del sector buscan maximizar su participación de mercado y mejorar su rentabilidad a través de la optimización de sus operaciones logísticas. Delta Patagonia, la empresa distribuidora de combustible que opera bajo la marca Gulf, busca expandir su presencia en el mercado argentino mediante la selección de ubicaciones óptimas para nuevas estaciones de servicio.

Delta Patagonia comercializa cuatro productos: gasoil común (D500), gasoil premium (GOE), nafta super y nafta premium. Además, abastece a sus estaciones desde las siguientes terminales que pertenecen a la empresa YPF:

- TLM: La Matanza, Buenos Aires.
- TLP: La Plata, Buenos Aires.
- TMC: Montecristo, Córdoba.
- TSL: San Lorenzo, Santa Fe.
- TLC: Lujan de Cuyo, Mendoza.
- TBQ: Barranqueras, Chaco.
- TPH: Plaza Huincol, Neuquen.

En la Figura 13 se puede observar la geolocalización de estas 7 terminales que abastecen a Gulf.

En la actualidad cuenta con 150 estaciones de servicio que se ubican geográficamente en la Argentina tal como se puede visualizar en la Figura 14.

Figura 13. Geolocalización de terminales que abastecen a la empresa Gulf.

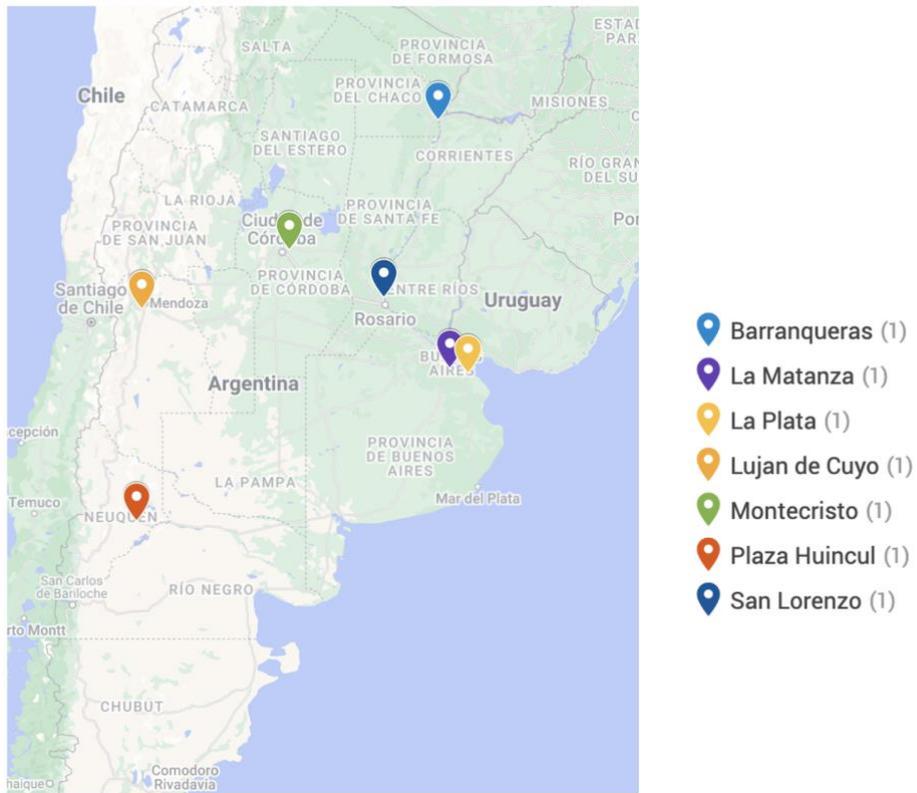
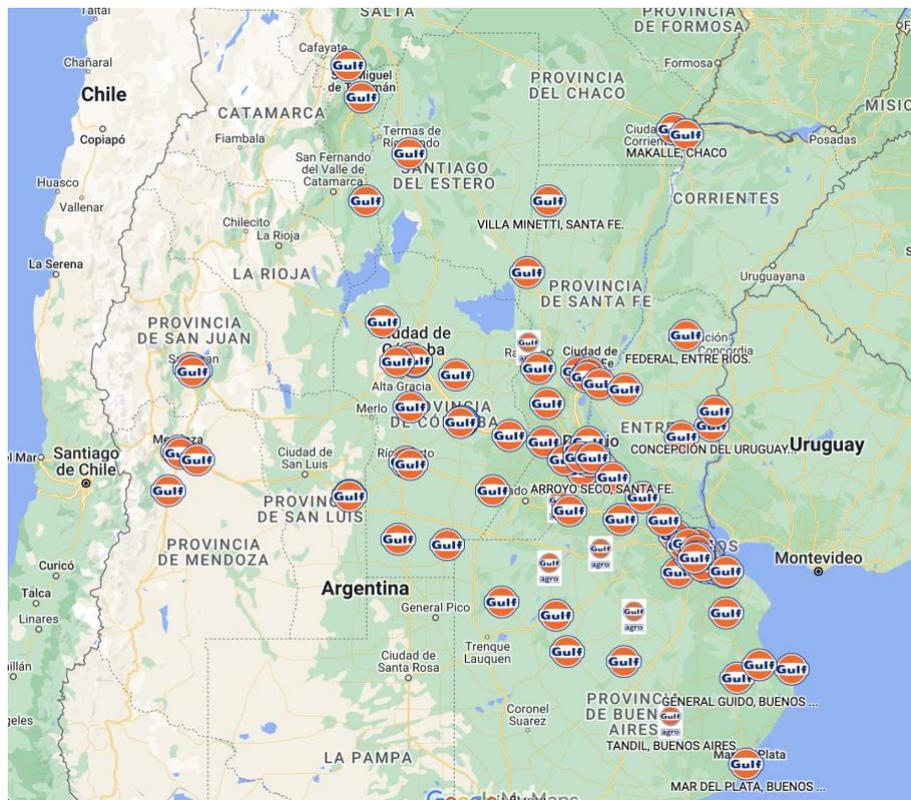


Figura 14. Geolocalización de estaciones de servicio de la empresa Gulf.



La localización de instalaciones es un problema clave en la cadena de suministro de Delta Patagonia. En particular, la empresa necesita identificar las ubicaciones más adecuadas para la instalación de nuevas estaciones de servicio, considerando los costos logísticos (transportar el combustible desde las terminales a las estaciones), el precio de venta y los costos de cada uno de sus productos. Además, se prestará atención a las denominadas "estaciones blancas", es decir, aquellas estaciones en las que actualmente no hay ninguna empresa operando. Las estaciones blancas están en funcionamiento pero ninguna empresa trabaja con ellas y son esenciales para el objetivo de este trabajo ya que incrementarían la demanda abastecida por Delta Patagonia.

Figura 15. Estación de servicio de la empresa Gulf.



Problema de Facility Location

La ubicación de instalaciones es una decisión estratégica importante en la planificación de operaciones para muchas empresas. En particular, para las empresas de distribución de combustible, la elección adecuada de la ubicación de sus instalaciones puede tener un impacto significativo en la eficiencia y la rentabilidad de su negocio. El *Facility Location Problem* (FLP) es un problema de optimización que se utiliza para determinar la ubicación óptima de instalaciones para satisfacer la demanda de un mercado. El objetivo del FLP es minimizar el costo total de la instalación y la operación de las instalaciones, y el costo de transporte de los productos a los puntos de demanda.

El FLP puede modelarse utilizando diferentes técnicas de programación matemática, como Programación Lineal Entera Mixta (MILP), Programación Cuadrática (QP) o Programación No Lineal (NLP). También se pueden utilizar técnicas heurísticas para resolver el problema de ubicación de instalaciones de manera eficiente. Además, es importante considerar factores como la distancia a los mercados de demanda, la accesibilidad de los clientes y la infraestructura de transporte existente al tomar decisiones de ubicación.

En Daskin et al [19], se presenta una revisión de varios modelos de localización de instalaciones que pueden ser útiles para abordar problemas en empresas de distribución de combustible, como el caso de Delta Patagonia. El artículo describe ocho modelos básicos y cinco modelos más complejos que se adaptan mejor a situaciones de la vida real, como la existencia de depósitos en la red logística, múltiples objetivos a cumplir o la variabilidad en el tiempo de la red (por ejemplo, la posibilidad de que algún nodo de la red desaparezca en el futuro).

Entre los modelos descritos se incluyen el Modelo de P-medianas, el Modelo de cobertura, el Modelo de Maximización de Cobertura, el Modelo de Hub y Spoke, el Modelo de Localización-Almacenamiento, el Modelo de Localización-Red de Distribución, el Modelo de Localización-Asignación de Clientes y el Modelo de Capacitado de Apertura de Instalaciones. Estos modelos proporcionan un marco teórico y matemático para tomar decisiones óptimas sobre la ubicación de instalaciones y recursos en una red logística, lo que puede mejorar la eficiencia y reducir los costos de una empresa de distribución de combustible.

En S. Mohammadi et al [20], se propone un modelo híbrido para resolver el problema de *facility location* y asignación de recursos en la industria del petróleo y el gas. El modelo combina técnicas de optimización y de inteligencia artificial para determinar la ubicación óptima de las instalaciones y la asignación adecuada de los recursos a dichas instalaciones. El modelo propuesto se evaluó utilizando datos reales de una empresa de petróleo y gas, y los resultados mostraron que el modelo es efectivo en la resolución del problema de *facility location* y asignación de recursos. Los autores concluyen que el modelo híbrido puede ser utilizado en la industria del petróleo y el gas para mejorar la eficiencia de la cadena de suministro y reducir los costos operativos.

En B. Badri-Koochi et al [21] se presenta un enfoque de optimización para determinar la cantidad y ubicación óptimas de estaciones de combustible alternativo en la ciudad de Chicago. El objetivo es maximizar la accesibilidad a estas estaciones mientras se minimiza el costo de construcción y operación. El modelo propuesto es un problema de localización de p medianas multiobjetivo que considera criterios como la distancia de viaje, la accesibilidad y la demanda de combustible.

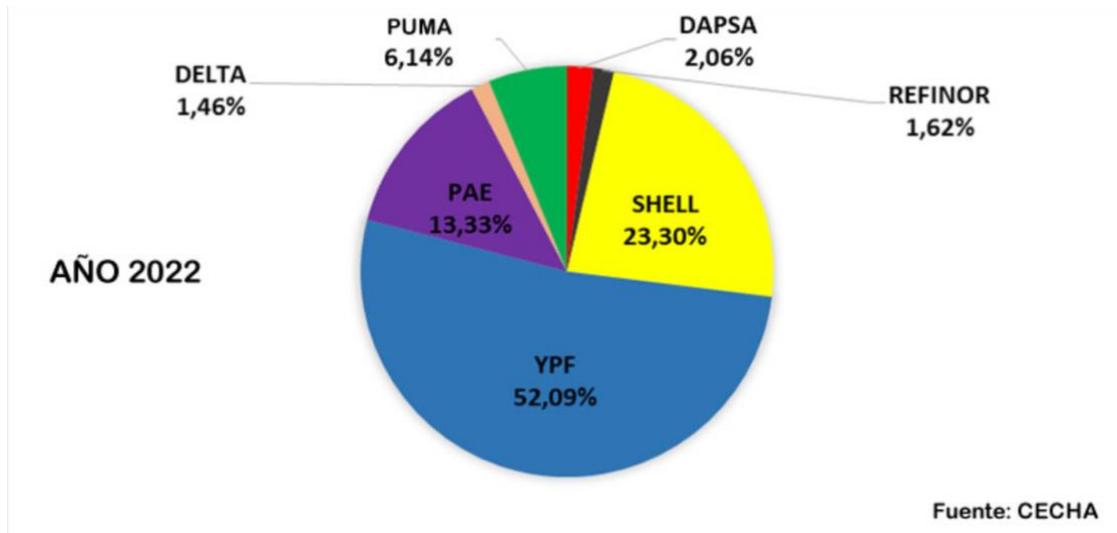
En conclusión, la selección de la ubicación óptima de las instalaciones para empresas de distribución de combustible es una tarea compleja que requiere un análisis cuidadoso de los costos y beneficios asociados. El modelado mediante FLP es útil para modelar el problema de ubicación de instalaciones y proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la planificación de operaciones para empresas de distribución de combustible.

1.3. Objetivo

El objetivo de esta tesis es aplicar modelos matemáticos de programación lineal para identificar las ubicaciones más adecuadas para la instalación de nuevas estaciones de servicio de Delta Patagonia en Argentina. El objetivo específico es seleccionar las estaciones blancas óptimas en términos de distancia (costos logísticos), costos de producto y precio de venta, a fin de superar en participación de mercado al principal competidor de Delta Patagonia, PUMA. En la Figura 16 se puede observar la participación de mercado de cada uno de los competidores de la compañía en Argentina. Además, se describirá el marco teórico y las herramientas de análisis utilizadas

para la resolución del problema, así como los resultados y conclusiones obtenidos a partir de la aplicación de los modelos propuestos.

Figura 16. Participación de mercado del sector energético en Argentina. *Página oficial de CECHA. Cámara de Empresarios de Combustibles de Argentina [23].*



El trabajo se divide en cuatro capítulos:

- **Datos:** en este capítulo se describirá cómo se obtuvieron los datos necesarios para utilizarlos como *inputs* en el modelo de optimización. Se describirá el proceso utilizado para adquirir los datos de la demanda de estaciones de servicio blancas, los precios de venta de cada producto, los costos asociados a los productos y a la logística de distribución, así como la disponibilidad de cada terminal para la Delta Patagonia. También se mencionará cómo se trabajaron los datos de la cantidad de estaciones blancas por provincia y sus coordenadas, a partir de la información disponible en la Secretaría de Energía. Se detallará el proceso de depuración y preparación de los datos para su uso en el modelo de optimización.
- **Metodología:** en este capítulo, presentaremos en detalle la metodología que se utiliza en nuestro estudio para abordar el problema de optimización de selección de estaciones de servicio blancas. En particular, describiremos los parámetros utilizados en el modelo, las variables de decisión que se seleccionaron para dicho modelo, la función objetivo que se planteó para maximizar la ganancia de la compañía y las restricciones necesarias para que el problema sea realista y coherente con el contexto de investigación. Además, proporcionaremos información sobre la implementación del modelo, los archivos utilizados como *inputs* del modelo, las herramientas utilizadas y el lenguaje de programación empleado en nuestro estudio.
- **Resultados:** en este capítulo se presentarán los resultados obtenidos a partir del modelo de optimización implementado. Se mostrarán los hallazgos y análisis de los datos

procesados, así como los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos a partir de la aplicación del modelo. Se analizarán no solo en términos de volumen, cantidad de estaciones blancas y ganancias por provincia sino también por terminales y se estimará la ganancia total obtenida por la empresa.

- **Conclusiones:** en este capítulo se realizarán las conclusiones finales del trabajo de tesis. Se resumirán los hallazgos obtenidos, se discutirán las implicaciones de los resultados y se ofrecerán recomendaciones para futuras investigaciones. En cuanto a los resultados, no solo se darán a conocer la ganancia total sino en que regiones y terminales son las principales para la estrategia de expansión.

Capítulo 2: Datos

Para el desarrollo del modelo de optimización utilizado para la ubicación de instalaciones en el contexto de la gestión logística, se requiere contar con ciertos datos fundamentales que permitan alimentar el modelo y llevar a cabo el análisis.

Entre los datos necesarios para el modelo, se encuentran los siguientes:

- **Demanda:** corresponde a la cantidad de metros cúbicos que los clientes esperan recibir por producto y por estación de servicio.
- **Costos logísticos:** incluyen los costos asociados al transporte, almacenamiento y distribución de los productos. Estos costos pueden variar en función de la distancia entre las instalaciones y el distribuidor que realice el viaje.
- **Costos del producto:** se refieren a los costos asociados a la adquisición de los productos que se distribuirán desde las terminales.
- **Precios de venta:** son los precios a los que se venderán los productos a los clientes. Estos precios pueden variar en función de la estación de servicio y del producto en cuestión.
- **Disponibilidad:** se refiere a la cantidad de cada producto que está disponible para su entrega exclusiva a Delta Patagonia por parte de cada terminal.

La utilización de estos datos en el modelo de optimización permitirá determinar la ubicación óptima de las instalaciones, de manera tal que se minimicen los costos logísticos y se maximice la eficiencia en la distribución de los productos.

a. Demanda:

En el marco de este modelo, se hace necesaria la obtención de información detallada sobre la demanda de los productos a nivel provincial, con el fin de poder llevar a cabo un análisis riguroso de la ubicación óptima de las estaciones de servicio blancas. En este sentido, la empresa Delta ha proporcionado los datos de la demanda correspondientes a cada provincia, tal como se muestra en la Figura 18. La demanda corresponde al total en Argentina, sumando la demanda de todas las empresas.

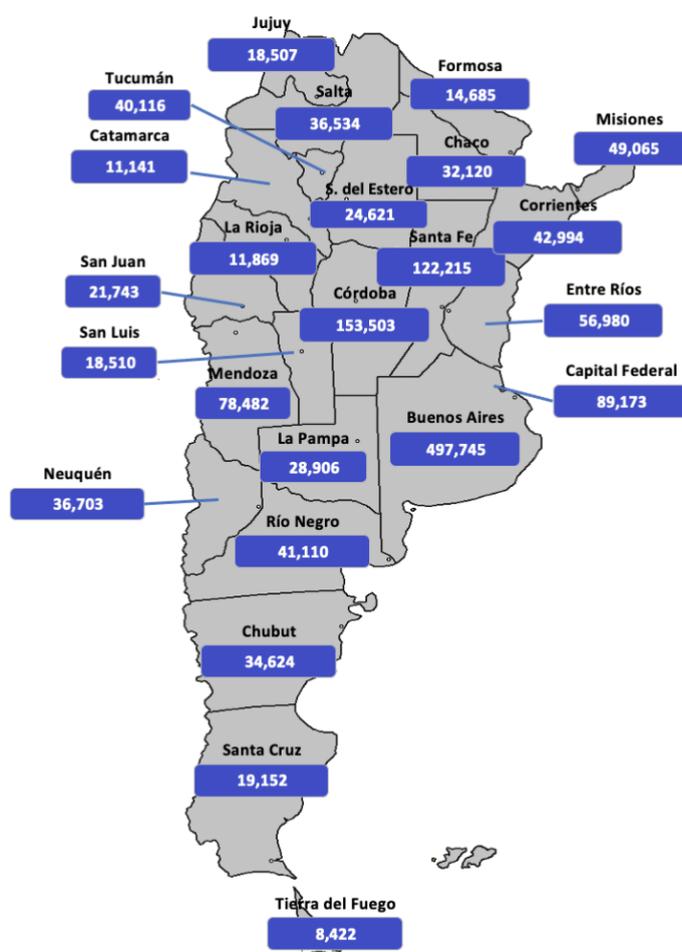
Cabe destacar que esta información de demanda ha sido proporcionada por la empresa en términos de promedio demandado en los últimos doce meses, demanda en agosto de 2022 y peso que tiene cada provincia en la demanda total. Sin embargo, para poder llevar a cabo un análisis más preciso, será necesario procesar estos datos y obtener la demanda por estación de servicio blanca y por producto. La demanda se calcula sobre las estaciones que tienen una empresa que les provee de combustible en Argentina. Las estaciones “blancas” no forman parte de esta primera demanda. Por esta razón, la demanda aumentará cuando las incorporemos.

Este proceso de obtención de la demanda por estación de servicio blanca se realizará a partir de la información provincial proporcionada por Delta.

Es importante destacar que la información de demanda proporcionada por Delta corresponde al mes de agosto de 2022, fecha en la cual se solicitaron los datos a la empresa.

En la Figura 17 se puede apreciar por medio de un gráfico de barras que las provincias con mayor relevancia se encuentran en el centro del país, incluyendo Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Capital Federal.

Figura 27. Demanda en metros cúbicos promedio por provincia.



Para poder determinar cuántos metros cúbicos de la demanda total corresponde a cada producto en cada provincia, se procedió a calcular los pesos de cada producto por provincia. Para ello, se utilizó el archivo proporcionado por Delta Patagonia que contiene las demandas totales de cada producto.

La Tabla 1 representa las demandas totales de los cuatro productos Gas Común (D500), Gas Premium (GOE), Nafta Super y Nafta Premium por provincia. Estos datos son de gran importancia, ya que permiten calcular el peso de cada producto en relación a la demanda total en cada provincia, como se mencionó anteriormente.

Tabla 1. Demanda de cada producto por provincia.

Provincias	Ventas Total ARG	D500	GOE	Nafta Super	Nafta Premium
Buenos Aires	497745	139663	77627	197478	82977
Cordoba	153503	58551	24479	51208	19266
Santa Fe	122215	43275	20085	41085	17771
Capital Federal	89173	12714	11192	40527	24740
Mendoza	78482	31602	15335	21349	10195
Entre Rios	56980	21240	9623	19245	6872
Misiones	49065	14455	7961	20998	5651
Tucuman	40116	12071	6042	17765	4238
Rio Negro	41110	11008	7321	16061	6721
Corrientes	42994	13738	7300	16496	5459
Salta	36534	11812	6867	13968	3887
Neuquen	36703	6640	9687	13402	6974
Chubut	34624	9471	7018	13937	4197
Chaco	32120	10395	5327	12897	3502
La Pampa	28906	11899	5445	7410	4153
Santiago del Estero	24621	8022	4450	9079	3069
San Juan	21743	6549	3590	8262	3341
Santa Cruz	19152	4557	4517	8068	2010
Jujuy	18507	5848	3590	7169	1900
San Luis	18510	5677	3153	7020	2659
Formosa	14685	3064	2513	6993	2115
La Rioja	11869	2036	2445	5426	1963
Catamarca	11141	2189	2065	5106	1781
Tierra del Fuego	8422	1826	1023	4361	1213

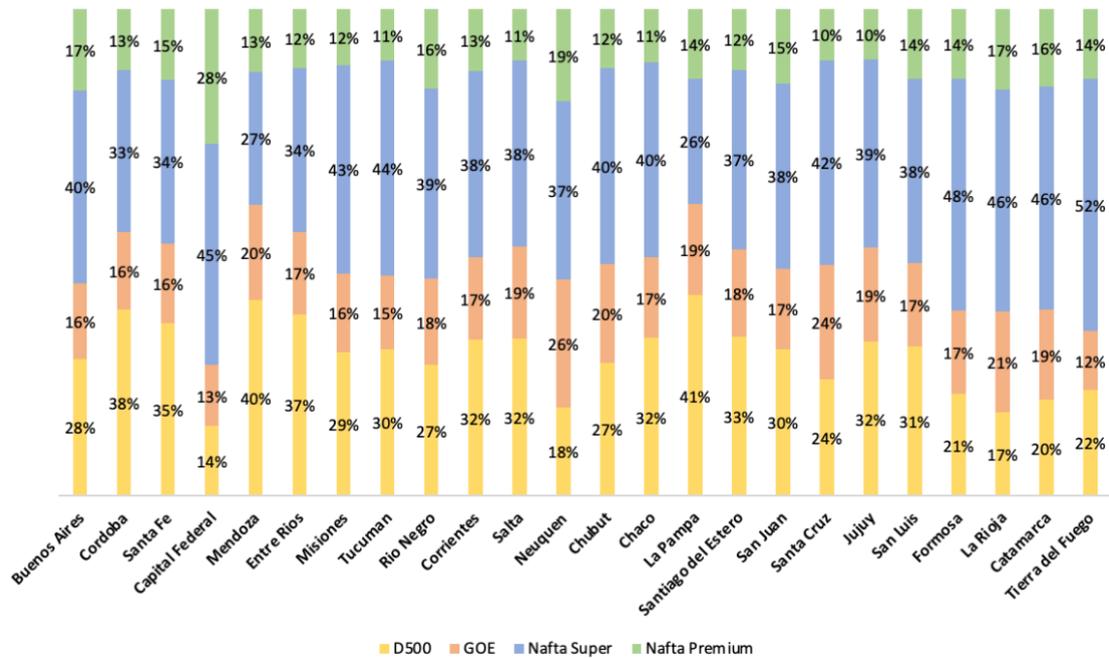
Luego, dividiendo la demanda de cada producto por la columna “Ventas Total ARG” de la Tabla 1, se obtuvieron los pesos de cada producto por provincia, los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Pesos de cada artículo por provincia.

