

Tipo de documento: Tesis de maestría



Escuela de Negocios. Master in Management + Analytics

Optimización de la política vehicular aplicada a la seguridad pública en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Autoría: Sciurano, Matías

Año: 2024

¿Cómo citar este trabajo?

Sciurano, M.(2024). *Optimización de la política vehicular aplicada a la seguridad pública en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. [Tesis de maestría. Universidad Torcuato Di Tella]*. Repositorio Digital Universidad Torcuato Di Tella

<https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/12940>

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 4.0 Argentina
Dirección: <https://repositorio.utdt.edu>

Título: *Optimización de la política vehicular aplicada a la seguridad pública en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.*

Alumno: *Matías Sciurano*

Tutor: *Juan José Miranda Bront*

Resumen Ejecutivo

Los organismos proveedores de servicios de seguridad pública se enfrentan al complejo desafío de determinar el tamaño y composición de su flota vehicular heterogénea, atravesado por distintas variables operativas y presupuestarias. El abordaje de este desafío resulta en distintos niveles de gasto, de presencia policial, y en general de eficiencia y efectividad en la administración de las fuerzas policiales. En ese contexto, este trabajo busca realizar un abordaje metódico a este problema, utilizando datos provistos por la Policía de Ciudad de Buenos Aires y otros datos publicados por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, y aplicando distintos modelos de programación lineal entera. De esta manera, se busca proveer a los organismos de seguridad de un enfoque formal a la hora de tomar sus decisiones de política vehicular, y evaluar sus beneficios y limitaciones ante distintos escenarios. Si bien aún existen oportunidades de investigación adicionales, el presente trabajo establece un enfoque preliminar de utilidad para futuros estudios.

Abstract

Public safety service providers face the complex challenge of determining the size and composition of their heterogeneous vehicle fleet, affected by various operational and budgetary variables. The approach to this challenge results in different levels of expenditure, police presence, and overall efficiency and effectiveness in managing police forces. In this context, this work aims to methodically address this problem using data provided by the Buenos Aires City Police and other information published by the Buenos Aires City Government. It applies various models of integer linear programming. The objective is to provide security agencies with a formal approach when making decisions regarding their vehicle policies and to evaluate its benefits and limitations in different scenarios. While there are still additional research opportunities, this work establishes a preliminary approach useful for future studies.

Índice

1. Introducción.....	5
1.1. Contexto.....	5
1.2. Descripción del problema.....	5
2. Revisión de Literatura.....	8
3. Formalización del Problema.....	12
4. Datos.....	16
4.1. Stock de vehículos.....	16
4.2. Reparaciones.....	17
4.3. Parámetros adicionales.....	18
4.4. Exploración de datos: análisis descriptivo.....	20
5. Modelos matemáticos.....	26
5.1. Metodología.....	26
5.2 Modelo 1: minimización de costos totales.....	28
5.3 Modelo 2: maximización de kilómetros recorridos.....	37
6. Escenarios Dinámicos y Performance de Modelos.....	44
6.1. Demanda operativa.....	44
6.2. Política presupuestaria.....	56
7. Conclusión, Limitaciones y Oportunidades.....	60
8. Bibliografía.....	63

1. Introducción

1.1. Contexto

Toda organización que cuente con una flota vehicular bajo su control debe tomar decisiones constantes respecto a su funcionamiento. Dichas decisiones abarcan múltiples períodos temporales, desde la decisión diaria de la cantidad de vehículos a mantener operativos, hasta la decisión plurianual del Plan de Flota, en el cual se detallan todos los objetivos de recambio e incorporación de nuevas unidades, incluyendo el establecimiento de políticas operativas que afectan directamente al desenvolvimiento del servicio.

Cada una de esas decisiones es de por sí compleja y afectada por múltiples factores variables, con distintos obstáculos a la hora de predecir condiciones contextuales o endógenas al propio servicio. Los organismos de seguridad pública enfrentan estos desafíos con un grado aún mayor de intensidad. Esto se debe a que estos organismos, como lo es la Policía de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, poseen un componente de presencia territorial-vehicular central y determinante para su función, por lo cual toda política de recambio, de reposición, de reparaciones y de adquisiciones, posee la condición adicional de impactar directamente en el nivel de operatividad de la fuerza pública y su respuesta ante la ciudadanía.