Provincias	D500	GOE	Nafta Super	Nafta Premium
Buenos Aires	28%	16%	40%	17%
Cordoba	38%	16%	33%	13%
Santa Fe	35%	16%	34%	15%
Capital Federal	14%	13%	45%	28%
Mendoza	40%	20%	27%	13%
Entre Rios	37%	17%	34%	12%
Misiones	29%	16%	43%	12%
Tucuman	30%	15%	44%	11%
Rio Negro	27%	18%	39%	16%
Corrientes	32%	17%	38%	13%
Salta	32%	19%	38%	11%
Neuquen	18%	26%	37%	19%
Chubut	27%	20%	40%	12%
Chaco	32%	17%	40%	11%
La Pampa	41%	19%	26%	14%
Santiago del Estero	33%	18%	37%	12%
San Juan	30%	17%	38%	15%
Santa Cruz	24%	24%	42%	10%
Jujuy	32%	19%	39%	10%
San Luis	31%	17%	38%	14%
Formosa	21%	17%	48%	14%
La Rioja	17%	21%	46%	17%
Catamarca	20%	19%	46%	16%
Tierra del Fuego	22%	12%	52%	14%

La representación gráfica en forma de barras de los datos presentados en la Tabla 2 permite visualizar el mix de productos por provincia. En la Figura 18 se pueden observar estos datos. En la mayoría de las provincias, se observa una tendencia similar, donde el consumo de D500 supera al de GOE y la nafta súper es mayor que la nafta premium.

Figura 18. Peso de cada artículo por provincia.



Continuando con el proceso de obtención de la demanda por producto y por estación, es esencial que contemos con información precisa sobre la cantidad de estaciones de servicio por provincia en Argentina. Para ello, consultamos la fuente oficial de datos de la Secretaría de Energía [24], la cual reporta un total de 4707 estaciones de servicio a lo largo del país. Este total incluye las estaciones blancas.

En cuanto a este proceso de obtención la cantidad de estaciones de servicio por provincia cabe mencionar que la fuente oficial de datos de la Secretaría de Energía proporciona un archivo en formato CSV con una gran cantidad de información. Sin embargo, en este paso particular del análisis, se requiere únicamente conocer la cantidad de estaciones de servicio por provincia. Para lograr esto, se trabajó sobre el archivo para poder identificar a que provincia corresponde cada estación y a partir de este análisis se obtuvo la Tabla 3, la cual presenta la cantidad de estaciones de servicio por provincia en Argentina.

Tabla 3. Cantidad de estaciones por provincia.

Provincia	Cantidad de Estaciones
Buenos Aires	1700
Capital Federal	231
Catamarca	35
Chaco	93
Chubut	72
Cordoba	559
Corrientes	97
Entre Rios	223
Formosa	33
Jujuy	55
La Pampa	84
La Rioja	33
Mendoza	208
Misiones	104
Neuquen	77
Rio Negro	103
Salta	88
San Juan	67
San Luis	60
Santa Cruz	38
Santa Fe	516
Santiago del Estero	93
Tierra del Fuego	14
Tucuman	124

En la Tabla 3 se observa claramente la predominancia en Buenos Aires, lo que indica una mayor competencia en esta zona. La mayor cantidad de estaciones de servicio sugiere la presencia de varias empresas con diferentes precios de venta, lo que implica un mayor nivel de competencia en el mercado.

En el siguiente paso del proceso, se divide la demanda total por provincia por la cantidad de estaciones por provincia con el fin de obtener la demanda por estación en metros cúbicos. Los resultados de esta operación se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Venta por estación y por provincia en metros cúbicos.

Provincias	Cantidad de Estaciones	Ventas Promedio 12 Meses	Ventas por Estación
Buenos Aires	1700	497745	293
Cordoba	559	153503	275
Santa Fe	516	122215	237
Capital Federal	231	89173	386
Mendoza	208	78482	377
Entre Rios	223	56980	256
Misiones	104	49065	472
Tucuman	124	40116	324
Rio Negro	103	41110	399
Corrientes	97	42994	443
Salta	88	36534	415
Neuquen	77	36703	477
Chubut	72	34624	481
Chaco	93	32120	345
La Pampa	84	28906	344
Santiago del Estero	93	24621	265
San Juan	67	21743	325
Santa Cruz	38	19152	504
Jujuy	55	18507	336
San Luis	60	18510	309
Formosa	33	14685	445
La Rioja	33	11869	360
Catamarca	35	11141	318
Tierra del Fuego	14	8422	602

Una vez que hemos obtenido la demanda por estación, se procede a aplicar un proceso de filtrado de datos de la página de la Secretaría de Energía con el objetivo de seleccionar únicamente las estaciones blancas.

Una vez aplicado el proceso de filtrado de datos para seleccionar únicamente las estaciones blancas, se obtuvo un total de 836 estaciones de servicio blancas en el país, distribuidas por provincia según se muestra en la Figura 19 del trabajo. Se destaca Buenos Aires por encima de las demás provincias y en un segundo nivel tenemos a Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, Mendoza y Capital Federal. Hay provincias en las que no hay estaciones blancas disponibles como sucede en Santa Cruz y Tierra del Fuego.

En la Figura 20 se puede visualizar mediante un mapa de la Argentina las estaciones blancas por provincia.

Figura 19. Cantidad de estaciones blancas por provincia.

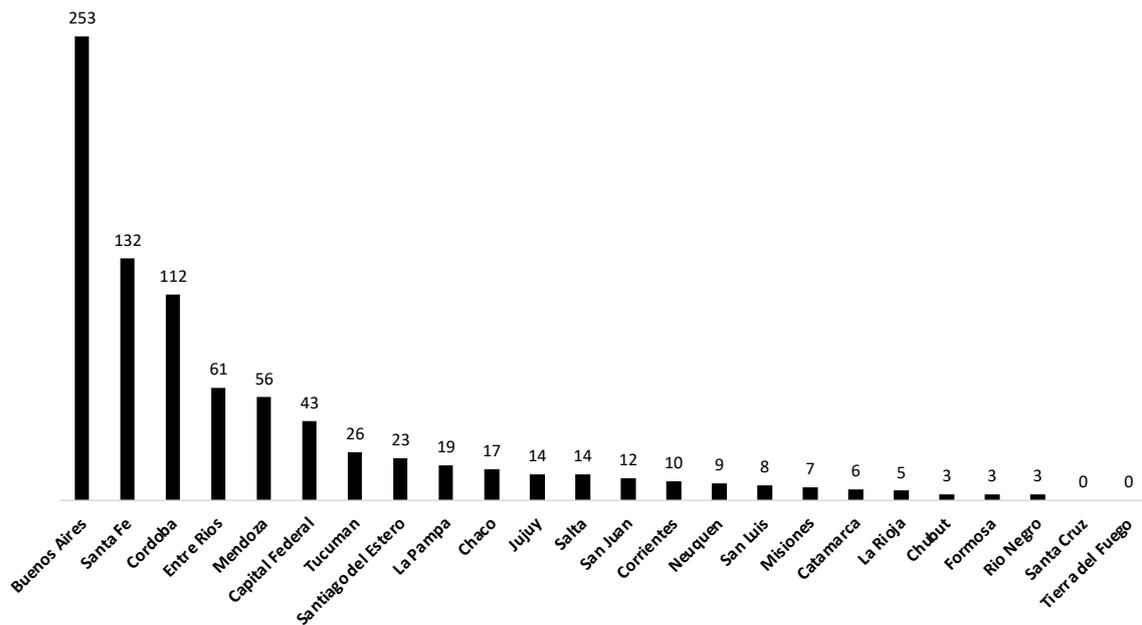
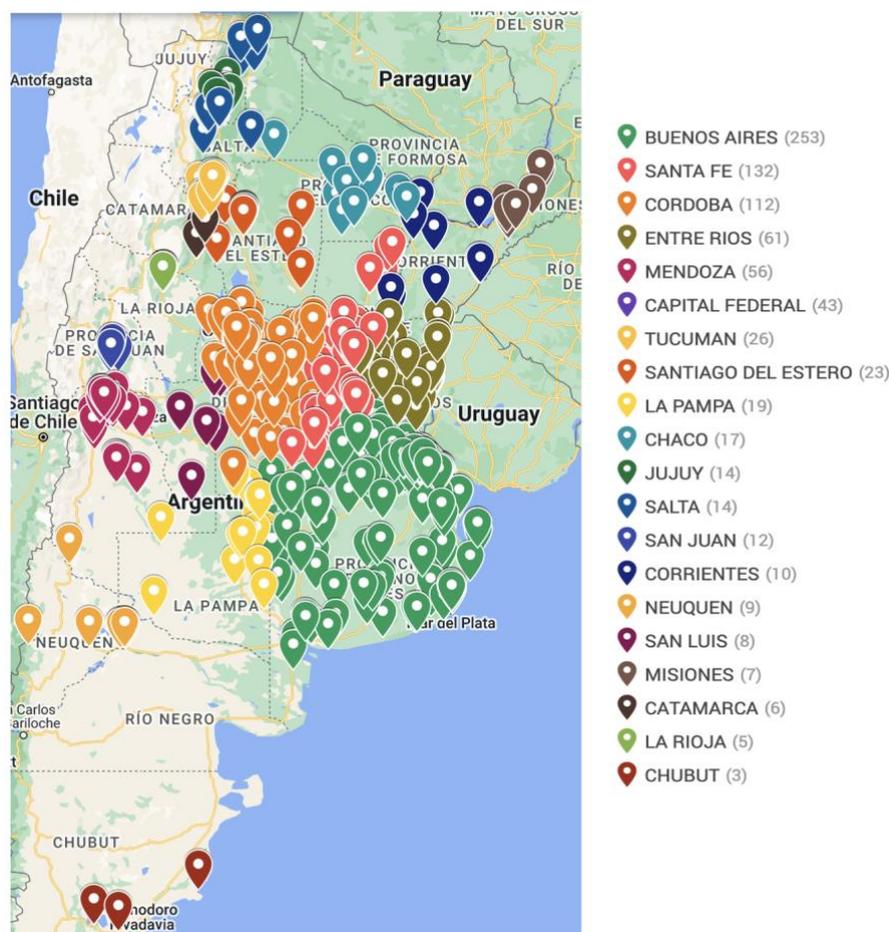


Figura 20. Geolocalización de estaciones de servicio “blancas”.



Sabiendo la cantidad de estaciones blancas por provincia de la Figura 19 y la cantidad de ventas por estación de la Tabla 4, podemos multiplicar ambos datos para obtener la demanda total por provincia que tienen las estaciones blancas tal como figura debajo.

$$\text{Cantidad de estaciones blancas} * \text{Venta por estacion (m3)} = \text{demanda total}$$

Además, sumando todas las demandas por provincia podremos obtener la cantidad total de demanda.

La Figura 21 presenta los resultados obtenidos en formato de gráfico de barras, lo que permite visualizar la demanda de combustible en diferentes provincias de Argentina. Se destaca la alta demanda en Buenos Aires, como se observaba en los gráficos anteriores. Sin embargo, ahora también se pueden identificar otras provincias, como Santa Fe y Córdoba, que demandan combustible y que no habían sido destacadas previamente en los gráficos anteriores. En el gráfico actual, Capital Federal ocupa el cuarto lugar en términos de demanda, después de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Mendoza.

En la Figura 22 se agrega un mapa de la Argentina con los datos de la demanda por provincia de la totalidad de estaciones blancas en metros cúbicos.

Figura 21. Demanda estaciones blancas total por provincia en metros cúbicos.

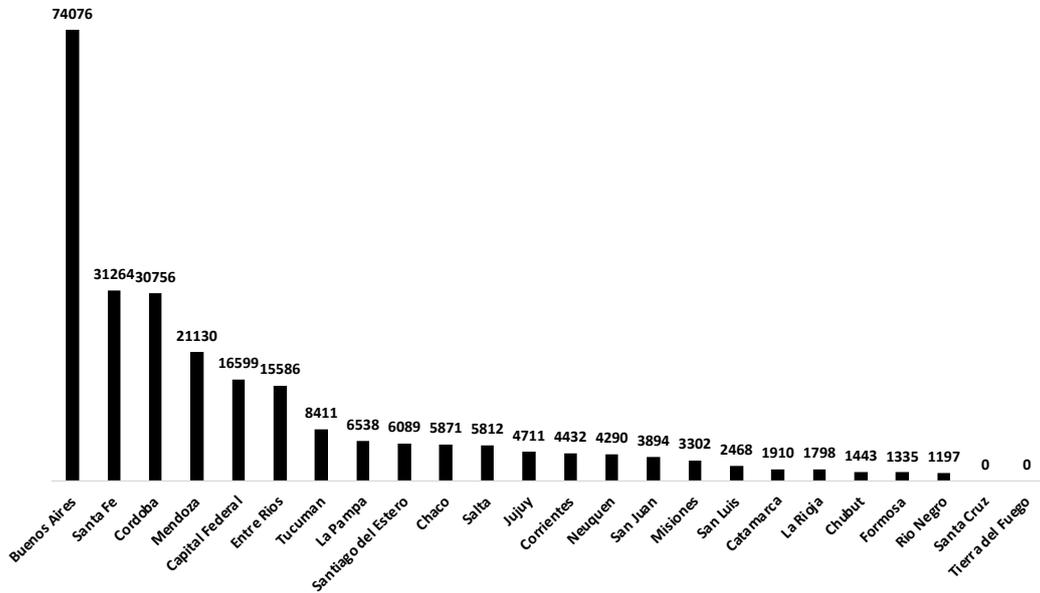
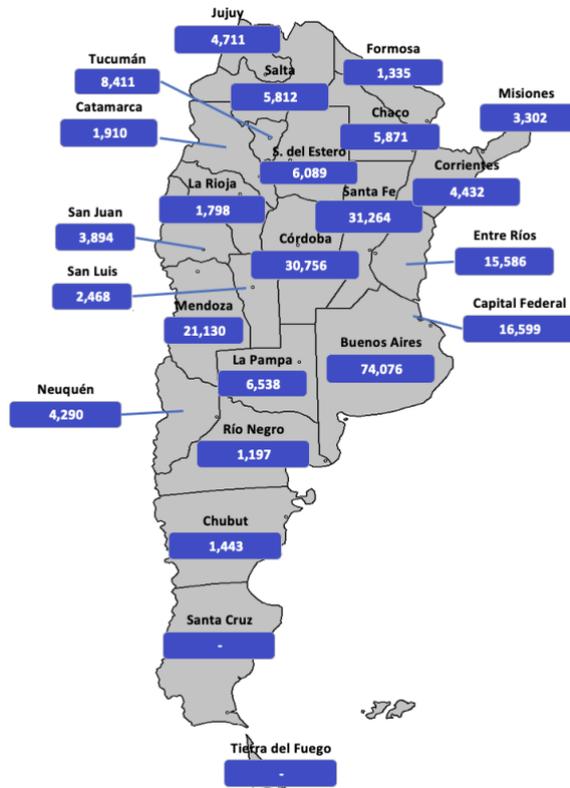


Figura 22. Mapa de Argentina con la demanda de estaciones blancas total por provincia en metros cúbicos.



Utilizando los pesos de cada producto por provincia de la Tabla 2, las demandas por provincia calculadas en la Tabla 4, multiplicamos ambos datos y lo dividimos por la cantidad de estaciones blancas por provincia que se visualizan en la Figura 19, para obtener la demanda de cada producto por estación por provincia, tal como se muestra en la Tabla 5.

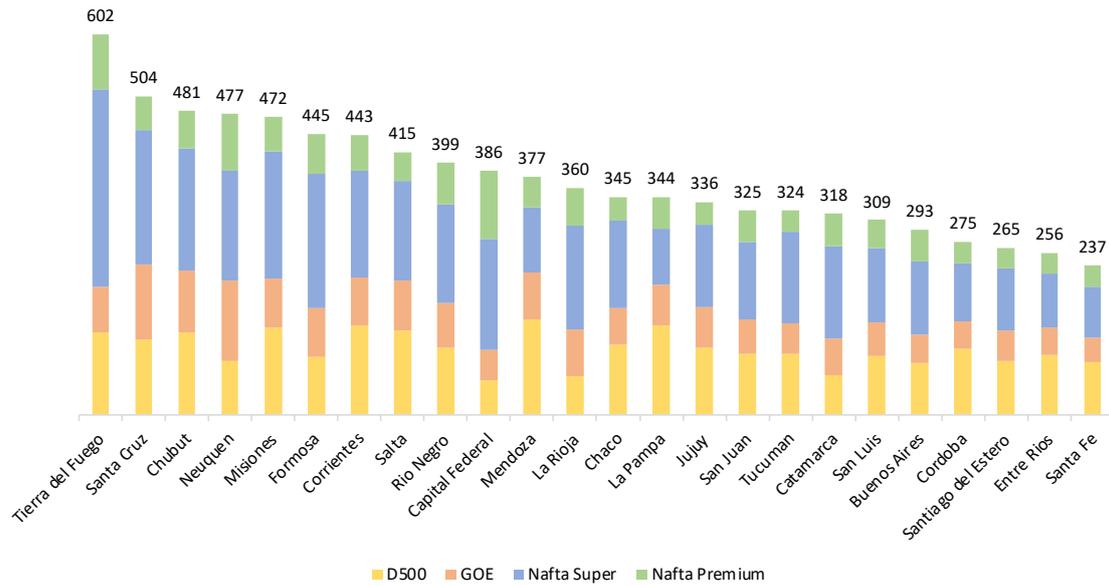
$$\frac{\text{Peso de cada producto} * \text{Demanda}}{\text{Cantidad de estaciones blancas}} = \text{Demanda por producto por estación}$$

Tabla 5. Demanda de cada producto por estación por provincia.

Provincias	D500	GOE	Nafta Super	Nafta Premium
Buenos Aires	82	46	116	49
Cordoba	105	44	92	34
Santa Fe	84	39	80	34
Capital Federal	55	48	175	107
Mendoza	152	74	103	49
Entre Rios	95	43	86	31
Misiones	139	77	202	54
Tucuman	97	49	143	34
Rio Negro	107	71	156	65
Corrientes	142	75	170	56
Salta	134	78	159	44
Neuquen	86	126	174	91
Chubut	132	97	194	58
Chaco	112	57	139	38
La Pampa	142	65	88	49
Santiago del Estero	86	48	98	33
San Juan	98	54	123	50
Santa Cruz	120	119	212	53
Jujuy	106	65	130	35
San Luis	95	53	117	44
Formosa	93	76	212	64
La Rioja	62	74	164	59
Catamarca	63	59	146	51
Tierra del Fuego	130	73	311	87

En la Figura 23 se presenta un gráfico de barras que muestra la cantidad de combustible que se debe abastecer en cada estación blanca. Se observa que en Tierra del Fuego, donde hay menor cantidad de estaciones, la cantidad a abastecer por estación es destacada en el gráfico. Similarmente, ocurre en menor medida con Santa Cruz. Necesitamos incluir estos datos como inputs en el modelo pero al no haber estaciones blancas en ambas provincias, esas dos provincias no serán tenidas en cuenta.

Figura 23. Demanda de cada producto por estación por provincia.



Una vez obtenida la demanda por producto por estación blanca que figura en la Tabla 5, la concatenamos con la muestra de la Secretaria de Energía que tiene un número de identificación para cada estación blanca. Esta información se visualiza en la Tabla 6. Allí se pueden ver seis columnas, la primera indica a qué provincia corresponde la estación, la segunda es un identificador de la estación (cada una tiene un número distinto) y luego las demandas en metros cúbicos de los cuatro productos.

Cabe destacar que la Tabla 6 solo muestra una cierta cantidad de filas y no la totalidad, con el fin de que el lector no tenga problemas al visualizar la información.

Tabla 6. Demanda por producto por estación blanca.

provincia	estacion	D500	GOE	Nafta Super	Nafta Premium
SANTA FE	2530	84	39	80	34
BUENOS AIRES	1382	82	46	116	49
BUENOS AIRES	348	82	46	116	49
MENDOZA	6197	152	74	103	49
CORDOBA	4162	105	44	92	34
CORDOBA	8952	105	44	92	34
SANTA FE	3471	84	39	80	34
SALTA	10243	134	78	159	44
SANTA FE	5141	84	39	80	34
SANTA FE	4983	84	39	80	34
SANTA FE	5031	84	39	80	34
SANTA FE	4890	84	39	80	34
SANTA FE	7425	84	39	80	34
SANTA FE	4957	84	39	80	34
SANTA FE	4887	84	39	80	34
BUENOS AIRES	7775	82	46	116	49
BUENOS AIRES	7781	82	46	116	49
ENTRE RIOS	6662	95	43	86	31
ENTRE RIOS	10711	95	43	86	31
BUENOS AIRES	5938	82	46	116	49

b. Costos logísticos:

Para el cálculo de los costos logísticos necesarios para la distribución del combustible en las estaciones blancas, es imprescindible contar con dos datos importantes: el costo de distancia por kilómetro recorrido y la distancia desde cada terminal de la empresa distribuidora hasta cada estación blanca.

El costo de distancia por kilómetro recorrido fue proporcionado por la empresa Delta Patagonia, que cuenta con cinco empresas distribuidoras que trabajan en distintas terminales en el país. Es importante destacar que los nombres de las empresas son confidenciales, por lo que se han utilizado nombres ficticios en este trabajo. A continuación, se detallan las terminales correspondientes a cada empresa distribuidora:

- Distribuidora A: Terminal de San Lorenzo.
- Distribuidora B: Terminal de Barranqueras.
- Distribuidora C: Terminal de Plaza Huincul.
- Distribuidora D: Terminal de La Plata y La Matanza.
- Distribuidora E: Terminal de Montecristo y Terminal de Luján de Cuyo.

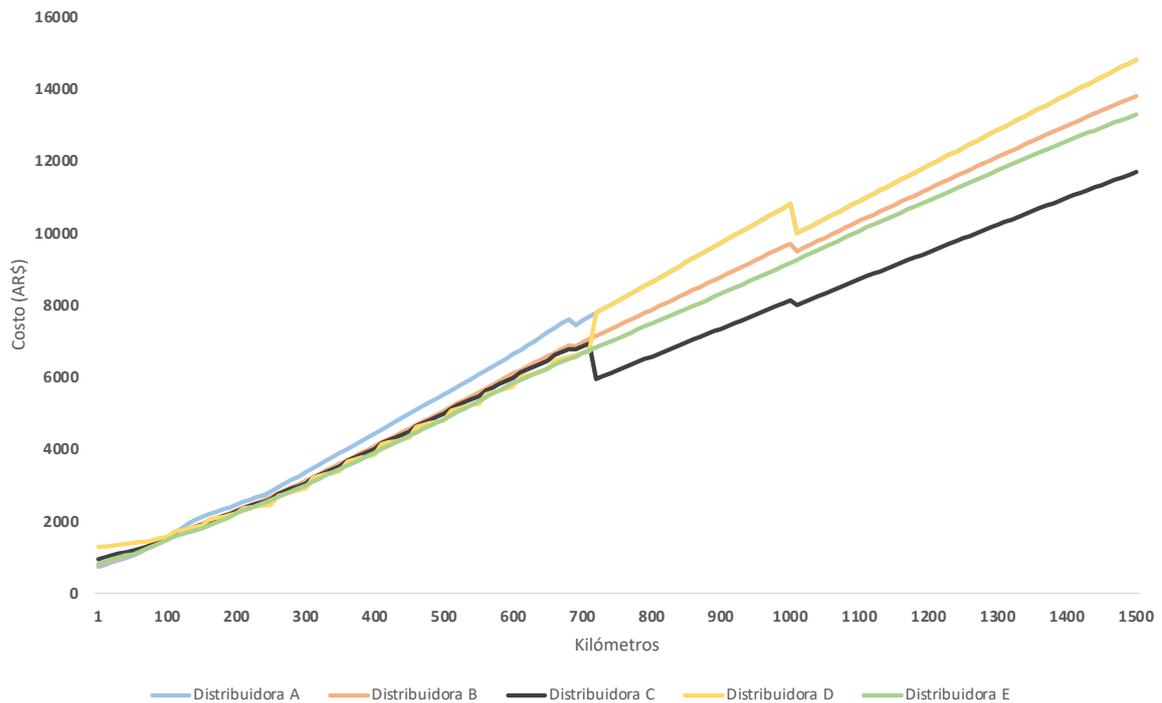
En la Tabla 7 se presenta el costo por kilómetro recorrido en pesos argentinos (ARS) sobre metro cúbico de cada empresa distribuidora. Cabe destacar que, al igual que en otras tablas, no se presenta la totalidad de las filas para facilitar su lectura.

Tabla 7. Costo en ARS/m³ por kilómetro recorrido.

Km	Distribuidora A	Distribuidora B	Distribuidora C	Distribuidora D	Distribuidora E
1	738	792	964	1307	819
10	801	871	1016	1307	905
20	864	931	1065	1334	964
30	926	982	1108	1361	1010
40	989	1031	1150	1387	1052
50	1072	1088	1196	1414	1096
60	1154	1168	1253	1424	1175
70	1237	1247	1311	1441	1252
80	1319	1325	1380	1490	1328
90	1451	1420	1458	1536	1404
100	1572	1510	1532	1576	1480

En la Figura 24 se presenta un gráfico que muestra los costos por kilómetro recorrido por empresa distribuidora. Se observa que la empresa D es la más costosa en los primeros 100 kilómetros, ya que distribuye en provincias con mayor poder adquisitivo como Buenos Aires y Capital Federal. Sin embargo, a partir de los 100 a los 700 kilómetros, la empresa A supera en costos a la empresa D, que distribuye en las provincias aledañas a la Terminal de San Lorenzo. A partir de los 700 kilómetros, los costos de la empresa D y la empresa A se igualan. Por otro lado, la empresa C es la más económica a partir de los 700 kilómetros, ya que abastece la región sur del país.

Figura 24. Costo en ARS por kilómetro recorrido.



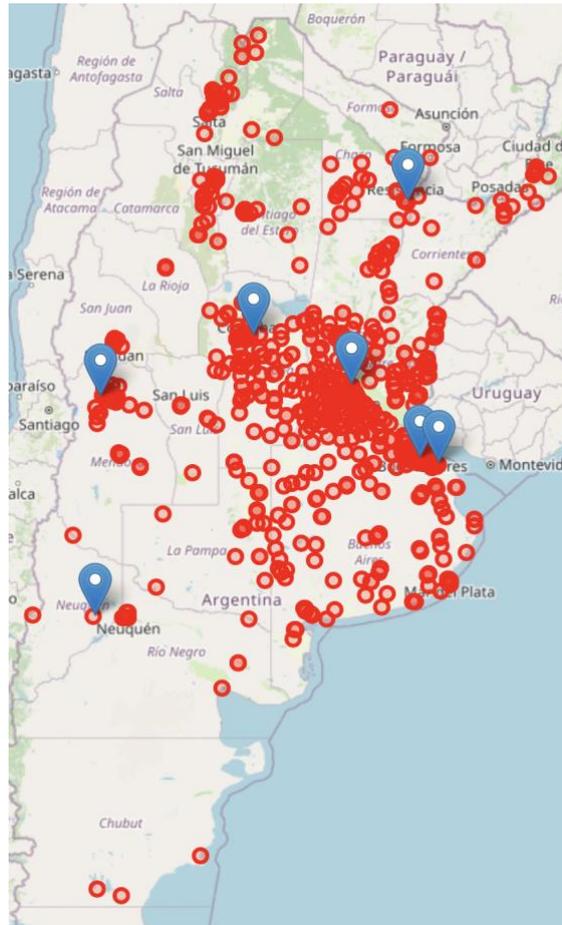
Para calcular la distancia desde cada terminal a cada estación blanca se utilizó la fórmula de Haversine implementada en Python. La fórmula de Haversine es una fórmula matemática que se utiliza para calcular la distancia entre dos puntos en una esfera, como la Tierra. La fórmula se basa en la ley de los cosenos y utiliza la latitud y longitud de los dos puntos para calcular la distancia [25].

Los datos de latitud y longitud de las estaciones blancas se obtuvieron del archivo de la Secretaría de Energía. Para obtener los datos de latitud y longitud de las terminales, se recurrió a Google Maps.

La implementación en Python se detalla en el archivo `calculo_distancias.py`, cuyas capturas de pantalla se encuentran en el Apéndice A, Figura 57.

Una vez obtenidas las distancias desde cada estación blanca hasta cada terminal, los resultados se representaron de manera visual en un mapa geográfico en la Figura 25. Este mapa proporciona una representación espacial y fácil de entender de las distancias entre las estaciones blancas y las terminales.

Figura 25. Ubicación geográfica de las terminales y las estaciones blancas.



Para obtener los costos logísticos correspondientes a los viajes entre las estaciones y las terminales, se combinó la Tabla 7, que contiene el costo por kilómetro de las empresas distribuidoras, y los resultados obtenidos representados en la Figura 25, que muestra la distancia en kilómetros entre cada estación blanca y cada terminal. La Tabla 8 presenta los costos en pesos argentinos sobre metro cúbico (ARS/m³) resultantes de esta combinación. La Tabla 8 no muestran la totalidad de la información para ayudar a la visualización del lector.

Tabla 8. Costo de distancia por estación blanca en ARS/m³.

Estaciones/Terminales	La Matanza	La Plata	Montecristo	San Lorenzo	Lujan de Cuyo	Barranqueras	Plaza Huincul
2530	2918	3660	3279	1572	6571	6960	7419
1382	1307	1424	5924	3150	8901	7685	8392
348	1334	1441	5924	3150	8901	7685	8392
6197	10256	9984	4557	7987	1010	10412	6686
4162	5168	5682	1897	3251	4557	7413	6801
8952	5533	6053	1175	3049	5339	6295	7812
3471	6459	6559	4937	4876	9247	1919	11178
10243	12742	13230	6990	10688	9072	7050	11674
5141	2819	3357	3368	1319	6826	6865	7655
4983	2421	2869	3812	1319	7236	6865	7891
5031	3307	3809	2853	1237	6571	6582	7734
4890	3407	4132	3012	2262	6006	7503	6878

Una vez que multiplicamos los datos de la Tabla 8 por el volumen que consume cada estación sumando los cuatro productos tal como se observa en la Figura 23, obtenemos el costo logístico total en pesos argentinos para cada una de las estaciones blancas tal como figura en la siguiente ecuación.

$$\text{Tarifa del distribuidor} * \text{Volumen por estación} = \text{Costo logístico por estación}$$

Para tener una mejor visualización de la información generamos la Tabla 9 en la cual figura el costo de distancia promedio por cada terminal y el porcentaje de estaciones que se encuentran por encima de ese costo.

Tabla 9. Costo de distancia por estación blanca en ARS.

	La Matanza	La Plata	Montecristo	San Lorenzo	Lujan de Cuyo	Barranqueras	Plaza Huincul
Costo Promedio	\$ 1,616,964	\$ 1,702,970	\$ 1,505,432	\$ 1,472,220	\$ 2,162,147	\$ 2,287,471	\$ 2,467,268
Porcentaje de Estaciones > Promedio	35%	35%	51%	34%	48%	42%	31%

c. Costos del producto:

Para conocer los costos que Delta Patagonia tiene por producto en cada una de sus terminales, la empresa proporcionó los datos en pesos argentinos (ARS) por metro cúbico (m3). Estos costos varían según la terminal en cuestión. En la Tabla 10, se presentan los códigos de las terminales en las filas y los productos en las columnas. Las celdas contienen los costos en ARS/m3.

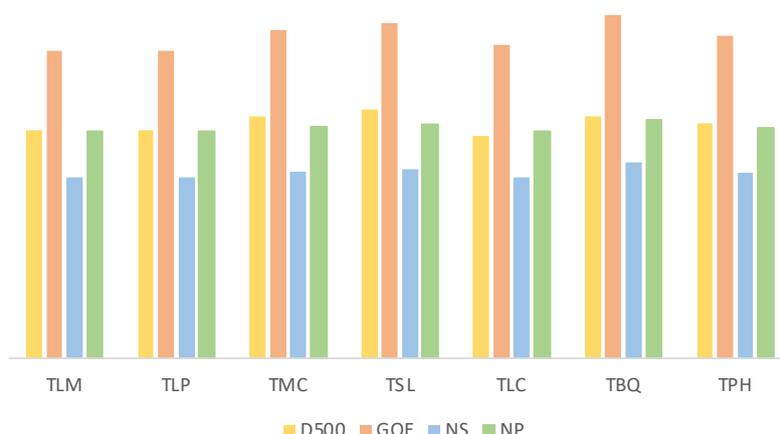
Las terminales incluidas en la tabla son La Matanza, La Plata, Montecristo, San Lorenzo, Lujan de Cuyo, Barranqueras y Plaza Huincul. Los productos que se consideran son Gas Común (D500), Gas Premium (GOE), Nafta Súper (NS) y Nafta Premium (NP).

Tabla 10. Costo de cada producto por terminal.

Terminal/Producto	D500	GOE	NS	NP
TLM	99503	134357	78867	98876
TLP	99561	134357	78867	98876
TMC	105593	143312	81278	101066
TSL	108634	146163	82301	101862
TLC	97261	136602	79067	99337
TBQ	105704	150164	85339	103931
TPH	102709	140826	80953	100658

Al representar los datos de la Tabla 10 en un gráfico de barras, como se muestra en la Figura 25, se observa de manera clara que los mayores costos corresponden al gasoil en comparación con la nafta. Esta representación gráfica simplifica la visualización de esta tendencia en los datos.

Figura 26. Costo de cada producto por terminal.



d. Precios de venta:

El precio de venta es un factor determinante en el análisis de la rentabilidad de la empresa, el cual depende de la provincia y del producto en cuestión. Delta Patagonia proporcionó los datos de los precios de venta en pesos argentinos por metro cúbico (m³) de cada producto para cada provincia correspondiente.

Para una mejor visualización y organización de esta información, se presenta en la Tabla 17 el resumen de los precios de venta por provincia y por producto. La tabla consta de filas que indican las diferentes provincias y columnas que representan los cuatro productos ofrecidos por Delta Patagonia.

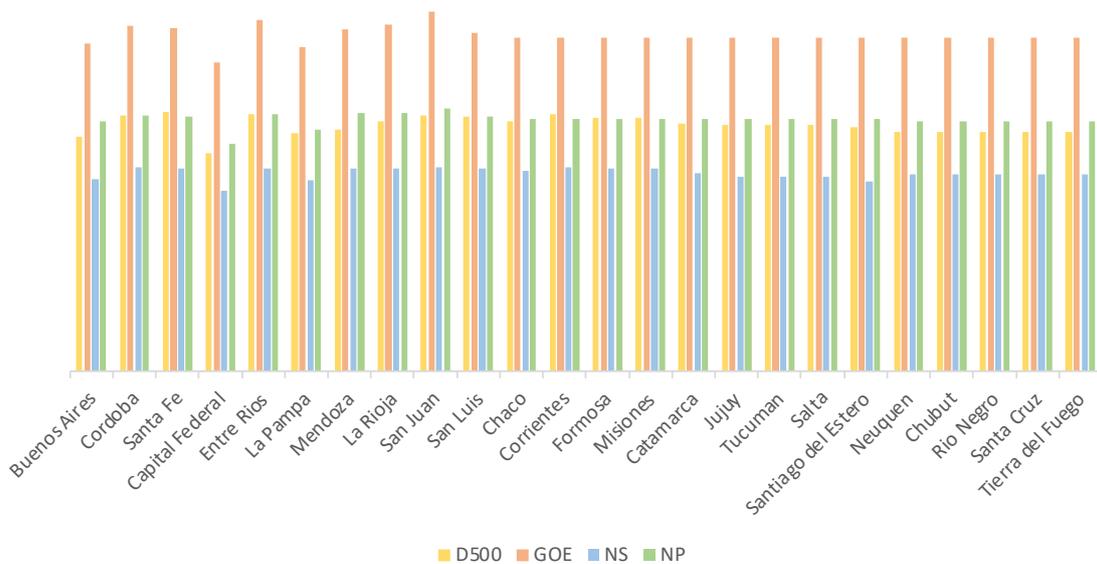
Es importante destacar que estos precios son variables y están sujetos a cambios en función de la situación económica y de mercado, por lo que la empresa realiza ajustes periódicos para mantener su competitividad.

Tabla 11. Precio de venta de cada producto por provincia en ARS/m³.

Provincia	D500	GOE	NS	NP
Buenos Aires	104694	146215	85982	111476
Cordoba	114332	154134	90876	114277
Santa Fe	115633	153271	90382	113724
Capital Federal	97360	137735	80464	101497
Entre Rios	114983	156999	90603	114898
La Pampa	106087	144863	85484	107727
Mendoza	107748	152516	90513	115490
La Rioja	111799	154695	90779	115449
San Juan	113961	160332	91304	117183
San Luis	113687	151236	90520	113674
Chaco	111612	149087	89613	112730
Corrientes	114972	149087	91309	112730
Formosa	113292	149087	90461	112730
Misiones	113292	149087	90461	112730
Catamarca	110661	149126	88476	112730
Jujuy	109883	149126	86589	112730
Tucuman	109883	149126	86589	112730
Salta	109883	149126	86589	112730
Santiago del Estero	109105	149126	84702	112730
Neuquen	106918	148690	87999	111609
Chubut	106918	148690	87999	111609
Rio Negro	106918	148690	87999	111609
Santa Cruz	106918	148690	87999	111609
Tierra del Fuego	106918	148690	87999	111609

Al representar los datos de la Tabla 11 en un gráfico de barras, como se muestra en la Figura 27, se destaca claramente el precio de venta del gasoil premium (GOE) por encima del resto de los productos. Es interesante observar que el precio del gasoil común (D500) es similar al precio de la nafta premium. Esto suele suceder durante los últimos años debido al faltante de gas que suele haber en Argentina. Esta representación gráfica facilita la identificación de estas diferencias en los precios de venta entre los productos analizados.

Figura 27. Precio de venta de cada producto por provincia en ARS/m3.



Para determinar el precio de venta de cada producto por estación, se combinó la Tabla 11, la cual contiene los precios de venta por metro cúbico por provincia y por producto, con el archivo de la Secretaría de Energía, que incluye todas las estaciones blancas. La Tabla 12 muestra esta combinación, donde la primera columna corresponde a la provincia de cada estación, seguida de la identificación de cada estación blanca y, finalmente, los precios de venta de cada producto por estación.

Tabla 12. Precio de venta de cada producto por estación blanca en ARS/m3.

provincia	estacion	D500	GOE	NS	NP
SANTA FE	2530	115633	153271	90382	113724
BUENOS AIRES	1382	104694	146215	85982	111476
BUENOS AIRES	348	104694	146215	85982	111476
MENDOZA	6197	107748	152516	90513	115490
CORDOBA	4162	114332	154134	90876	114277
CORDOBA	8952	114332	154134	90876	114277
SANTA FE	3471	115633	153271	90382	113724
SALTA	10243	109883	149126	86589	112730
SANTA FE	5141	115633	153271	90382	113724
SANTA FE	4983	115633	153271	90382	113724
SANTA FE	5031	115633	153271	90382	113724

e. Disponibilidad:

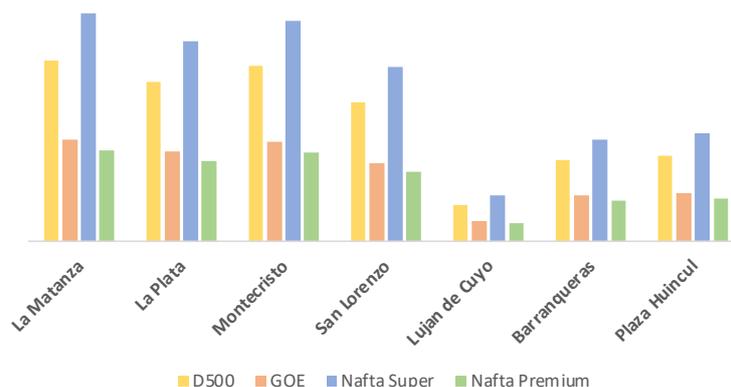
La disponibilidad de combustible es un factor crítico para el éxito de la empresa, ya que establece el límite superior para la cantidad de producto que se puede solicitar a las terminales. Con el fin de modelar con precisión la situación actual de la empresa, se obtuvieron los datos de la cantidad de combustible disponible exclusivamente para Delta Patagonia por parte de cada terminal y por tipo de producto. Es importante destacar que, si bien en la actualidad la empresa no está utilizando la totalidad de la disponibilidad proporcionada, se requiere considerar la posibilidad de que esto suceda en el futuro cercano. Por lo tanto, los datos presentados en la Tabla 13 representan la disponibilidad mensual de combustible en metros cúbicos para cada tipo de producto y terminal, lo que permite establecer una cota superior para la cantidad de producto que se puede solicitar. La demanda es promedio ya que en verano aumenta el consumo de combustible debido a un aumento en los viajes por vacaciones.

Tabla 13. Cantidad de cada producto disponible mensual para Delta Patagonia por terminal en metros cúbicos.

Terminal/Producto	D500	GOE	Nafta Super	Nafta Premium
La Matanza	8124	4586	10214	4101
La Plata	7151	4037	8991	3610
Montecristo	7882	4449	9910	3979
San Lorenzo	6224	3513	7824	3141
Lujan de Cuyo	1645	929	2068	830
Barranqueras	3639	2054	4574	1837
Plaza Huincol	3851	2174	4841	1944

En la Figura 28 se representa la Tabla 13 en formato de gráfico de barras, lo cual permite una visualización más clara de la disponibilidad de productos en distintas terminales. Se observa que en todas las terminales analizadas, la nafta súper presenta una mayor disponibilidad en comparación con la nafta premium y el gasoil común (D500) en relación con el gasoil premium (GOE). Además, se destaca una menor disponibilidad de productos en las terminales de Luján de Cuyo, Barranqueras y Plaza Huincol, lo cual es evidente en el gráfico de barras. Esta representación gráfica facilita la identificación de patrones y diferencias en la disponibilidad de productos en las distintas terminales estudiadas.

Figura 28. Cantidad de cada producto disponible mensual para Delta Patagonia por terminal en metros cúbicos.



Después de haber realizado la recolección, depuración y análisis exhaustivo de todos los datos necesarios para la selección de las estaciones que maximizarán los beneficios de la empresa, se procederá a describir detalladamente en el Capítulo 3 de este trabajo la metodología utilizada para la óptima selección de dichas estaciones. Este capítulo será fundamental para comprender el proceso de toma de decisiones y las técnicas estadísticas empleadas para la selección de las estaciones que generarán mayores ganancias para Delta Patagonia.

Capítulo 3: Metodología

En la metodología utilizada para seleccionar las estaciones de servicio blancas que maximicen la ganancia de Delta Patagonia y superen a su competencia Puma Energy en términos de participación de mercado, se definieron varios elementos importantes en el modelo de optimización.

Parámetros del modelo: Se definieron los valores numéricos y constantes que son utilizados en el modelo para representar características del problema, tales como los costos de distribución, los precios de venta de los productos, las capacidades de las estaciones de servicio, la demanda de combustible por estación de servicio, entre otros.

Variables de decisión: Se identificaron las variables que se utilizan en el modelo para tomar decisiones y encontrar la solución óptima.

Función objetivo: Se define la función objetivo del modelo, la cual representa el objetivo a maximizar. En este caso, la función objetivo está relacionada con la ganancia de Delta Patagonia.

Restricciones: Se establecieron las restricciones que limitan la solución del problema. Estas restricciones son consideradas en el modelo para garantizar que la solución encontrada sea factible y realista.

Implementación del modelo: Se describe cómo se implementó el modelo de optimización, incluyendo las herramientas, el lenguaje de programación, y los algoritmos de optimización aplicados.

La descripción formal de la metodología utilizada para el modelo de optimización permitirá a los lectores de la tesis comprender de manera clara y precisa los elementos involucrados en la selección de estaciones de servicio blancas y cómo se abordó el problema de maximización de ganancias y superación de participación de mercado frente a la competencia.

Parámetros

En el marco de esta tesis, los parámetros utilizados en el modelo de optimización son obtenidos a partir de los datos recopilados en el Capítulo 2 de la investigación. Estos parámetros incluyen:

- Conjunto de posibles estaciones (estaciones.txt): representa el conjunto de estaciones de servicio blancas consideradas en el modelo.
- Conjunto de terminales (terminales.txt): representa el conjunto de terminales de distribución consideradas en el modelo.
- Conjunto de artículos (artículos.txt): representa el conjunto de artículos considerados en el modelo.
- Conjunto de provincias (provincias.txt): representa el conjunto de provincias consideradas en el modelo.
- Demanda por estación y artículo (demanda.txt): representa la demanda esperada de cada artículo en cada estación de servicio blanca.
- Cantidad disponible por terminal y artículo (disponibilidad.txt): representa la cantidad disponible de cada artículo en cada terminal de distribución.

- Costo de envío hacia cada estación desde cada terminal (costo_l.txt): representa el costo de envío en pesos argentinos desde cada terminal a cada estación de servicio blanca.
- Precio de venta de cada artículo por estación (precio.txt): representa el precio de venta de cada artículo en cada estación de servicio.
- Precio por terminal y artículo (costo_p.txt): representa el precio de compra de cada artículo en cada terminal de distribución.
- Estación por provincia (estaciones_prov.txt): representa a qué provincia corresponde cada estación de servicio blanca. Se utiliza para computar la cantidad de estaciones que se seleccionan por provincia y así no superar el máximo de estaciones por provincia.
- Máximo por provincia (max_x_provincias.txt): representa el máximo de estaciones de servicio blancas que se permite abrir en cada provincia. Depende de la cantidad disponible de estaciones blancas por provincia.
- Distancias (distancias.txt): representa la distancia desde cada estación de servicio blanca a cada terminal.