1.2. Descripción del problema

Actualmente, las decisiones de política operativa y de gestión de la flota vehicular se ven centralmente definidas por parámetros presupuestarios y por la agregación de distintas demandas provenientes de las dependencias policiales directamente involucradas en la labor diaria de provisión del servicio de seguridad pública.

En base a la recopilación de los diferentes requerimientos, y sujeto a las restricciones presupuestarias y de política operativa definida por distintos niveles de gobierno, el organismo decisor junto con las autoridades competentes confecciona definiciones que atañen a cómo se ejecutará la administración de la flota vehicular en el corto, mediano y largo plazo. Puntualmente, estas definiciones consisten en la determinación de distintos parámetros, entre ellos los siguientes: el tamaño mínimo de la flota vehicular; el esquema de reemplazos de vehículos existentes por vehículos nuevos o alquilados; parámetros específicos del nivel de servicio operativo, como la cantidad de horas diarias que un tipo de vehículo debe recorrer y la distancia a recorrer por cada uno de ellos; entre otro universo de decisiones dinámicas que hacen a la calidad y al desempeño del servicio de seguridad pública en la Ciudad.

Si bien el abordaje implementado actualmente asegura el cumplimiento de las demandas operativas y los requisitos presupuestarios, no permite establecer mecanismos de decisión claros y transparentes, y no descansa en una herramienta técnica central. Adicionalmente, el abordaje actual no permitiría modelar la interrelación entre las distintas variables de decisión que facilitarían en gran medida la optimización global de las decisiones.

Cabe aclarar que el mecanismo decisorio del sistema de seguridad pública de la Ciudad de Buenos Aires se encuentra afectado por distintos factores difíciles de transparentar y de estructurar de manera formal. Especialmente la determinación de los criterios que llevan a la planificación y ejecución de un plan de compras y reemplazo de unidades vehiculares es un ámbito en el cual intervienen variables de negociación legislativa presupuestaria, política presupuestaria del Gobierno de la Ciudad, y facultades ejecutivas del Ministerio de Seguridad de la Ciudad. Adicionalmente, la Ley N°104 de Acceso a la Información Pública, limita el acceso a cuestiones que pudieran ocasionar de manera verosímil un riesgo a la seguridad pública, lo cual permite al organismo gubernamental evitar detallar los parámetros operativos más críticos en su sistema decisorio. Es por estos motivos que parte de las variables decisorias fueron determinadas en base a la colaboración del área gubernamental encargada de la administración de vehículos del Ministerio de Seguridad de la Ciudad, que proveyó consideraciones generales que se utilizan en la toma de decisiones.

En consecuencia, si bien el enfoque actual de los distintos actores relevantes logra cumplir en la práctica con las demandas de cada uno de los niveles decisorios, existe evidentemente la oportunidad de desarrollar una herramienta técnica y dinámica que, ante la definición de parámetros específicos, operativos y presupuestarios, permita definir un plan óptimo sujeto a los términos definidos.

De todas formas, vale destacar que, si bien el organismo decisor se vería asistido por la provisión de una herramienta técnica basada en optimización, la misma cumpliría el rol de proveer un *benchmark*, una propuesta que serviría como referencia para la comparación con el esquema propuesto por las autoridades. Esto se debe a que la administración de un sistema complejo y dinámico como el de la seguridad pública trae aparejadas consideraciones que exceden a las variables que podría considerar un modelo de decisión. Precisamente, como todo modelo que busca capturar dinámicas de la realidad, toma una sección determinada de la misma y opera sobre distintos supuestos que buscan ser tan realistas como fuera posible, pero siempre sujetos a las limitaciones que conlleva seccionar un proceso material e interconectado con un sistema mayor, como es este caso.