Consideremos los siguientes conjuntos:

$E = \{1, 2, \dots, n\}$ siendo n el número total de estaciones blancas con $i \in E$

$T = \{1, 2, \dots, m\}$ siendo m el número total de terminales con $j \in T$

$A = \{1, 2, \dots, w\}$ siendo w el número total de productos con $a \in A$

$P = \{1, 2, \dots, v\}$ siendo v el número total de provincias con $p \in P$

Variables de decisión

En el modelo de optimización propuesto, se definen dos tipos de variables de decisión. La primera, $x[i]$, es una variable binaria que indica si se decide abrir o no la estación i . Si $x[i] = 1$, entonces la estación i es abierta, mientras que si $x[i] = 0$, la estación i permanece cerrada.

La segunda variable, $y[i,j]$, también es binaria y se utiliza para determinar si la estación i es atendida por la terminal j . Si $y[i,j] = 1$, entonces la estación i es atendida por la terminal j , mientras que si $y[i,j] = 0$, la estación i no es atendida por la terminal j .

Función Objetivo

La función objetivo del modelo de optimización se define como la maximización de la expresión (1) menos la expresión (2) menos la expresión (3). La expresión (1) representan los ingresos que se obtienen por la venta de los productos en cada una de las estaciones de servicio seleccionadas, mientras que la expresión (2) representa los costos logísticos asociados con la distribución de los productos a cada una de las estaciones. Por último, la expresión (3) representa los costos de los productos en sí mismos.

En resumen, el objetivo del modelo es maximizar las ganancias totales, teniendo en cuenta los costos logísticos y de los productos, para lo cual se utilizan las expresiones (1), (2) y (3) como funciones matemáticas.

Término de ingreso

$$\sum_{i=1}^n \sum_{a=1}^w demanda [i, a] \cdot precio [i, a] \cdot x [i] \quad (1)$$

Término de costo logístico

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m costo_l [i, j] \cdot y [i, j] \quad (2)$$

Término de costo de producto

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^w costo_p [j, a] \cdot demanda [i, a] \cdot y [i, j] \quad (3)$$

Restricciones

En el modelo se agregaron cuatro restricciones para garantizar que los valores de las variables representen adecuadamente las soluciones factibles del problema.

- a. La primera restricción garantiza que solo una terminal atienda cada estación si la estación se abre. Esto se expresa en la ecuación (4).

$$\sum_{j=1}^m y [i, j] = x [i] \forall i = 1, 2 \dots n. \quad (4)$$

- b. La segunda restricción asegura que se respete la disponibilidad de cada terminal de cada artículo. Esto se expresa en la ecuación (5).

$$\sum_{i=1}^n demanda [i, a] \cdot y [i, j] \leq disponible [j, a] \forall j = 1, \dots, m, \forall a = 1, \dots, w \quad (5)$$

- c. La tercera restricción establece el máximo de estaciones que pueden estar abiertas por provincia. Esto se expresa en la ecuación (6).

$$\sum_{i=1}^n estaciones_prov [i, p] \cdot x [i] \leq maximo_x_provincias [p] \forall p = 1, \dots, v \quad (6)$$

- d. La cuarta restricción garantiza que se cumpla la demanda de 113.219 metros cúbicos mensuales para llegar a un *share* de 6.5% a total Argentina y ganarle a la principal competencia PUMA. Esto se expresa en la ecuación (7) en la cual se le restaron los metros cúbicos que actualmente vende Gulf.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{a=1}^w \text{demanda } [i, a] \cdot x[i] \geq 91388 \quad (7)$$

Con el fin de alcanzar la meta de participación de mercado del 6.5%, se realizó un cálculo de la demanda total en Argentina, asumiendo que todas las estaciones blancas estuvieran disponibles. Para ello, se utilizó la información de demanda por provincia de la Tabla 1 del Capítulo 2 para obtener la demanda actual, y la información de la Figura 21 del mismo capítulo para calcular la posible demanda en caso de que todas las estaciones blancas estuvieran disponibles.

Posteriormente, se sumaron ambas demandas y se calculó el 6.5% de la demanda total, lo que resultó en un valor de 113.219 metros cúbicos, tal como se puede observar en la Tabla 14. Si restamos lo que vende actualmente Gulf a esos 113.219 metros cúbicos llegaríamos al valor de 91.388 metros cúbicos los cuales tendríamos que obtener.

En este caso particular, el objetivo es alcanzar un volumen específico, sin tener en cuenta la combinación de productos, sino centrándonos en la totalidad de metros cúbicos necesarios para lograr un 6.5% de participación de mercado.

Tabla 14. Estimación de demanda en metros cúbicos sumando estaciones blancas.

	Actual	Con Estaciones Blancas
Demanda Total Argentina	1,488,918	1,741,833
Ventas Total Gulf	21,831	113,219
Share	1.5%	6.5%

- e. La quinta restricción garantiza que un distribuidor no transporte el combustible por más de 480 kilómetros. Se estimaron unas 8 horas de viaje a 60 kilómetros por hora. Esto se expresa en la ecuación (8).

$$y [i, j] = 0 \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m: \text{distancias } [i, j] \geq 480 \quad (8)$$

Implementación

La metodología utilizada en este trabajo de tesis involucró el uso de Zimpl, un lenguaje de modelado de optimización matemática, Thorsten Koch, 2021 [26]. Zimpl se utiliza para especificar modelos de programación lineal entera mixta (MILP) y modelos de programación no lineal. La sintaxis de Zimpl es sencilla y fácil de leer, lo que facilita la construcción de modelos matemáticos complejos.

Como se mencionó en la Introducción del trabajo, el modelo presentado se basa en la optimización de la selección de estaciones de servicio que maximizan la ganancia de la empresa, teniendo en cuenta la demanda de cada estación y la disponibilidad de los productos en cada terminal. Además, se tiene en cuenta el costo de envío de los productos a cada estación y el costo de los productos en cada terminal.

Para implementar el modelo, se definieron varios conjuntos y parámetros utilizando Zimpl. Estos conjuntos se utilizaron como datos de entrada para el modelo de optimización propuesto, a través de una serie de archivos de texto. Los archivos de texto fueron escritos en base a los datos obtenidos y trabajados en el Capítulo 2 de este trabajo. A continuación, se describirá brevemente la estructura y formato de cada archivo:

- **"estaciones.txt"**: este archivo contiene el conjunto de posibles estaciones del modelo, representado por el conjunto E. Cada estación se encuentra en una línea separada y se identifica por un código único.
- **"terminales.txt"**: este archivo contiene el conjunto de las siete terminales del modelo, representado por el conjunto T. Cada terminal se encuentra en una línea separada y se identifican por su nombre.
- **"articulos.txt"**: este archivo contiene el conjunto de los cuatro artículos (productos) del modelo, representado por el conjunto A. Cada artículo se encuentra en una línea separada y se identifica por su nombre.
- **"provincias.txt"**: este archivo contiene el conjunto de las 23 provincias del modelo, representado por el conjunto P. Cada provincia se encuentra en una línea separada y se identifica por su nombre.
- **"demanda.txt"**: este archivo contiene la demanda por estación y artículo, representada por el parámetro $demanda[E*A]$. Las filas del archivo representan las estaciones y las columnas los artículos o productos.
- **"disponibilidad.txt"**: este archivo contiene la cantidad disponible por terminal y artículo, representada por el parámetro $disponible[T*A]$. Las filas del archivo representan las terminales y las columnas los artículos o productos.
- **"costo_l.txt"**: este archivo contiene el costo de envío desde cada terminal hacia cada estación, representado por el parámetro $costo_l[E*T]$. Cada celda del archivo representa el costo de envío desde una terminal hacia una estación específica. En las filas figuran las estaciones y en las columnas las terminales.
- **"precio.txt"**: este archivo contiene el precio de venta de cada artículo por estación, representado por el parámetro $precio[E*A]$. Cada celda del archivo representa el precio de venta de un artículo en una estación específica en pesos argentinos por metro cúbico. En las filas figuran las estaciones y en las columnas los artículos.
- **"costo_p.txt"**: este archivo contiene el costo por terminal y artículo, representado por el parámetro $costo_p[T*A]$. Cada celda del archivo representa el costo, en pesos

argentinos sobre metro cúbico, de un artículo en una terminal específica. En las filas figuran las terminales y en las columnas los artículos.

- **"estaciones_prov.txt"**: este archivo indica a qué provincia pertenece cada estación, representada por el parámetro `estacion_prov[E*P]`. En las filas se encuentran las estaciones blancas y en las columnas las provincias. El archivo contiene ceros y unos, en caso de que una estación se sitúe en una provincia, el valor de la celda será uno y cero en caso contrario.
- **"max_x_provincias.txt"**: este archivo contiene el máximo de estaciones abiertas por provincia, representado por el parámetro `maximo[P]`. Cada línea del archivo representa el máximo de estaciones abiertas para una provincia específica, y consta de dos valores, la provincia y la cantidad máxima de estaciones abiertas.
- **"distancias.txt"**: este archivo contiene las distancias entre cada estación blanca y cada terminal. Se utiliza para establecer un máximo de kilómetros que cada distribuidor puede recorrer para transportar el combustible.

El modelo completo, tal como se explicó durante este capítulo y escrito en lenguaje ZIMPL, se puede visualizar en el Apéndice B, Figura 58.

El modelo fue resuelto utilizando el solver SCIP (Solving Constraint Integer Programs), que es un solver de optimización de código abierto utilizado para resolver modelos de programación entera [27]. La resolución del modelo tuvo como output un total de 2535 variables con una cantidad de 676 restricciones. El proceso de resolución se llevó a cabo en un tiempo total de 237.59 segundos. El gap de optimalidad obtenido en nuestro estudio fue del 0.06%, lo que indica que la solución obtenida se encuentra muy cerca del óptimo teórico. El gap de optimalidad es la distancia relativa entre la función objetivo de la mejor solución obtenida hasta el momento y dicha cota.

El resultado final del modelo fue la selección de un conjunto de estaciones de servicio que maximizan la ganancia de la empresa, teniendo en cuenta los parámetros de entrada y las restricciones definidas. En el próximo capítulo se verán los resultados obtenidos a partir de este modelo.

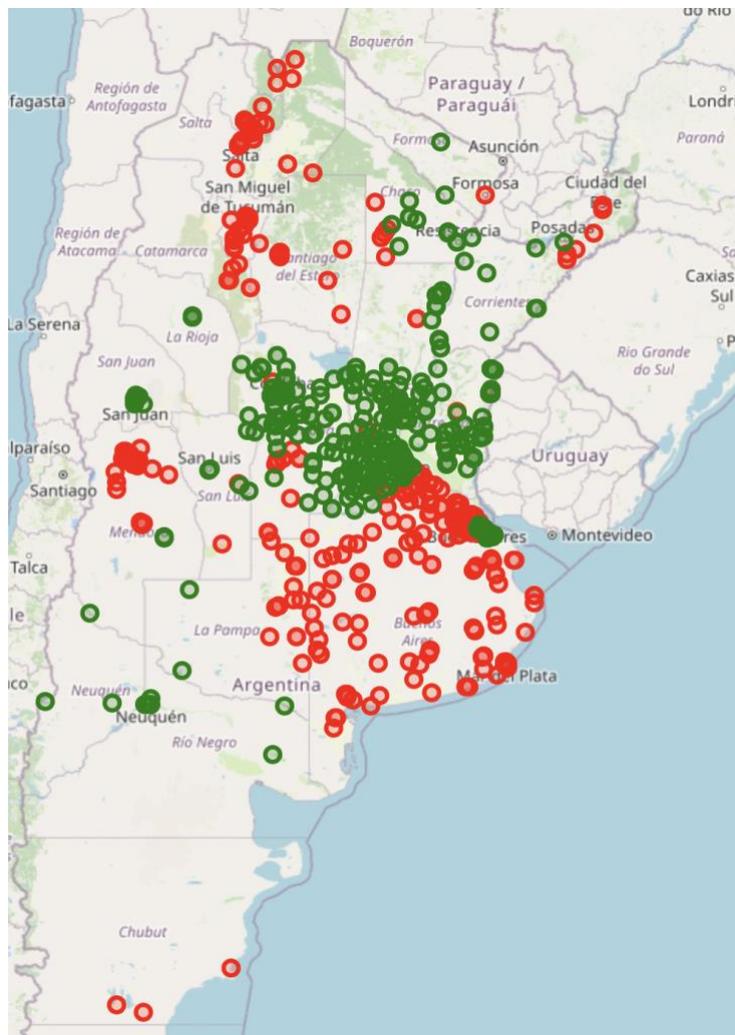
En resumen, la metodología utilizada en este trabajo combinó el uso de Zimpl como lenguaje de modelado y SCIP como solver de optimización para resolver un problema de selección de estaciones de servicio que maximiza la ganancia de una empresa.

Capítulo 4: Resultados

Trabajando con el solver SCIP logramos obtener los resultados que se encuentran en el Apéndice C. Allí se pueden observar las capturas de pantalla con las variables "x" que tienen un valor de 1, las variables "y" con un valor de 1 y el valor de la función objetivo.

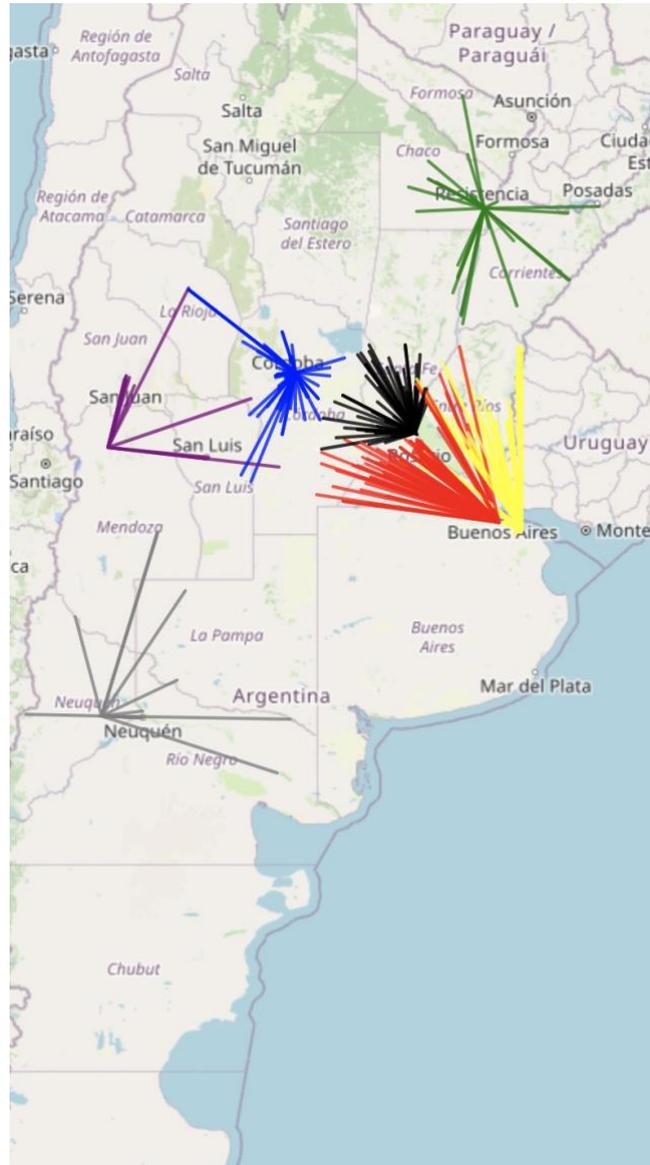
Los resultados obtenidos se utilizaron para poder identificar qué estaciones fueron elegidas por el modelo y desde qué terminales son abastecidas dichas estaciones. A partir de los datos que ya teníamos en el Capítulo 2 también sabemos a qué provincia pertenece cada estación y el volumen por producto que se va a demandar. Con el fin de tener una mejor visualización de los datos, los resultados se volcaron en la Figura 29 en el mapa de Argentina.

Figura 29. Extracto de los resultados obtenidos del modelo de optimización.



En la Figura 30 se quitaron las estaciones que no fueron seleccionadas y únicamente se dejaron las estaciones blancas seleccionadas. Además, se agregaron las terminales junto con una línea que las conecta con las estaciones en base a los resultados obtenidos en el modelo.

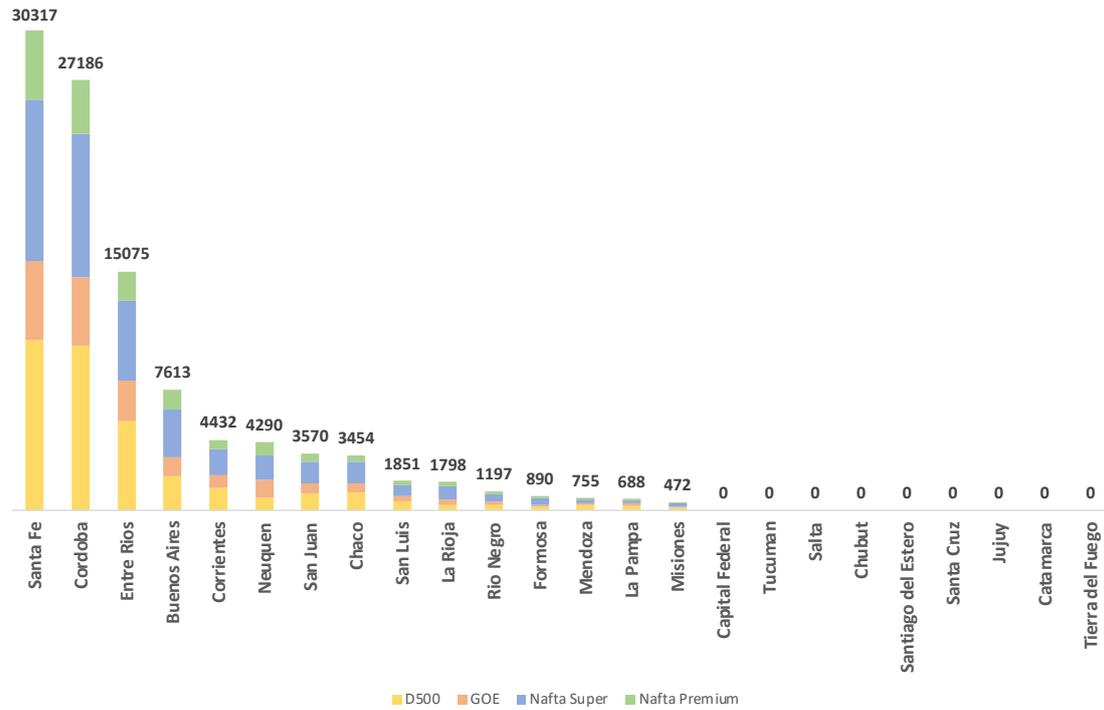
Figura 30. Extracto de los resultados obtenidos del modelo de optimización.



En la Figura 31 se presenta la cantidad total de combustible que se vendería por provincia al sumar todos los productos de cada estación y agruparlos por provincia. Además, se muestra la distribución de cada producto en cada provincia. Se observa que Santa Fe se destaca como la opción más viable para la apertura de estaciones blancas ya que es la que mayor combustible vendería. En segundo lugar se encuentra Córdoba, seguidos por Entre Ríos y Buenos Aires. Es relevante mencionar que el modelo no seleccionó estaciones en Capital Federal, Tucumán, Salta, Chubut y Santiago del Estero lo cual indica que la selección de estaciones en otras provincias resulta más favorable en términos de ganancia. En el contexto específico de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, se observa que el precio de venta del gas común (D500) es inferior al costo del mismo. Esto implica que la empresa en esta área incurre en pérdidas. Como resultado, el modelo de negocio adoptado por la empresa decide no seleccionar estaciones blancas en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en su lugar utiliza las terminales de La Plata y La Matanza para

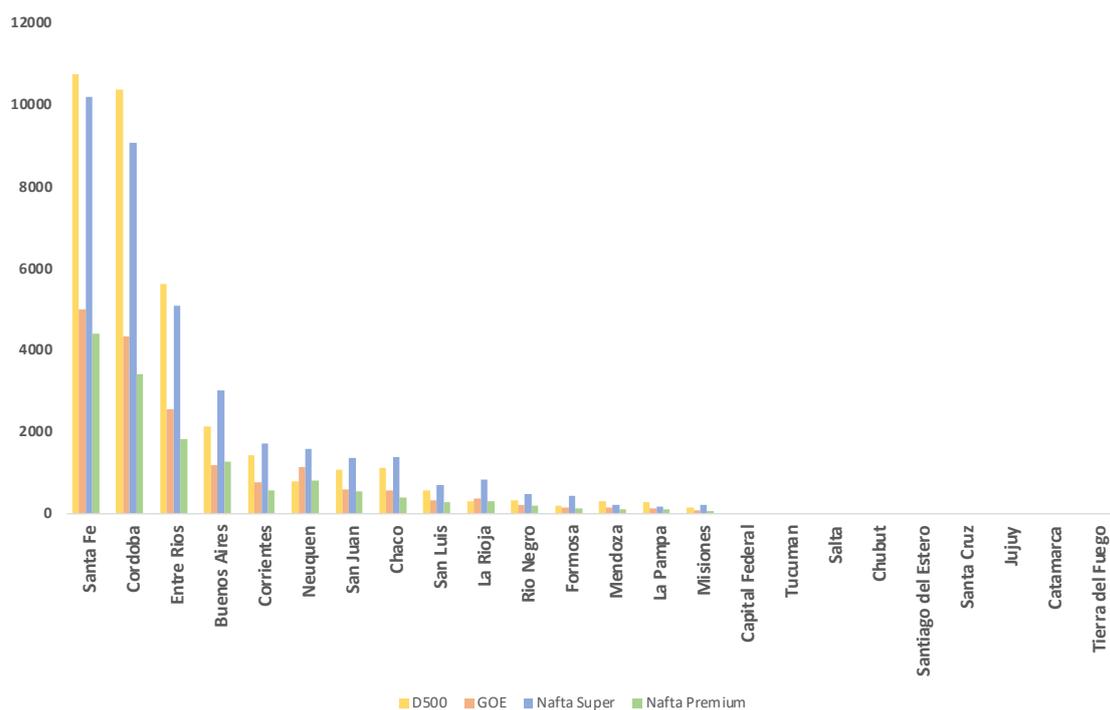
abastecer de gas a las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos y Santa Fe. Cabe mencionar que en Santa Cruz y Tierra del Fuego no fueron elegidas debido a la ausencia de estaciones de servicio blancas en estas provincias, tal como se detalló en el Capítulo 2.

Figura 31. Ventas totales de combustible en metros cúbicos por provincia.



Para obtener una representación visual más clara de las ventas por producto, se elaboró el gráfico de barras mostrado en la Figura 32. En dicho gráfico se coloca en el eje vertical los metros cúbicos vendidos de cada producto y en el horizontal las provincias de Argentina. Se destaca la predominancia del gasoil común (D500) y la nafta súper sobre el gasoil premium (GOE) y la nafta premium en la mayoría de las provincias. Sin embargo, en las provincias de Neuquen y La Rioja, se observa una tendencia opuesta, con un mayor consumo de gasoil premium en comparación con el gasoil común. Cabe destacar que en esta figura no se incluyeron las etiquetas de los datos con el fin de mejorar la visualización para el lector, y además se enfatizarán estos datos en los próximos gráficos.

Figura 32. Ventas por producto en metros cúbicos por provincia.



En adición, se realizó una sumatoria de los volúmenes de cada estación con el fin de obtener una dimensión no solo de la cantidad de volumen por producto, sino también del volumen total. Esta información se encuentra en la Tabla 15, donde se puede visualizar el volumen por producto y su respectiva sumatoria, la cual arrojó un total de 103,588.00 metros cúbicos. Para obtener información detallada sobre las ventas de cada producto por provincia, se generaron las Figuras 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40.

Tabla 15. Volumen total por producto en metros cúbicos en base a los resultados obtenidos del modelo de optimización.

D500	GOE	Nafta Super	Nafta Premium	Total
35,354	17,503	36,382	14,349	103,588

En la Figura 33 se muestran las ventas de gasoil común (D500) en metros cúbicos por provincia. Se observa que Santa Fe es la provincia con mayor consumo de D500, alcanzando un total de 10.735 metros cúbicos. En segundo lugar se encuentra Córdoba con 665 metros cúbicos menos, y en tercer lugar, la provincia de Entre Ríos, la cual vende aproximadamente la mitad de lo que se vende en Córdoba. En la Figura 34 se muestran los mismos datos pero en un mapa de calor para una mejor visualización de la información.

Figura 33. Ventas de D500 en metros cúbicos por provincia.

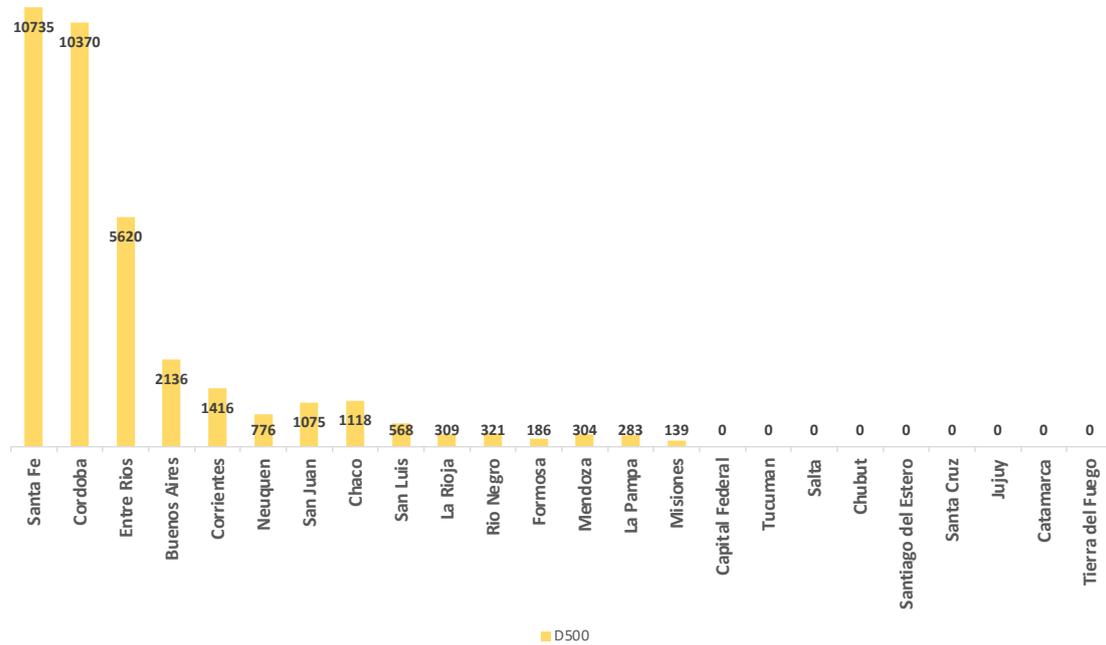
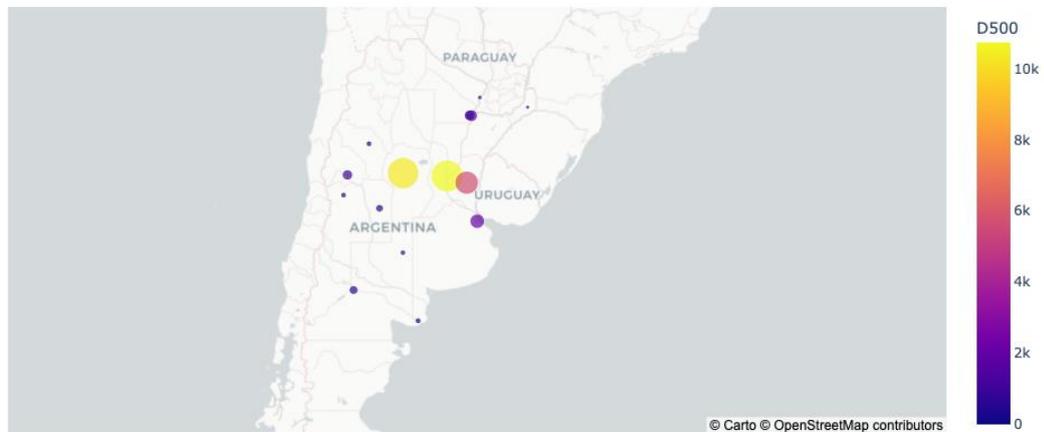


Figura 34. Mapa de calor que ilustra las ventas de D500 en metros cúbicos por provincia.



En la Figura 35 se representan las ventas de de gasoil premium (GOE) en metros cúbicos por provincia. Se observa que, al igual que en el caso del consumo de D500, Santa Fe es la provincia con el mayor consumo, aunque con una menor cantidad de volumen, alcanzando un total de 4.982 metros cúbicos. En cuanto a las provincias que le siguen Córdoba tiene un consumo similar posicionada en segundo lugar y en tercer lugar se encuentra Entre Ríos. Por otro lado, Buenos Aires y Neuquén presentan consumos similares. En la Figura 36 se muestran los mismos datos pero en un mapa de calor para una mejor visualización de la información.

Figura 35. Ventas de GOE en metros cúbicos por provincia.

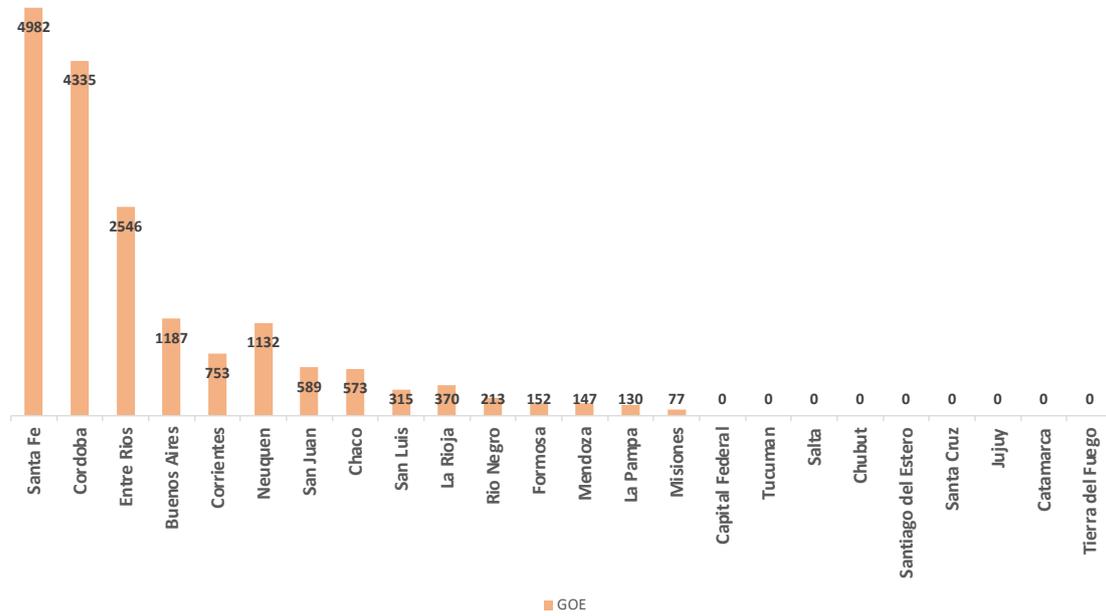
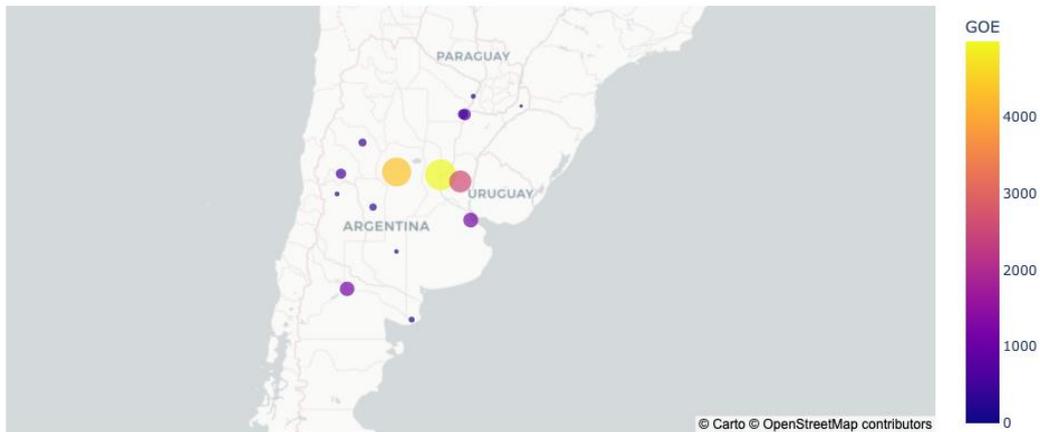


Figura 36. Mapa de calor que ilustra las ventas de GOE en metros cúbicos por provincia.



En la Figura 37 se muestran las ventas de nafta súper en metros cúbicos por provincia. Se puede observar que Santa Fe es la provincia con las mayores ventas por encima de Córdoba por 1.000 metros cúbicos. Santa Fe vende 10.192 metros cúbicos en total y Córdoba 9.069 metros cúbicos y luego se encuentra Entre Ríos reduciendo sus ventas a la mitad. En la Figura 38 se muestran los mismos datos pero en un mapa de calor para una mejor visualización de la información.

Figura 37. Ventas de nafta super en metros cúbicos por provincia.

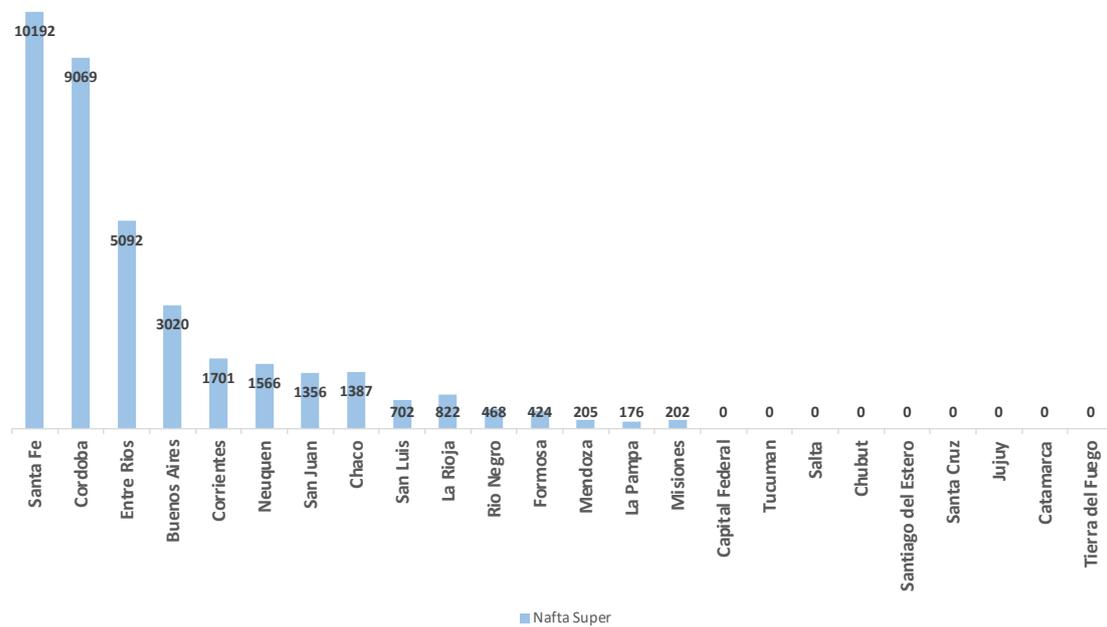


Figura 38. Mapa de calor que ilustra las ventas de Nafta Super en metros cúbicos por provincia.



En la Figura 39 se muestran las ventas de nafta premium en metros cúbicos por provincia. Se puede observar que Santa Fe es ampliamente superior al resto de las provincias con 4.408 metros cúbicos, superando por más de 1.000 metros cúbicos a Córdoba, que es la provincia que le sigue. Luego de Entre Ríos, las demás provincias alcanzan aproximadamente un tercio de las ventas totales. Cabe destacar que el consumo de nafta premium es el menor de los cuatro productos en términos de volumen. En la Figura 40 se muestran los mismos datos pero en un mapa de calor para una mejor visualización de la información.

Figura 39. Ventas de nafta premium en metros cúbicos por provincia.

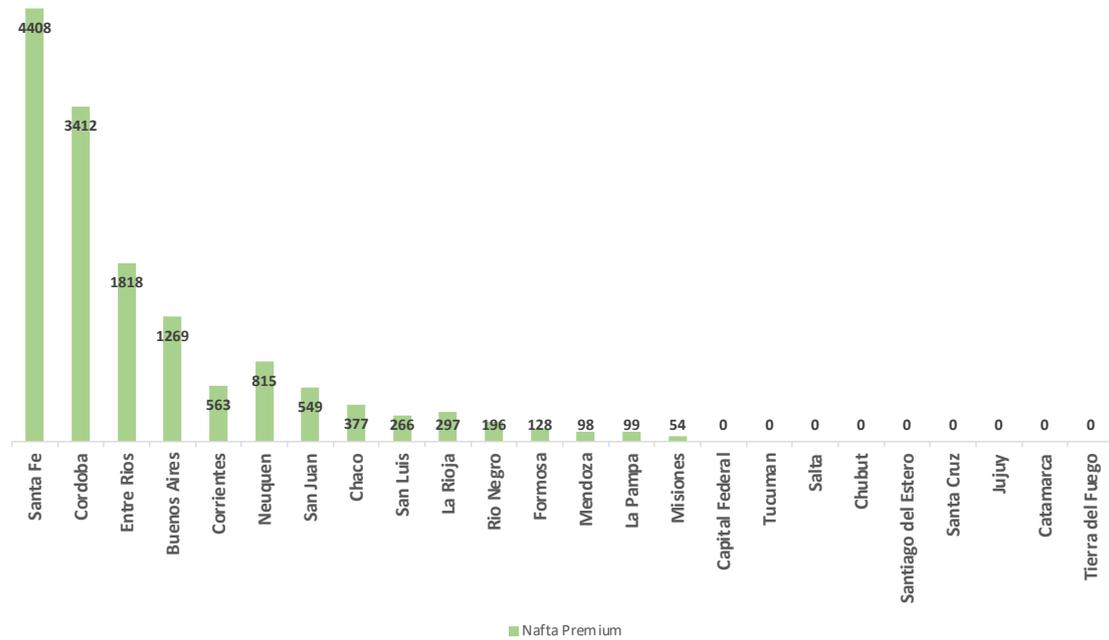


Figura 40. Mapa de calor que ilustra las ventas de Nafta Premium en metros cúbicos por provincia.



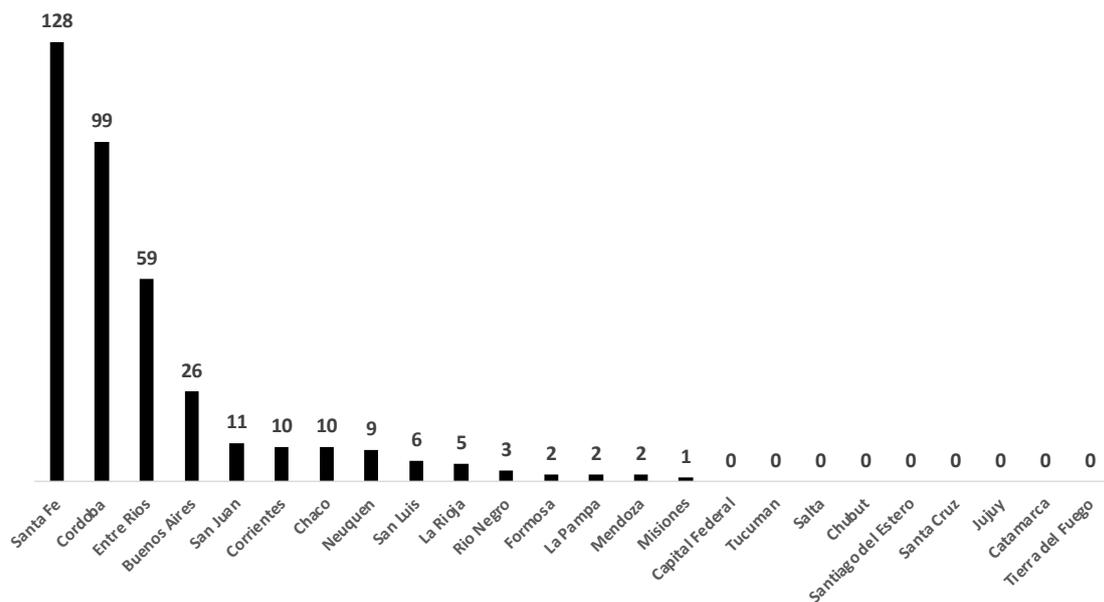
En virtud de la resolución del modelo, se logró obtener la cantidad de estaciones seleccionadas por provincia, lo cual se refleja en la Tabla 16. De acuerdo a los resultados obtenidos, la suma total de estaciones blancas seleccionadas por el modelo alcanzó un total de 373 estaciones, un 45% del total de estaciones blancas.

Tabla 16. Cantidad de estaciones por provincia en base a los resultados del modelo de optimización.

Provincias	Estaciones Blancas Seleccionadas	Estaciones Blancas Totales	Porcentaje Abiertas
Rio Negro	3	3	100%
Corrientes	10	10	100%
Neuquen	9	9	100%
La Rioja	5	5	100%
Santa Fe	128	132	97%
Entre Rios	59	61	97%
San Juan	11	12	92%
Cordoba	99	112	88%
San Luis	6	8	75%
Formosa	2	3	67%
Chaco	10	17	59%
Misiones	1	7	14%
La Pampa	2	19	11%
Buenos Aires	26	253	10%
Mendoza	2	56	4%
Capital Federal	0	43	0%
Tucuman	0	26	0%
Salta	0	14	0%
Chubut	0	3	0%
Santiago del Estero	0	23	0%
Santa Cruz	0	0	0%
Jujuy	0	14	0%
Catamarca	0	6	0%
Tierra del Fuego	0	0	0%

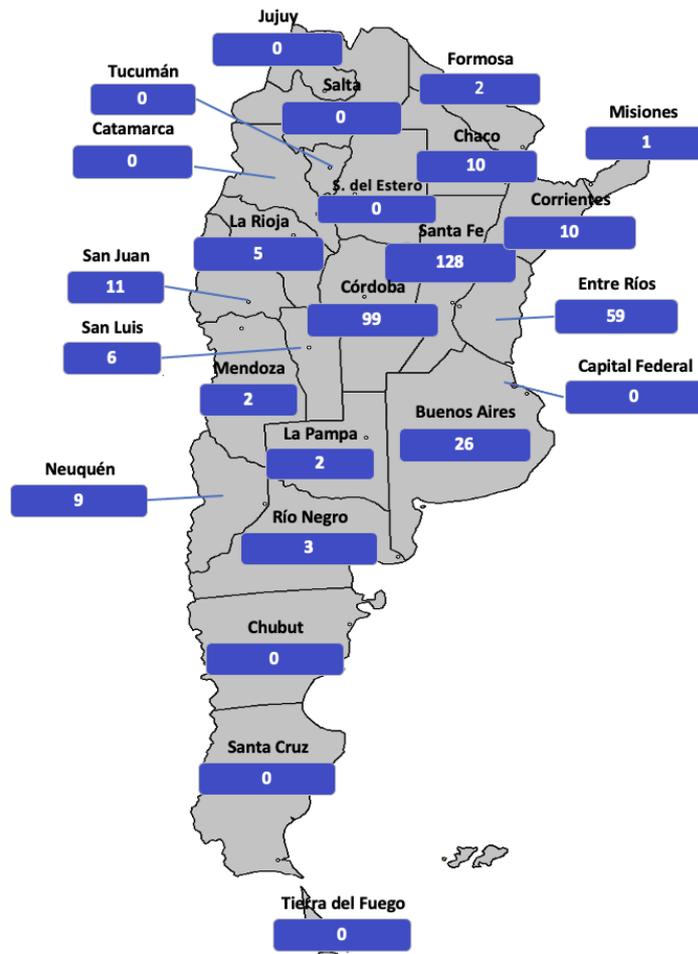
Si representamos la resolución en un gráfico, como en la Figura 41, podemos observar que la provincia con la mayor cantidad de estaciones blancas seleccionadas es Santa Fe, con un total de 128 estaciones. En segundo lugar se encuentra Córdoba, seguida por Entre Ríos y luego Buenos Aires.

Figura 41. Cantidad de estaciones blancas por provincia.



En la Figura 42 se representa un mapa de Argentina con la localización de las estaciones blancas, utilizando los datos de la Tabla 24. Esto proporciona al lector una visualización geográfica más clara de la distribución de estas estaciones en el país.

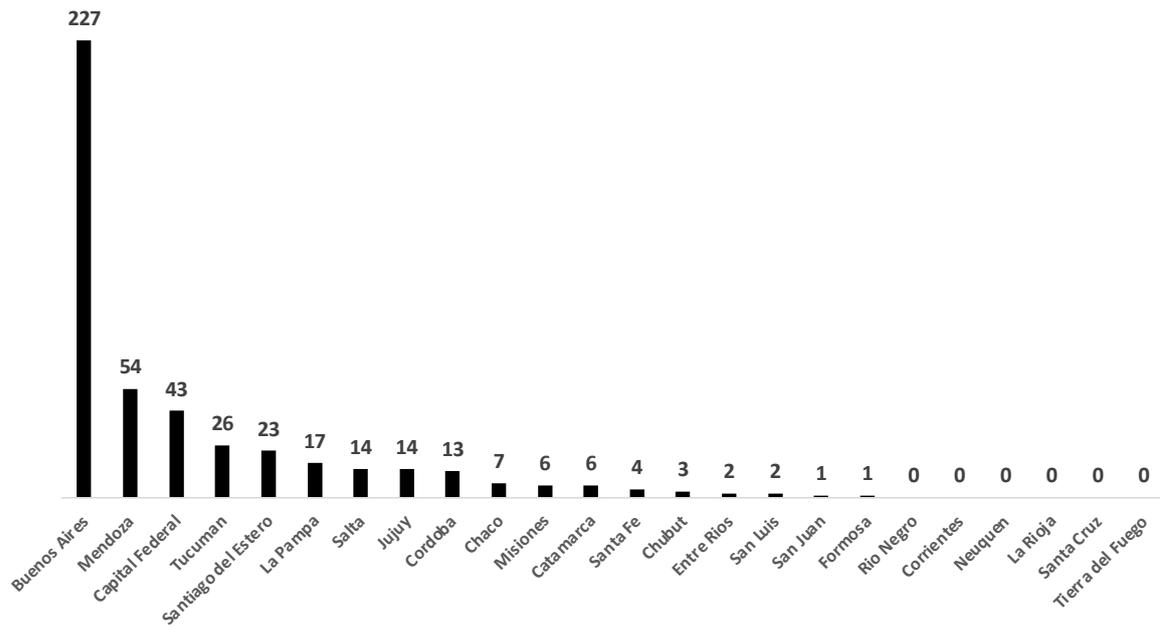
Figura 42. Mapa de Argentina con la cantidad de estaciones por provincia.



Si observamos la columna que indica el porcentaje de estaciones blancas abiertas de la Tabla 16 y además la Figura 43, que muestra la diferencia entre las estaciones blancas totales por provincia y las estaciones blancas seleccionadas por el modelo, destacan Buenos Aires, Mendoza y Capital Federal. Dentro de Buenos Aires se tienen dos terminales, La Matanza y La Plata, pero estas se utilizan para abastecer en mayor medida a las provincias Santa Fe y Entre Ríos. Si bien el costo logístico indicaría que las terminales deberían abastecer a Buenos Aires, la mayor relación costo/precio de venta de esta provincia hace que el modelo seleccione las estaciones de Santa Fe y Entre Ríos en mayor medida que las de Buenos Aires. Otro punto importante es que hay estaciones en Buenos Aires que están a una distancia mayor que algunas estaciones de Santa Fe y Entre Ríos. En cuanto a Mendoza, tiene una terminal en la provincia pero se seleccionan estaciones blancas de otras provincias, como por ejemplo de La Rioja, San Juan, San Luis y Córdoba. Esto se debe nuevamente a la mayor relación costo/precio de venta de las

estaciones de Mendoza. Por último, Capital Federal podría abastecerse desde las terminales de La Plata o de La Matanza pero se ve que no se seleccionan estaciones blancas. La elección de no utilizar estaciones blancas para el suministro de gas común (D500) se debe a que el precio de venta de este tipo de gas es inferior al costo del producto, siendo este el segundo combustible más consumido. Si se seleccionan las estaciones de Capital Federal, la empresa incurriría en pérdidas por cada unidad vendida.

Figura 43. Diferencia entre la cantidad de estaciones blancas totales y las seleccionadas por el modelo.

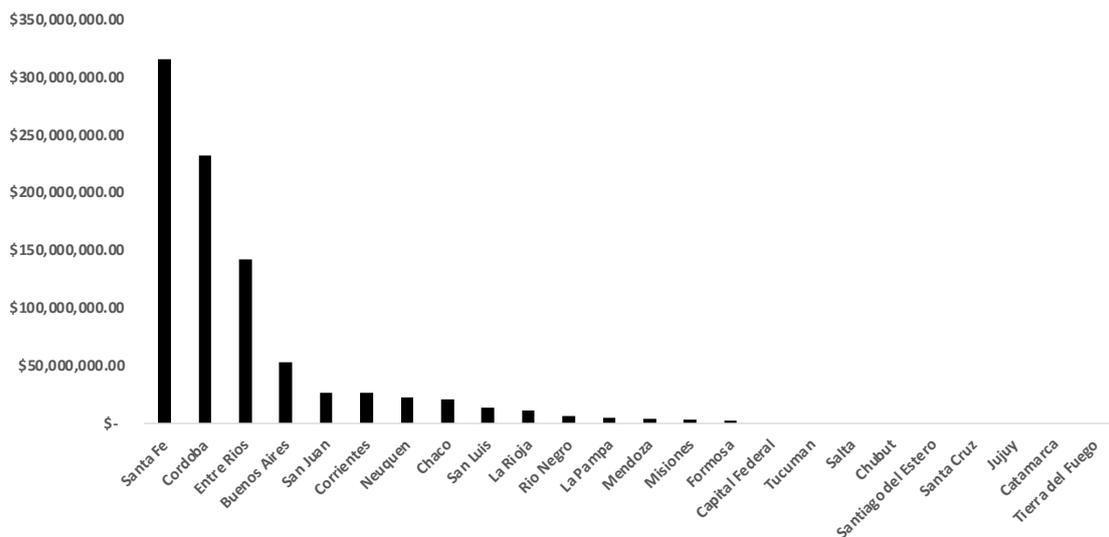


En relación a la ganancia proyectada para cada provincia, se ha detallado dicha información en la Tabla 17, expresada en pesos argentinos (ARS). Además, se ha representado visualmente en la Figura 44 mediante un gráfico de barras. Se observa que Santa Fe lidera la ganancia proyectada con una amplia diferencia, seguida por Córdoba. En contraste, Formosa y Misiones se ubican en último lugar en términos de ganancias proyectadas, excluyendo aquellas provincias que no aportan ganancias.

Tabla 17. Ganancia por provincia.

Provincia	Ganancia
Santa Fe	\$ 315,828,565.00
Cordoba	\$ 231,924,518.00
Entre Rios	\$ 141,855,910.00
Buenos Aires	\$ 52,466,109.00
San Juan	\$ 26,369,070.00
Corrientes	\$ 26,198,753.00
Neuquen	\$ 21,894,577.00
Chaco	\$ 20,581,719.00
San Luis	\$ 12,961,286.00
La Rioja	\$ 11,027,686.00
Rio Negro	\$ 5,738,171.00
La Pampa	\$ 4,298,296.00
Mendoza	\$ 3,743,652.00
Misiones	\$ 2,938,301.00
Formosa	\$ 2,400,899.00
Capital Federal	\$ -
Tucuman	\$ -
Salta	\$ -
Chubut	\$ -
Santiago del Estero	\$ -
Santa Cruz	\$ -
Jujuy	\$ -
Catamarca	\$ -
Tierra del Fuego	\$ -

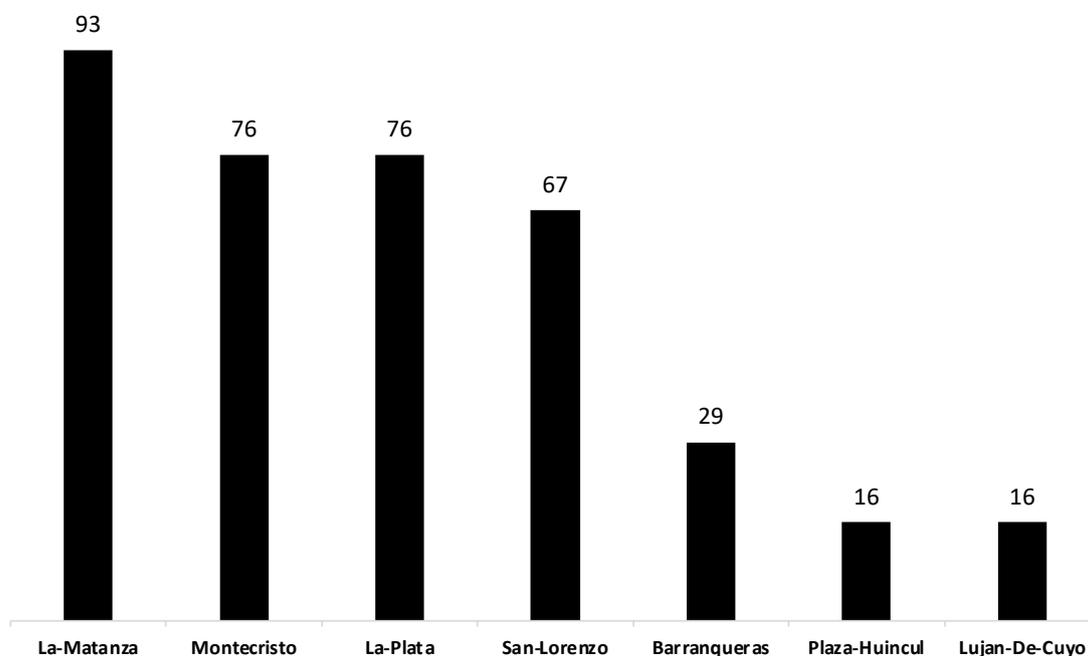
Figura 44. Ingreso por provincia.



Si se realiza un análisis por terminal, se puede observar en la Figura 45 que la terminal de La Matanza es la que abastece la mayor cantidad de estaciones blancas, con un total de 93 estaciones. En segundo lugar se encuentra Montecristo, con 17 estaciones menos al igual que

La Plata, mientras que Luján de Cuyo y Plaza Huincul son las terminales que abastecen la menor cantidad de estaciones blancas, con apenas 16.

Figura 45. Cantidad de estaciones de servicio blancas por terminal.

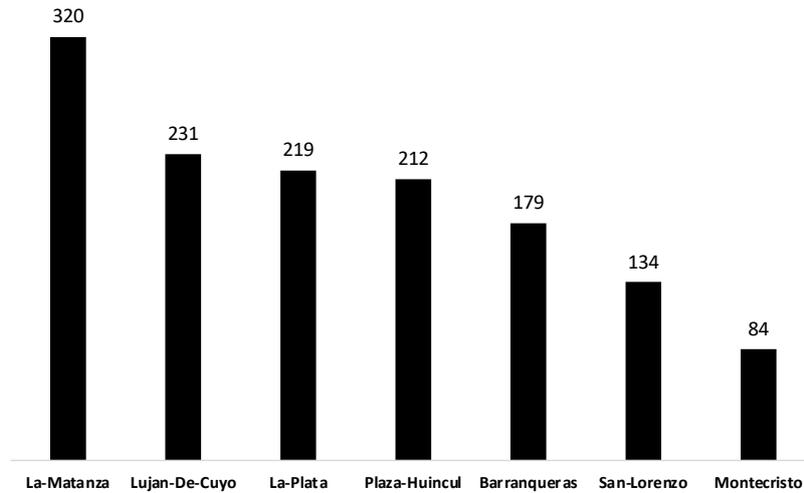


En el análisis de las terminales, es importante considerar la cantidad de kilómetros recorridos por cada una de ellas. Para este propósito, se utiliza la información proporcionada en la Tabla 18 y la Figura 46. Se observa que las terminales que presentan un mayor recorrido promedio son La Matanza y Luján de Cuyo. En tercer lugar se encuentra La Plata. Esta tendencia tiene sentido, ya que, como se ha mencionado previamente, estas terminales abastecen a estaciones que se encuentran en otras provincias, es decir, no están ubicadas en la misma provincia que la terminal correspondiente. Es importante destacar que, de las tres terminales mencionadas, solo la terminal de La Plata abastece a estaciones de la provincia de Buenos Aires, con un total de 26 estaciones blancas.

Tabla 18. Total y promedio de kilómetros recorridos por terminal.

Terminal	Distancia Recorrida en Kilómetros	Estaciones Blancas	Promedio Kilómetros Recorridos
La-Matanza	29,734	93	320
La-Plata	16,644	76	219
Montecristo	6,363	76	84
San-Lorenzo	9,008	67	134
Lujan-De-Cuyo	3,702	16	231
Barranqueras	5,190	29	179
Plaza-Huincul	3,398	16	212

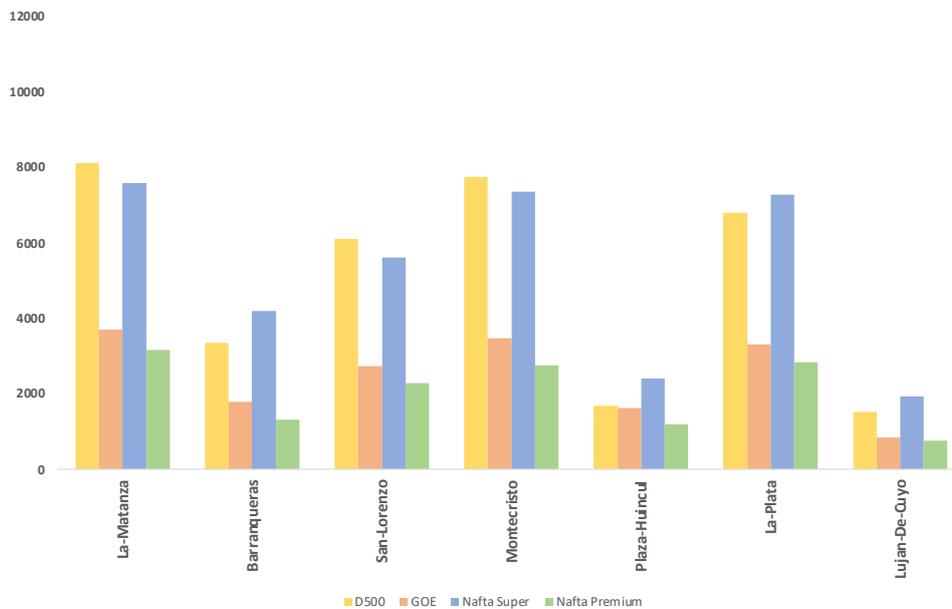
Figura 46. Promedio de kilómetros recorridos por terminal.



En lo que respecta al volumen utilizado de cada producto por terminal, se observa una tendencia similar por provincia, donde el gasoil común (D500) y la nafta super superan ampliamente al gasoil premium (GOE) y a la nafta premium. Los productos premium son menos demandados que los comunes debido a su mayor precio, por lo tanto las terminales terminan demandando menos de estos tipos de combustible.

Para facilitar la visualización del lector, en las Figuras 48, 49, 50 y 51 se presentan los volúmenes de los productos por separado, omitiendo los volúmenes en la Figura 47.

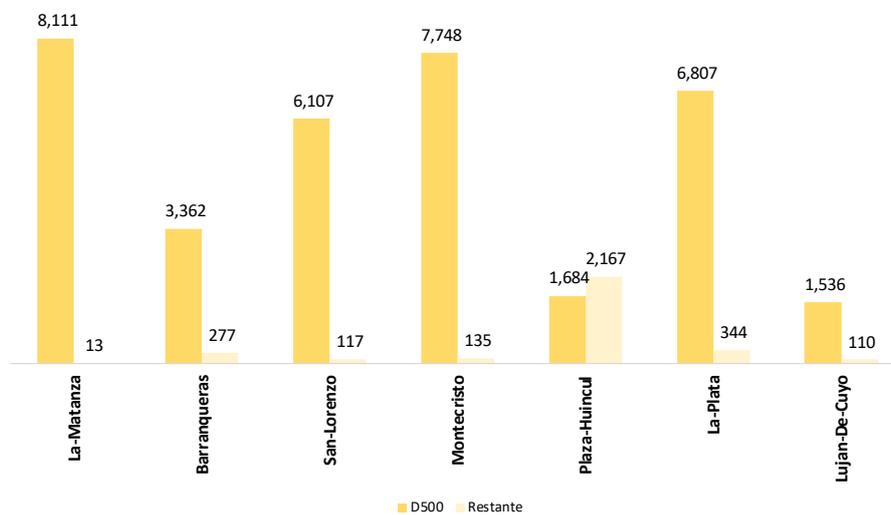
Figura 47. Volumen en metros cúbicos utilizados por terminal.



En la Figura 48 se muestra el volumen en metros cúbicos de gasoil común por terminal, así como la diferencia con respecto a la disponibilidad por terminal, es decir, el restante. Se observa que la terminal de Plaza Huincul es la que no utilizó todos sus recursos al máximo, ya que presenta la mayor diferencia. Por otro lado, todas las demás terminales han aprovechado al máximo sus recursos, siendo La Matanza la que presenta la menor diferencia.

En términos de volumen absoluto, se observa que la terminal de La Matanza es la que potencialmente podría vender mayor volumen, seguida de Montecristo, que presenta volúmenes similares.

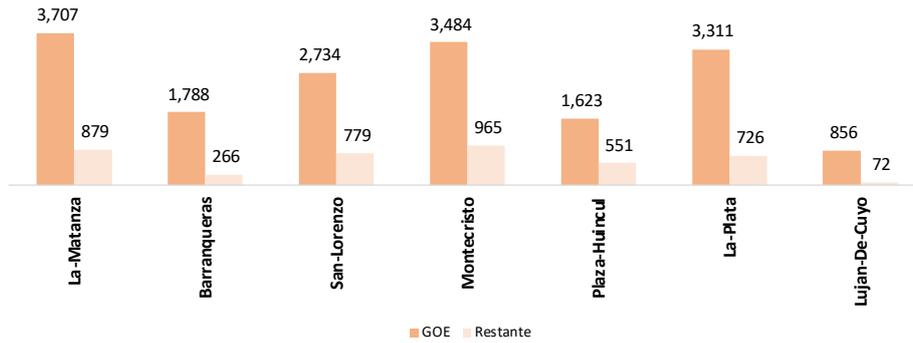
Figura 48. Volumen en metros cúbicos de D500 por terminal.



En la Figura 49 se muestra el volumen en metros cúbicos de gasoil premium por terminal, así como el restante. Se observa que Montecristo es la terminal que potencialmente tendría el mayor volumen restante para utilizar, mientras que La Matanza se encontraría en segundo lugar en esta categoría.

En cuanto al mayor consumo de combustible, se observa una tendencia similar a la del gasoil común, donde Montecristo, La Plata y La Matanza lideran en el consumo de gasoil premium.

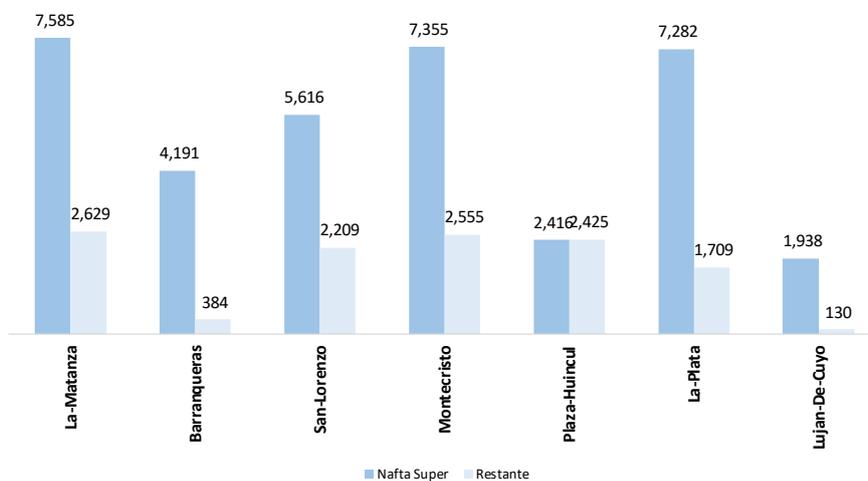
Figura 49. Volumen en metros cúbicos de GOE por terminal.



En la Figura 50 se muestra la diferencia entre el consumo y la disponibilidad de nafta super por terminal, destacando que hay cuatro terminales con restantes similares, ellas son La Matanza, Montecristo, Plaza Huincul y San Lorenzo. Cabe destacar que la terminal de Plaza Huincul tendría aún disponible aproximadamente lo mismo que consume.

En términos de consumo, La Matanza lidera en esta categoría seguida de Montecristo. Por otro lado, Lujan de Cuyo es la terminal que registraría el menor volumen de venta, alcanzando solo 1.938 metros cúbicos de nafta super.

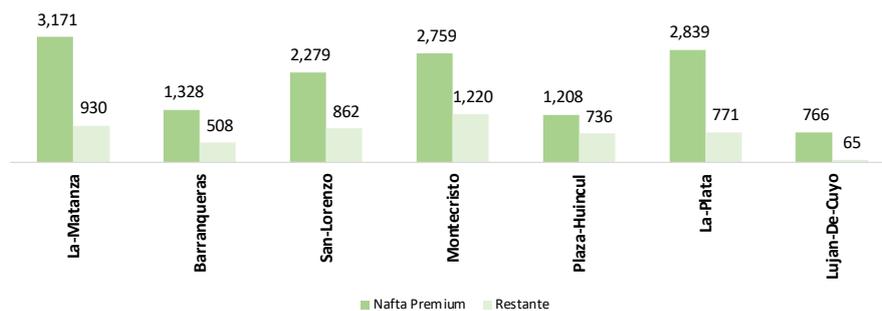
Figura 50. Volumen en metros cúbicos de nafta super por terminal.



En la Figura 51 se presenta el consumo de nafta premium por terminal, destacando que la mayor diferencia entre el consumo y la disponibilidad se registra en Montecristo, alcanzando casi 1.220 metros cúbicos.

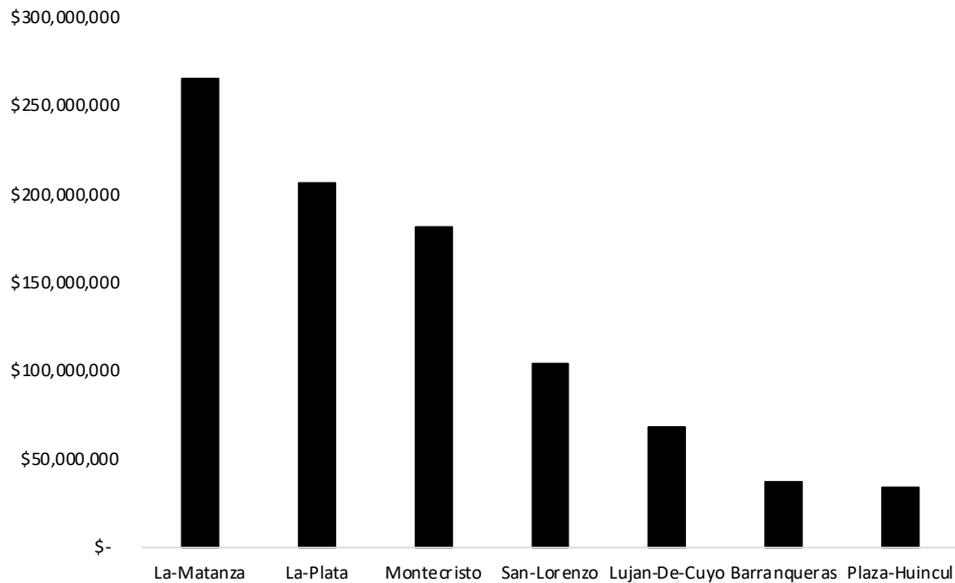
Por otro lado, Luján de Cuyo aprovecha al máximo su disponibilidad, alcanzando un consumo de casi 766 metros cúbicos de nafta premium. La Matanza por su parte, es la terminal con mayores ventas, superando los 3.000 metros cúbicos y seguida de La Plata con aproximadamente 2.800 metros cúbicos.

Figura 51. Volumen en metros cúbicos de nafta premium por terminal.



En base a la Figura 52, si se hace un análisis de los ingresos por terminal, La Matanza registra los ingresos totales más altos, seguida por La Plata, mientras que Plaza Huincul y Barranqueras tienen los ingresos totales más bajos. Este análisis resulta válido para comprender qué terminal genera mayores ingresos y cuál genera menores ingresos. Esta información es de vital importancia en el caso de considerar el cierre de una terminal y la apertura en una nueva ubicación más estratégica, ya que permite evaluar cuál terminal conviene cerrar en términos económicos.

Figura 52. Ingresos en pesos argentinos por terminal.



En cuanto a la ganancia total, el modelo de optimización alcanzó un valor de la función objetivo de ARS 920,119,195 mensuales, lo que equivale a aproximadamente USD 6,366,726 en base a la cotización del dólar oficial del Banco Nación para el domingo 28 de agosto de 2022 que fue de ARS 144.52.

Escenarios Alternativos

Se proponen tres escenarios alternativos adicionales para el análisis de la influencia de la distancia en la selección de estaciones. Estos escenarios modifican la restricción de distancia establecida en el modelo actual y permiten evaluar los resultados en diferentes contextos. Además, se propone un escenario más en el cual se aumenta el precio del combustible en un 10% en Capital Federal para así entender si en ese caso el modelo selecciona estaciones de esta zona. A continuación, se describen los escenarios planteados:

- **Escenario A:** Aumento a 600 kilómetros la restricción de distancia. En este escenario, se amplía la restricción de distancia permitida para la selección de estaciones. Se establece un límite de 600 kilómetros, lo que implica que las terminales pueden abastecer estaciones que se encuentren a una mayor distancia. Este enfoque busca evaluar cómo el aumento de la distancia influye en la selección de estaciones y si se obtienen mejoras en términos de eficiencia y optimización de la distribución.
- **Escenario B:** Escenario sin restricción de distancia. En este escenario, se elimina por completo la restricción de distancia para la selección de estaciones. Esto implica que las terminales pueden abastecer cualquier estación, sin importar la distancia. Se explora este enfoque para analizar los resultados obtenidos en ausencia de limitaciones geográficas y evaluar la factibilidad y beneficios de esta opción.

- **Escenario C:** Disminución a 240 kilómetros la restricción de distancia. En este escenario, se reduce la restricción de distancia permitida para la selección de estaciones a 240 kilómetros por día. Esto implica que se priorizan las estaciones ubicadas en una cercanía geográfica aún mayor. Se busca evaluar cómo esta restricción más estricta afecta la selección de estaciones y si se obtienen beneficios en términos de eficiencia y optimización de la distribución.
- **Escenario D:** Aumento del precio de venta de las estaciones blancas en Capital Federal. En este escenario, se aumenta el precio de venta del combustible en las estaciones blancas que se encuentran en la zona de Capital Federal. Este aumento en el precio tiene como objetivo simular una situación en la que el costo del gas común (D500) sea superior al precio de venta en esta área en particular, además de una mayor diferencia entre el precio de venta y el costo de los demás productos. La idea es analizar cómo este cambio en los precios afecta la selección de estaciones y si se opta por abastecer estaciones en Capital Federal.

A modo de resumen en la Tabla 19 se pueden observar los resultados obtenidos de los cuatro escenarios planteados en base a la ganancia en dólares, la diferencia con el escenario original, el volumen total vendido y el porcentaje de estaciones blancas abiertas.

Tabla 19. Resultados de los escenarios.

	Escenario Original	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D
Funcion Objetivo	\$ 6,366,726	\$ 6,437,030	\$ 6,520,938	\$ 5,432,628	\$ 6,779,852
Diferencia vs Original	\$ -	\$ 70,304	\$ 154,212	\$ (934,098)	\$ 342,822
Volumen	103,588	108,623	112,129	104,271	\$ 112,418
Porcentaje Estaciones Abiertas	45%	47%	49%	44%	47%

Se observa que a medida que aumentamos la distancia recorrida aumentan las ganancias de la empresa. En el caso de que no se coloque una restricción de distancia, tal como se realiza en el escenario C la ganancia aumenta en USD 154.212 más que el escenario original.

Es interesante analizar el caso del escenario C en el cual disminuye la distancia máxima a recorrer y se obtiene una ganancia menor pero el volumen aumenta comparado con el escenario original. Esto ocurre ya que se están seleccionando mayores estaciones en Buenos Aires que demandan mayor cantidad de combustible en reemplazo de estaciones de Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe pero la ganancia por estación en Buenos Aires es menor por lo que la ganancia total de la empresa se reduce en USD 934.096.

En el caso del escenario D, en el cual se aumento el precio del combustible en Capital Federal en un 10%, se observa un incremento en las ganancias y en el volumen ya se están tomando en cuenta estaciones de esta zona y eso genera que la ganancia total de la empresa aumente en USD 342.822 si se compara con el escenario original.

Escenario A

En este escenario aumenta la distancia recorrida de 480 kilómetros a 600 kilómetros. Este cambio en la restricción genera un aumento del volumen vendido al igual que un aumento de la ganancia. El modelo elige más estaciones de las provincias más rentables como lo son Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos y descarta estaciones de Buenos Aires y La Pampa reduciendo el porcentaje de estaciones abiertas de estas provincias. En la Figura 53 se puede visualizar la selección de

estaciones realizadas por el modelo en un mapa de calor y en la Tabla 20 se observa la cantidad de estaciones abiertas por provincia.

Figura 53. Mapas de calor de las estaciones seleccionadas en el escenario A.

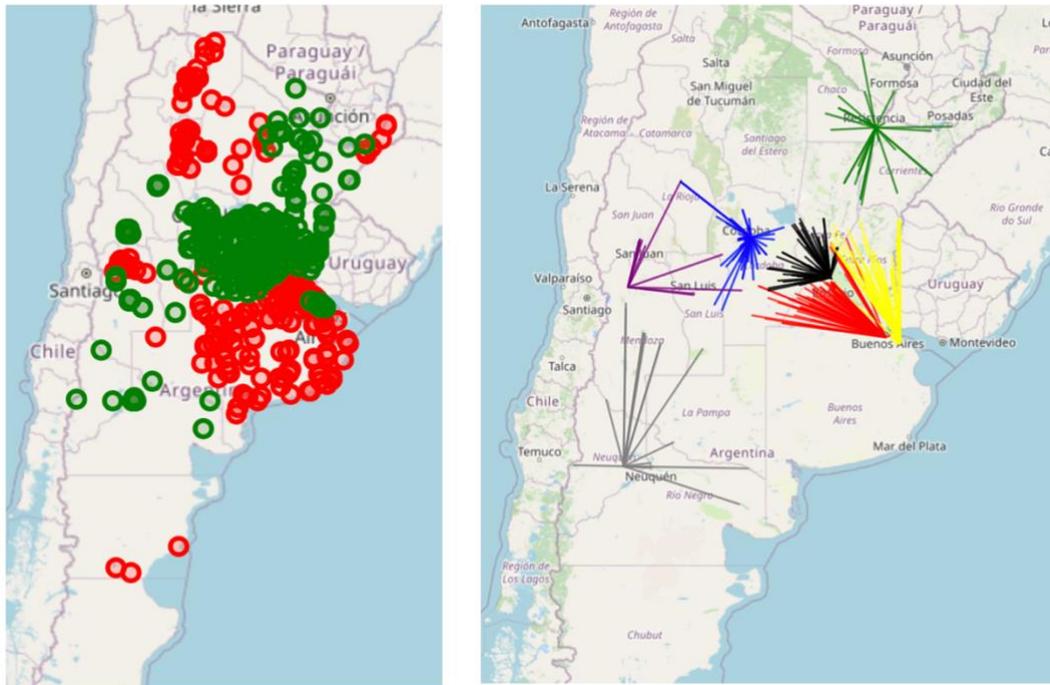


Tabla 20. Estaciones abiertas por provincia en el Escenario A.

Provincias	Estaciones Blancas Seleccionadas	Estaciones Blancas Totales	Diferencia	Porcentaje Abiertas
Santa Fe	132	132	0	100%
Entre Ríos	61	61	0	100%
Río Negro	3	3	0	100%
Corrientes	10	10	0	100%
Neuquén	9	9	0	100%
San Juan	12	12	0	100%
Formosa	3	3	0	100%
La Rioja	5	5	0	100%
Córdoba	104	112	8	93%
San Luis	7	8	1	88%
Chaco	10	17	7	59%
Mendoza	9	56	47	16%
Misiones	1	7	6	14%
Buenos Aires	22	253	231	9%
La Pampa	1	19	18	5%
Capital Federal	0	43	43	0%
Tucumán	0	26	26	0%
Salta	0	14	14	0%
Chubut	0	3	3	0%
Santiago del Estero	0	23	23	0%
Santa Cruz	0	0	0	0%
Jujuy	0	14	14	0%
Catamarca	0	6	6	0%
Tierra del Fuego	0	0	0	0%

Escenario B

En el escenario B se supone que no hay restricción de distancia por lo que, tal como se puede visualizar en los mapas de calor de la Figura 54, Plaza Huincul abastece estaciones de Córdoba. También se puede visualizar que desde la Terminal de Luján de Cuyo se abastece una estación de Buenos Aires. Si bien de esta manera se maximiza la ganancia, es una situación que no sucede cuando se lleva a la práctica por las largas distancias que conllevan estos casos.

En la Tabla 21 se observa la cantidad de estaciones abiertas por provincia. Se observa que el modelo sigue eligiendo estaciones de otras provincias en vez de las estaciones de Capital Federal debido a su pérdida a la hora de la venta de gas común.

Figura 54. Mapas de calor de las estaciones seleccionadas en el escenario B.

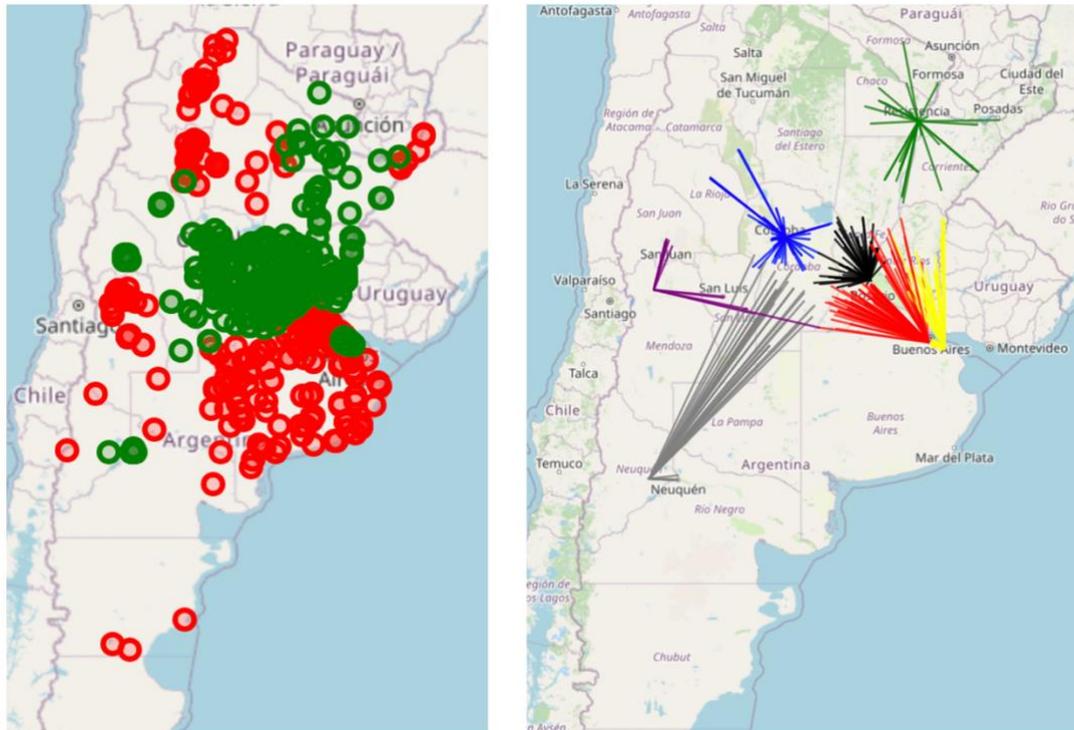


Tabla 21. Estaciones abiertas por provincia en el Escenario B.

Provincias	Estaciones Blancas Seleccionadas	Estaciones Blancas Totales	Diferencia	Porcentaje Abiertas
Cordoba	112	112	0	100%
Santa Fe	132	132	0	100%
Entre Rios	61	61	0	100%
Corrientes	10	10	0	100%
San Juan	12	12	0	100%
San Luis	8	8	0	100%
Formosa	3	3	0	100%
La Rioja	5	5	0	100%
Neuquen	7	9	2	78%
Chaco	10	17	7	59%
Rio Negro	1	3	2	33%
Catamarca	2	6	4	33%
Buenos Aires	42	253	211	17%
Misiones	1	7	6	14%
Capital Federal	0	43	43	0%
Mendoza	0	56	56	0%
Tucuman	0	26	26	0%
Salta	0	14	14	0%
Chubut	0	3	3	0%
La Pampa	0	19	19	0%
Santiago del Estero	0	23	23	0%
Santa Cruz	0	0	0	0%
Jujuy	0	14	14	0%
Tierra del Fuego	0	0	0	0%

Escenario C

En este escenario se disminuye el límite de distancia a recorrer por las empresas distribuidoras tal como se puede visualizar fácilmente en figura 55. Se observa como las terminales abastecen a estaciones más cercanas. Si analizamos la Tabla 22, aumentan las estaciones de Buenos Aires como era de esperarse ya que en esta provincia hay dos terminales, La Matanza y La Plata. Estas

dos terminales ya no pueden abastecer a las estaciones que estén más alejadas en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos y el modelo se encarga de seleccionar a las estaciones que estén a 240 kilómetros como máximo, en su mayoría de Buenos Aires. Aún así no se seleccionan estaciones que se encuentren en la Capital Federal debido a que es preferible abastecer estaciones más lejanas antes de incurrir en pérdidas.

Figura 55. Mapas de calor de las estaciones seleccionadas en el escenario C.

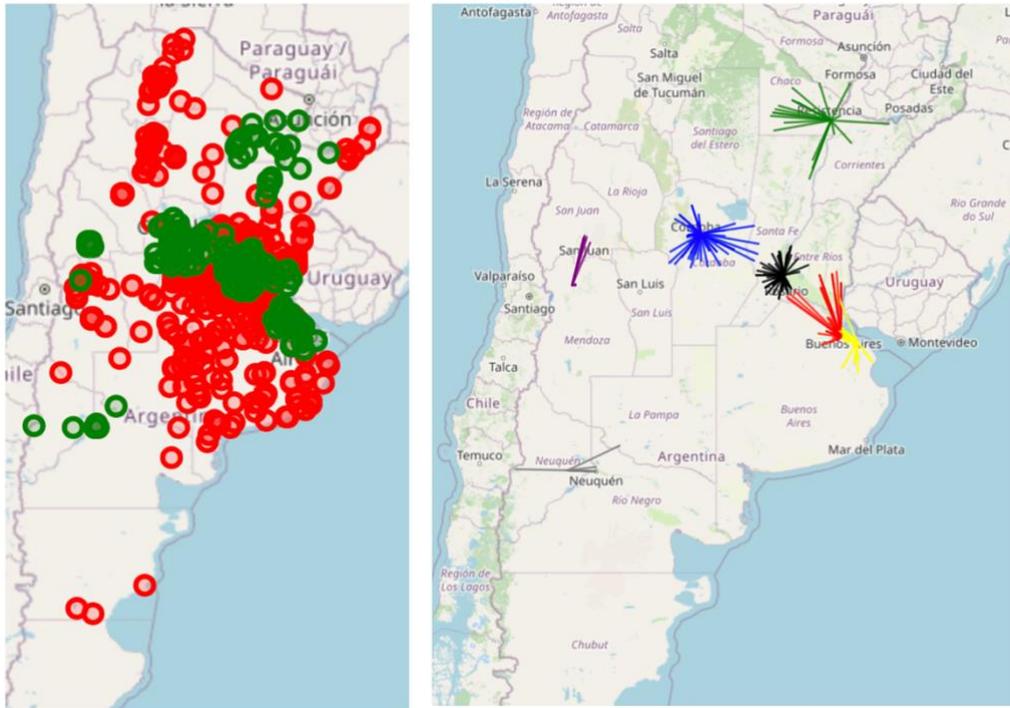


Tabla 22. Estaciones abiertas por provincia en el Escenario C.

Provincias	Estaciones Blancas Seleccionadas	Estaciones Blancas Totales	Diferencia	Porcentaje Abiertas
San Juan	12	12	0	100%
Neuquen	8	9	1	89%
Chaco	15	17	2	88%
Formosa	2	3	1	67%
Cordoba	70	112	42	63%
Santa Fe	79	132	53	60%
Buenos Aires	144	253	109	57%
Corrientes	4	10	6	40%
Entre Rios	24	61	37	39%
Rio Negro	1	3	2	33%
San Luis	2	8	6	25%
Mendoza	3	56	53	5%
La Pampa	1	19	18	5%
Capital Federal	0	43	43	0%
Misiones	0	7	7	0%
Tucuman	0	26	26	0%
Salta	0	14	14	0%
Chubut	0	3	3	0%
Santiago del Estero	0	23	23	0%
Santa Cruz	0	0	0	0%
Jujuy	0	14	14	0%
La Rioja	0	5	5	0%
Catamarca	0	6	6	0%
Tierra del Fuego	0	0	0	0%

Escenario D

En el escenario D se aumenta en un 10% el precio de venta del combustible que se venda en Capital Federal. Esto genera no solo que ya no se incurra en pérdidas en la venta de gasoil común sino que también aumente la brecha entre el precio de venta y el costo de los tres otros

productos. En la Tabla 23 ya se observa que el porcentaje de estaciones blancas abiertas en Capital Federal aumenta a 77% desestimando las estaciones que se encuentran en Buenos Aires. Las terminales de La Plata y La Matanza terminan de utilizar su combustible disponible para abastecer a Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos, como se observa en los mapas de calor de la Figura 56.

Figura 56. Mapas de calor de las estaciones seleccionadas en el escenario D.

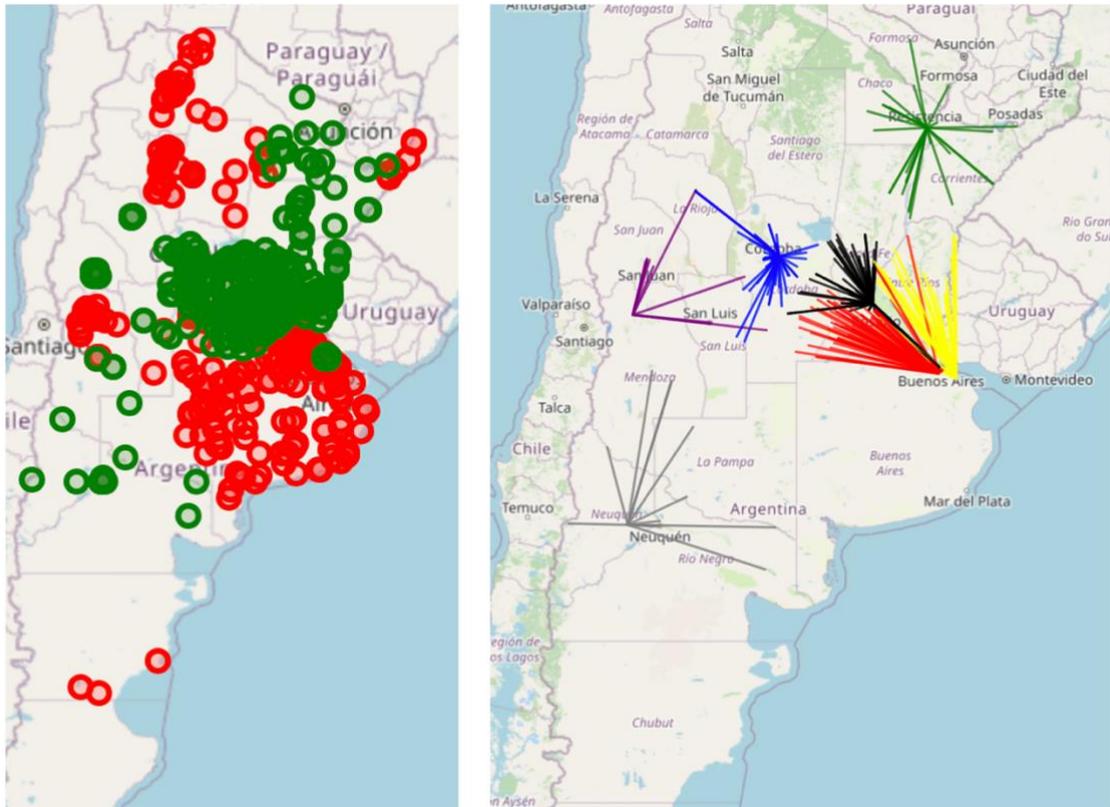


Tabla 23. Estaciones abiertas por provincia en el Escenario D.

Provincias	Estaciones Blancas Seleccionadas	Estaciones Blancas Totales	Diferencia	Porcentaje Abiertas
Santa Fe	132	132	0	100%
Entre Rios	61	61	0	100%
Rio Negro	3	3	0	100%
Corrientes	10	10	0	100%
Neuquen	9	9	0	100%
San Juan	12	12	0	100%
Formosa	3	3	0	100%
La Rioja	5	5	0	100%
Cordoba	103	112	9	92%
Capital Federal	33	43	10	77%
San Luis	6	8	2	75%
Chaco	10	17	7	59%
Misiones	1	7	6	14%
La Pampa	2	19	17	11%
Mendoza	3	56	53	5%
Santa Cruz	0	0	0	0%
Tierra del Fuego	0	0	0	0%
Buenos Aires	0	253	253	0%
Tucuman	0	26	26	0%
Salta	0	14	14	0%
Chubut	0	3	3	0%
Santiago del Estero	0	23	23	0%
Jujuy	0	14	14	0%
Catamarca	0	6	6	0%

Con base en los hallazgos y análisis detallados, en el próximo capítulo se abordarán las aplicaciones prácticas y estratégicas de los resultados obtenidos en el contexto del negocio de comercialización de combustibles. Además, se ofrecerán conclusiones generales y de la tesis.

Capítulo 5: Conclusiones

El mercado de combustibles en Argentina es altamente competitivo, con numerosos actores que buscan posicionarse y mantener una ventaja competitiva en un entorno dinámico y desafiante. En este contexto, Delta Patagonia, uno de los jugadores en la industria de comercialización de combustibles en el país, ha buscado constantemente expandirse y superar a su principal competidor, Puma Energy.

La presente investigación ha proporcionado una visión integral y detallada del mercado de combustibles en Argentina, con un enfoque especial en la maximización de la ganancia de Delta Patagonia para lograr el objetivo de seguir expandiéndose y superar a su competencia que actualmente cuenta con un 6% de participación de mercado en la Argentina.

A lo largo de esta tesis, se propuso y desarrolló un modelo de optimización basado en el problema de *facility location* con el objetivo de ubicar y adquirir estaciones de servicio blancas que maximicen la ganancia de Delta Patagonia en su estrategia de expansión en el mercado de combustibles argentino. Se tuvieron en cuenta múltiples parámetros, como el conjunto de posibles estaciones, las terminales de distribución, los productos comercializados por Delta Patagonia, las provincias de Argentina, la demanda por estación de servicio y por producto, la disponibilidad de cada producto por terminal, los costos logísticos, el costo del producto y el precio de venta.

Los resultados obtenidos a partir del modelo de optimización brindaron valiosos *insights* para la estrategia de Delta Patagonia y la toma de decisiones del negocio. Se identificaron oportunidades de expansión a través de la adquisición de estaciones de servicio blancas, lo que permitiría a la empresa aumentar su participación de mercado y alcanzar su objetivo de crecimiento. Además, se obtuvieron estimaciones precisas de volumen y ganancia proyectada, lo que brinda una base sólida para la toma de decisiones en términos de inversión y operaciones.

Estos resultados tienen aplicaciones directas en la estrategia de Delta Patagonia, permitiendo a la empresa tomar decisiones informadas y optimizadas en su proceso de expansión. Además, el enfoque de optimización propuesto en esta tesis puede ser utilizado como una herramienta valiosa para la toma de decisiones.

En el desarrollo de este trabajo de tesis, se utilizó Zimpl, un lenguaje de modelado de optimización matemática, para implementar el modelo de optimización propuesto. Además, se utilizó SCIP, un solver de optimización de código abierto ampliamente utilizado, para resolver el modelo de programación entera. La implementación y resolución del modelo de optimización con estas herramientas permitieron obtener resultados precisos y eficientes en términos de ubicación y adquisición de estaciones de servicio blancas por parte de Delta Patagonia. La utilización de Zimpl y SCIP demostró ser una solución efectiva para abordar el problema de *facility location* en el contexto de la expansión de Delta Patagonia en el mercado de combustibles argentino.

La participación de mercado de Delta Patagonia en la industria de comercialización de combustibles en Argentina es actualmente del 1.5% y cuenta con 150 estaciones de servicio. Siguiendo con el objetivo de identificar oportunidades de crecimiento para la empresa, con el fin de alcanzar una participación de mercado del 6.5%, se estimó la incorporación de un total de 373 estaciones blancas, es decir, estaciones que no están siendo trabajadas por otras empresas. Esta expansión en el número de estaciones blancas supondría un incremento considerable,

aproximadamente 2.5 veces más de lo que se tiene actualmente. Las estaciones seleccionadas en el modelo para ser abiertas corresponden en su mayoría a provincias en centro del país, tales como Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe. El análisis detallado de datos y resultados obtenidos ha permitido identificar las implicaciones de agregar estas estaciones blancas, tanto en términos de volumen como de ganancia para la empresa. El volumen proyectado asciende a un total de 103.588 metros cúbicos para los cuatro productos que comercializa la compañía, con una ganancia estimada de USD 6,366,726 mensuales.

Además de los resultados en términos de ganancia total, el modelo de optimización también proporcionó *insights* sobre las regiones menos rentables y más destacadas para la expansión de Delta Patagonia en el mercado de combustibles argentino. Según los resultados obtenidos, se ha identificado que las provincias de Tucumán, Capital Federal, Salta, Chubut, Santiago del Estero, Jujuy y Catamarca presentan menor rentabilidad en comparación con otras regiones. Esto se refleja en la falta de selección de estaciones de servicio en estas provincias dentro del modelo sugerido. Entre las provincias analizadas, se destaca Capital Federal debido a que presenta la menor diferencia entre los precios de venta y los costos de los cuatro productos que comercializa Delta Patagonia. Es importante señalar que en el caso específico del gasoil común (D500), se incurre en pérdidas en esta zona.

Por otro lado, las provincias de Córdoba, Entre Ríos, Santa Fe, Buenos Aires, San Juan, Corrientes, Chaco, Neuquén, San Luis, La Rioja, Río Negro, Formosa, La Pampa, Misiones y Mendoza se destacaron como las regiones más rentables para la expansión de Delta Patagonia. En relación al volumen vendido por provincia, destacan Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos como las estaciones con mayor venta en volumen, abastecidas principalmente de las terminales de La Matanza, La Plata, Montecristo y San Lorenzo.

Se identificaron varias terminales que se destacan en términos de ganancia para Delta Patagonia. Específicamente, las terminales de La Plata, La Matanza y Montecristo mostraron un alto rendimiento en términos de ganancia para la empresa. Los hallazgos sugieren que estas terminales son estratégicas y pueden ser importantes para el crecimiento y la rentabilidad de Delta Patagonia en el mercado de combustibles argentino. En términos de distancias recorridas, las terminales de La Plata y La Matanza son las que mayores distancias realizan debido a que hay estaciones de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos abastecidas por estas terminales.

Además, existen oportunidades para futuras investigaciones que podrían ampliar el enfoque de este estudio. Por ejemplo, se podrían explorar estrategias de expansión hacia estaciones de la competencia o estaciones ubicadas en las regiones menos rentables identificadas en este estudio, como Capital Federal, Tucumán y Salta, buscando formas de hacerlas rentables o considerando otros beneficios, como la mejora de la imagen de marca. En el caso de Capital Federal, tal como se realiza en un escenario alternativo se puede analizar la posibilidad de aumentar los precios de venta para que las estaciones sean rentables o simplemente se puede incurrir en pérdidas pero sabiendo que es una inversión para la expansión de la marca. En los casos de provincias que no fueron elegidas por sus amplias distancias con las terminales se podría analizar de contratar terminales más cercanas. Asimismo, se podría ampliar el análisis a otros aspectos del negocio de comercialización de combustibles, como el análisis de la cadena de suministro, la sustentabilidad ambiental y social, y la evaluación de riesgos y oportunidades en un contexto cambiante del mercado en términos económicos y tecnológicos. Estos enfoques complementarios podrían brindar una visión más integral y completa de la estrategia de Delta Patagonia.

En resumen, esta tesis ha contribuido al conocimiento sobre el mercado de combustibles en Argentina y ha proporcionado información para la toma de decisiones en el negocio de comercialización de combustibles. Los resultados obtenidos tienen aplicaciones prácticas y estratégicas, y ofrecen una base sólida para futuras investigaciones en el campo.

Referencias

- [1] McKinsey & Company. (2022). Global Energy Perspective 2022 página 12. Consultado el 6 de abril de 2023, de <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2022>
- [2] KPMG Argentina. (2019). Industria de Oil & Gas: tendencias para 2019, página 7. Consultado de <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ar/pdf/industria-de-oil-gas-tendencias-para-2019.pdf>
- [3] Plan Energético Nacional 2019-2025. Ministerio de Hacienda, Secretaría de Energía, República Argentina. Consultado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_energetico.pdf
- [4] Delta Patagonia. (s.f.). About. LinkedIn. Consultado desde <https://www.linkedin.com/company/deltapatagonia/about/>
- [5] Delta Patagonia. (s.f.). Página de empresa de Delta Patagonia en LinkedIn. Recuperado de <https://www.linkedin.com/company/deltapatagonia/?originalSubdomain=ar>
- [6] Gulf Oil Corporation. (s.f.). Página de Wikipedia de Gulf Oil Corporation. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Gulf_Oil_Corporation
- [7] YPF. (s.f.). En Wikipedia. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/YPF>
- [8] Archivo:Logo de YPF.svg. (s.f.). Página de archivo de YPF en Wikipedia. Recuperado de https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Logo_de_YPF.svg
- [9] Shell plc. (s.f.). En Wikipedia. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Shell_plc
- [10] 1000marcas.net. (s.f.). Logotipo de Shell. Recuperado de <https://1000marcas.net/shell-logo/>
- [11] Pan American Energy. (s.f.). En Wikipedia. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Pan_American_Energy
- [12] Wikipedia. (s.f.). Logotipo de Axion Energy. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Logo_AXION_energy.jpg
- [13] Puma Energy. (s.f.). En página de empresa Puma Energy. Recuperado de https://www.pumaenergyarg.com.ar/sobre_puma_energy
- [14] Puma Energy Argentina. (s.f.). Canal de YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/c/PumaEnergyArgentina/videos>
- [15] Pampa Energía. (s.f.). En Wikipedia. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Pampa_Energ%C3%ADa
- [16] Refinor. (s.f.). Quiénes somos. Recuperado de <https://www.refinor.com/contenidos1/74/quienes-somos>
- [17] DAPSA. (s.f.). Sitio web oficial de DAPSA. Recuperado de <https://www.dapsa.com.ar/>
- [18] DAPSA. (s.f.). Sitio web oficial de DAPSA. Recuperado de <https://www.dapsa.com.ar/>

- [20] Current, J. R., Daskin, M. S., & Schilling, D. A. (1990). Discrete network location models. https://www.researchgate.net/publication/289519041_Discrete_Network_Location_Problem
- [21] S. Mohammadi, M. R. Akbarzadeh-T, A. Bozorgi-Amiri, and M. A. Nikoukaran, "A Hybrid Model for Facility Location-Allocation Problem in Oil and Gas Industry," *Journal of Cleaner Production*, vol. 191, pp. 245-259, 2018. <https://www.mdpi.com/2305-6290/7/1/3/htm>
- [22] B. Badri-Koohi, R. Tavakkoli-Moghaddam, and M. Asghari, "Optimizing Number and Locations of Alternative-Fuel Stations Using a Multi-Criteria Approach," *Journal of Cleaner Production*.
https://www.researchgate.net/publication/346747536_Optimizing_Number_and_Locations_of_Alternative-Fuel_Stations_Using_a_Multi-Criteria_Approach
- [23] CECHA. (s.f.). Cámara de Empresarios de Combustibles de Argentina. Recuperado de <http://cecha.org.ar/site/>
- [24] Secretaria de Energía. (s.f.). Sitio web oficial de la Secretaria de Energia. <http://datos.minem.gob.ar/dataset/precios-en-surtidor>
- [25] Wikipedia. "Haversine formula." https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula.
- [26] Thorsten Koch. 2021. Rapid Mathematical Programming. Technical University of Berlin. Disponible en: <http://opus4.kobv.de/opus4-zib/frontdoor/index/index/docId/834>
- [27] SCIP: Solving Constraint Integer Programs. <https://www.scipopt.org/>

Apéndice A. Implementación de la fórmula de Haversine en Python.

Figura 57. Archivo calculo_distancias.py utilizado para el cálculo de distancias entre terminales y estaciones blancas.

```
import math
import openpyxl

def haversine(lat1, lon1, lat2, lon2):
    # Radio de la Tierra en kilómetros
    r = 6371

    # Conversión de grados a radianes
    d_lat = math.radians(lat2 - lat1)
    d_lon = math.radians(lon2 - lon1)
    lat1 = math.radians(lat1)
    lat2 = math.radians(lat2)

    # Aplicación de la fórmula Haversine
    a = math.sin(d_lat / 2) ** 2 + math.cos(lat1) * math.cos(lat2) * math.sin(d_lon / 2) ** 2
    c = 2 * math.atan2(math.sqrt(a), math.sqrt(1 - a))
    distance = r * c

    return distance

# Lectura de coordenadas de estaciones desde el archivo "estaciones.xlsx"
estaciones_wb = openpyxl.load_workbook('estaciones_blancas.xlsx')
estaciones_sheet = estaciones_wb.active
coordenadas_estaciones = {}

for row in estaciones_sheet.iter_rows(min_row=2, values_only=True):
    nombre = row[0]
    latitud = row[17]
    longitud = row[18]
    coordenadas_estaciones[nombre] = {'latitud': latitud, 'longitud': longitud}

# Lectura de coordenadas de terminales desde el archivo "terminales.xlsx"
terminales_wb = openpyxl.load_workbook('terminales.xlsx')
terminales_sheet = terminales_wb.active
coordenadas_terminales = {}

for row in terminales_sheet.iter_rows(min_row=2, values_only=True):
    nombre = row[0]
    latitud = row[1]
    longitud = row[2]
    coordenadas_terminales[nombre] = {'latitud': latitud, 'longitud': longitud}

# Creación de un archivo de Excel
wb = openpyxl.Workbook()
sheet = wb.active

# Cálculo de las distancias y escritura en el archivo de Excel
# La primera fila y la primera columna corresponden a los nombres de las estaciones y terminales
estaciones = list(coordenadas_estaciones.keys())
terminales = list(coordenadas_terminales.keys())

for i, estacion in enumerate(estaciones):
    sheet.cell(row=i+2, column=1, value=estacion)
    for j, terminal in enumerate(terminales):
        sheet.cell(row=1, column=j+2, value=terminal)
        distancia = haversine(coordenadas_estaciones[estacion]['latitud'],
                              coordenadas_estaciones[estacion]['longitud'],
                              coordenadas_terminales[terminal]['latitud'],
                              coordenadas_terminales[terminal]['longitud'])
        sheet.cell(row=i+2, column=j+2, value=distancia)

# Guardado del archivo de Excel
wb.save('distancias.xlsx')
```

Apéndice B. Modelo de optimización en ZIMPL

Figura 58. Modelo de Optimización en ZIMPL.

```
# Conjunto de posibles estaciones
set E := { read "estaciones.txt" as "<1s>" };

# Conjunto de terminales
set T := { read "terminales.txt" as "<1s>" };

# Conjunto de artículos
set A := { read "articulos.txt" as "<1s>" };

# Conjunto de provincias
set P := { read "provincias.txt" as "<1s>" };

# Demanda por estación y artículo
param demanda[E*A] := read "demanda.txt" as "n+";

# Cantidad disponible por terminal y artículo
param disponible[T*A] := read "disponibilidad.txt" as "n+";

# Costo de envío hacia cada estación desde cada terminal
param costo_l[E*T] := read "costo_l.txt" as "n+";

# Precio de venta de cada artículo por estación
param precio[E*A] := read "precio.txt" as "n+";

# Precio por terminal y artículo
param costo_p[T*A] := read "costo_p.txt" as "n+";

# Estación por provincia
param estación_proy[E*P] := read "estaciones_proy.txt" as "n+";

# Máximo por provincia
param maximo[P] := read "max_x_provincias.txt" as "<1s> 2n";

# Distancia de terminal a estación
param distancias[E*T] := read "distancias.txt" as "n+";

# Variable x[i] = Se abre o no la estación i
var x[E] binary;

# Variable y[i,j] = La estación i es atendida desde la terminal j
var y[E*T] binary;

# Función objetivo: Maximizar ganancias menos costos
maximize fobj: sum <i,k> in E*A: demanda[i,k] * precio[i, k] * x[i] - sum <i,j> in E*T: costo_l[i,j] * y[i,j] - sum <i, j, k> in E*T*A: costo_p[j, k] * demanda[i,k] * y[i,j];

# Solamente una terminal atiende a cada estación, y esto sucede solamente si se abre la estación
subto terminales: forall <i> in E:
    sum <j> in T: y[i,j] == x[i];

# Se respeta la disponibilidad de cada terminal de cada artículo
subto disponibilidad: forall <i,k> in T*A:
    sum <j> in E: demanda[i,k] * y[j,i] <= disponible[j,k];

# Máximo de estaciones abiertas por provincia
subto max_estaciones_x_proy: forall <p> in P:
    sum <i> in E: estación_proy[i,p] * x[i] <= maximo[p];

# Cumplir con demanda de 91388 para llegar a un share de 6.5% (4ta compañía luego de YPF, Shell y PAE ganándole a la principal competencia PUMA)
subto demanda_obj: sum <i, k> in E*A: demanda[i,k] * x[i] >= 91388;

# Se quiere cumplir que cada camión no realice mas de cierta cantidad de kilómetros por viaje (60 km/h por 8 horas = 480 kms)
subto distancia_max: forall <i, j> in E*T: distancias[i,j] * y[i, j] <= 480;
```

Apéndice C. Resultados obtenidos del modelo

Figura 59. Output del modelo con mostrando el GAP de 0.06% con respecto al valor optimo.

```

204s 14000 12855 465835 33.0 266M 89 21 2535 673 2535 713 10k 51 2826 9.206833e+08 9.201192e+08 0.06%
time node left LP iter LP it/n mem mdpt frac vars cons cols rows cuts confs strbr dualbound primalbound gap
206s 14100 12953 469344 33.0 256M 89 6 2535 673 2535 734 10k 51 2831 9.206830e+08 9.201192e+08 0.06%
207s 14200 13051 472232 33.0 256M 89 8 2535 673 2535 729 10k 51 2838 9.206830e+08 9.201192e+08 0.06%
208s 14300 13145 475508 33.0 256M 89 4 2535 677 2535 731 10k 56 2865 9.206822e+08 9.201192e+08 0.06%
210s 14400 13239 478900 33.0 262M 89 15 2535 677 2535 730 10k 56 2879 9.206816e+08 9.201192e+08 0.06%
211s 14500 13335 482289 33.0 263M 89 4 2535 677 2535 731 10k 56 2885 9.206811e+08 9.201192e+08 0.06%
212s 14600 13435 484568 32.9 265M 89 11 2535 677 2535 726 10k 56 2887 9.206810e+08 9.201192e+08 0.06%
214s 14700 13525 487115 32.9 267M 89 8 2535 677 2535 735 11k 56 2903 9.206810e+08 9.201192e+08 0.06%
215s 14800 13621 490927 32.9 272M 89 10 2535 677 2535 733 11k 56 2905 9.206810e+08 9.201192e+08 0.06%
217s 14900 13719 493575 32.9 274M 89 11 2535 676 2535 728 11k 56 2906 9.206801e+08 9.201192e+08 0.06%
218s 15000 13813 496216 32.8 278M 89 16 2535 676 2535 728 11k 56 2931 9.206796e+08 9.201192e+08 0.06%
220s 15100 13907 499763 32.9 279M 89 17 2535 676 2535 728 11k 56 2940 9.206796e+08 9.201192e+08 0.06%
221s 15200 14001 502222 32.8 280M 89 15 2535 676 2535 734 11k 56 2953 9.206796e+08 9.201192e+08 0.06%
222s 15300 14067 503580 32.7 280M 89 10 2535 676 2535 733 11k 56 2994 9.206796e+08 9.201192e+08 0.06%
223s 15400 14147 506159 32.6 281M 89 - 2535 676 2535 715 11k 56 3025 9.206794e+08 9.201192e+08 0.06%
224s 15500 14229 508320 32.6 281M 89 6 2535 675 2535 733 11k 56 3078 9.206792e+08 9.201192e+08 0.06%
time node left LP iter LP it/n mem mdpt frac vars cons cols rows cuts confs strbr dualbound primalbound gap
225s 15600 14313 509924 32.5 281M 89 8 2535 675 2535 732 11k 56 3087 9.206787e+08 9.201192e+08 0.06%
226s 15700 14401 511961 32.4 281M 89 18 2535 675 2535 736 11k 56 3095 9.206787e+08 9.201192e+08 0.06%
228s 15800 14487 515359 32.4 284M 89 24 2535 674 2535 735 11k 56 3096 9.206787e+08 9.201192e+08 0.06%
229s 15900 14581 518782 32.4 285M 89 4 2535 674 2535 738 11k 56 3096 9.206787e+08 9.201192e+08 0.06%
230s 16000 14669 521131 32.3 286M 89 16 2535 674 2535 721 11k 56 3098 9.206772e+08 9.201192e+08 0.06%
231s 16100 14759 524369 32.3 286M 89 16 2535 674 2535 736 11k 56 3108 9.206768e+08 9.201192e+08 0.06%
232s 16200 14845 526611 32.3 288M 89 16 2535 674 2535 728 11k 56 3110 9.206764e+08 9.201192e+08 0.06%
233s 16300 14931 530182 32.3 289M 89 12 2535 676 2535 728 11k 58 3117 9.206764e+08 9.201192e+08 0.06%
235s 16400 15029 533579 32.3 291M 89 15 2535 676 2535 729 12k 58 3126 9.206762e+08 9.201192e+08 0.06%
235s 16500 15121 535090 32.2 291M 89 12 2535 676 2535 723 12k 58 3136 9.206755e+08 9.201192e+08 0.06%
237s 16600 15199 536981 32.1 291M 89 - 2535 676 2535 718 12k 58 3232 9.206739e+08 9.201192e+08 0.06%
237s 16700 15253 537972 32.0 292M 89 15 2535 676 2535 725 12k 58 3270 9.206736e+08 9.201192e+08 0.06%
^Cpressed CTRL-C 1 times (5 times for forcing termination)

SCIP Status : solving was interrupted [user interrupt]
Solving Time (sec) : 237.59
Solving Nodes : 16752 (total of 16753 nodes in 2 runs)
Primal Bound : +9.20119194999999e+08 (513 solutions)
Dual Bound : +9.20673604140878e+08
Gap : 0.06 %

```

Figura 60. Output del modelo con el valor de la función objetivo y de las variables "x" con valor igual a 1. No figura la totalidad del archivo para facilitar la lectura del trabajo.

```

SCIP> display solution

objective value: 920119194.999999
x$2530 1 (obj:26787917)
x$8952 1 (obj:31032766)
x$3471 1 (obj:26787917)
x$5141 1 (obj:26787917)
x$4983 1 (obj:26787917)
x$5031 1 (obj:26787917)
x$4890 1 (obj:26787917)
x$7425 1 (obj:26787917)
x$4957 1 (obj:26787917)
x$4887 1 (obj:26787917)
x$7781 1 (obj:30747034)
x$6662 1 (obj:29028038)
x$10711 1 (obj:29028038)
x$5113 1 (obj:26787917)
x$3612 1 (obj:31032766)
x$473 1 (obj:31032766)
x$2827 1 (obj:31032766)
x$10234 1 (obj:53398133)
x$5615 1 (obj:29028038)
x$3448 1 (obj:26787917)
x$8471 1 (obj:26787917)
x$9494 1 (obj:26787917)
x$7304 1 (obj:37738450)
x$2601 1 (obj:42645729)
x$8452 1 (obj:31032766)
x$6283 1 (obj:30747034)
x$6779 1 (obj:29028038)
x$2484 1 (obj:31032766)
x$2513 1 (obj:31032766)
x$5994 1 (obj:26787917)
x$2510 1 (obj:31032766)
x$9435 1 (obj:31032766)
x$10314 1 (obj:31032766)
x$10491 1 (obj:31032766)
x$7233 1 (obj:29028038)
x$4857 1 (obj:26787917)
x$3595 1 (obj:29028038)
x$3962 1 (obj:53398133)
x$6730 1 (obj:29028038)
x$3023 1 (obj:31032766)
x$4220 1 (obj:31032766)
x$7363 1 (obj:26787917)
x$10190 1 (obj:26787917)

```

Figura 61. Output del modelo mostrando las variables “y” con valor igual a 1. No figura la totalidad del archivo para facilitar la lectura del trabajo.

y\$2530\$La-Matanza	1	(obj:-23960545)
y\$8952\$Montecristo	1	(obj:-28629467)
y\$3471\$Barranqueras	1	(obj:-25550877)
y\$5141\$La-Matanza	1	(obj:-23936993)
y\$4983\$La-Plata	1	(obj:-23953641)
y\$5031\$San-Lorenzo	1	(obj:-25165867)
y\$4890\$La-Matanza	1	(obj:-24076206)
y\$7425\$La-Matanza	1	(obj:-23960545)
y\$4957\$San-Lorenzo	1	(obj:-25216671)
y\$4887\$San-Lorenzo	1	(obj:-25107246)
y\$7781\$La-Plata	1	(obj:-28728509)
y\$6662\$La-Plata	1	(obj:-26262251)
y\$10711\$La-Plata	1	(obj:-26262251)
y\$5113\$San-Lorenzo	1	(obj:-25165867)
y\$3612\$Montecristo	1	(obj:-28760760)
y\$473\$Montecristo	1	(obj:-28607803)
y\$2827\$Montecristo	1	(obj:-28571634)
y\$10234\$Plaza-Huincul	1	(obj:-50812886)
y\$5615\$La-Plata	1	(obj:-26139251)
y\$3448\$La-Matanza	1	(obj:-23925218)
y\$8471\$La-Matanza	1	(obj:-23948769)
y\$9494\$San-Lorenzo	1	(obj:-25302451)
y\$7304\$Barranqueras	1	(obj:-36565869)
y\$2601\$Plaza-Huincul	1	(obj:-40999086)
y\$8452\$Montecristo	1	(obj:-28571634)
y\$6283\$La-Plata	1	(obj:-28720744)
y\$6779\$La-Plata	1	(obj:-25790946)
y\$2484\$Montecristo	1	(obj:-28671447)
y\$2513\$Montecristo	1	(obj:-28584223)
y\$5994\$San-Lorenzo	1	(obj:-25359637)
y\$2510\$Montecristo	1	(obj:-28760760)