Concretamente, entonces, el problema que busca abordar el presente trabajo es la optimización del tamaño y composición de la flota vehicular de la Policía de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires durante un horizonte de planificación determinado. Dicha optimización será en primer lugar orientada

a la minimización del costo asociado con la política de flota, respetando distintas restricciones de índole operativo y de distintos indicadores de seguridad del funcionamiento de los vehículos. En segundo lugar, se buscará maximizar la distancia recorrida por los vehículos policiales, enfocando la prioridad en aumentar la presencia policial, sujeto a restricciones y condiciones presupuestarias.

Específicamente, se busca decidir la cantidad y tipo de vehículos a mantener operativos, a adquirir y a alquilar en un período dado, sujeto a determinados costos totales, desagregados en costos de adquisición, de alquiler, de mantenimiento y operatividad, y de almacenamiento. Se tomarán como input para el modelo una serie de consideraciones de política de administración vehicular, lo que permitirá luego evaluar su impacto sobre el resultado final.

Como parte de este trabajo, se estudiarán distintas alternativas en los criterios decisorios a los fines de evaluar y evidenciar la flexibilidad de este tipo de herramientas y el aporte que podrían generar al proceso de toma de decisiones. De esta manera, se busca realizar una verdadera contribución desde el ámbito técnico a un proceso decisorio crítico y atravesado por múltiples factores intervinientes.

Al considerar dos estrategias decisorias distintas, se podrán evaluar las diferencias en los resultados al maximizar la cantidad de kilómetros totales recorridos por la flota policial y minimizar los costos totales, detectando similitudes y diferencias que a fin de cuentas nutrirán al organismo decisor de un mayor y más profundo entendimiento de las dinámicas asociadas con sus decisiones.

Como consideración complementaria, el desarrollo e implementación del modelo mencionado permitiría asistir al organismo y a los distintos niveles de decisión en una de las tareas centrales de toda organización pública, la programación presupuestaria. Esta tarea consiste principalmente en estimar de forma precisa los gastos que deberán incurrirse para asegurar el cumplimiento del servicio y, aún más desafiante, su evolución temporal futura. Esta responsabilidad, como ha sido destacado previamente, se ve obstaculizada en escenarios de incertidumbre en las variables intervinientes como lo es el de la seguridad pública y la administración vehicular. Es por ello que no sólo la estimación no es trivial ni automática, sino que además es fundamental para el desempeño de la organización en tanto organismo público y su consideración en los distintos niveles de gobierno.

Nuevamente, el objetivo al que se busca llegar es el de la provisión de una asistencia técnica realista, pero que no busca desconocer el grado de imprevisibilidad inherente a la decisión. En la etapa concluyente del presente trabajo se explorarán posibles oportunidades de mejora para desarrollar aún más el modelo construido y para asegurar su continua relevancia para las tareas del organismo.

El contenido restante del trabajo se divide dentro de las siguientes secciones. La Sección 2 realiza un recorrido acabado de la literatura existente en el ámbito de la aplicación de modelos de

optimización para distintos problemas de administración de flota vehicular, destacando la ubicación del trabajo actual dentro de ese universo. La Sección 3 tiene como propósito introducir la estructuración formal del problema a abordar, detallando ciertas definiciones de parámetros centrales que formarán parte de los distintos modelos a desarrollar. La Sección 4 realiza una descripción minuciosa de los datos sobre los cuales se construirán y evaluarán los modelos de optimización, junto con visualizaciones preliminares que permiten ilustrar tendencias y características centrales de las variables analizadas. La Sección 5 establece concretamente la metodología a utilizar y detalla las variables consideradas, formalizando también los modelos y analizando sus resultados. La Sección 6 evalúa a los modelos ante escenarios cambiantes, que buscan analizar con mayor profundidad su funcionamiento y reglas de decisión. La Sección 7 evalúa las limitaciones del trabajo y delinea sus principales conclusiones, junto con oportunidades para futuras investigaciones.

2. Revisión de Literatura

La complejidad de la administración de la flota vehicular de organismos de seguridad pública ha sido abordada por la literatura reciente, pero se ha enfocado principalmente en modelos de despliegue territorial en tiempo real. Si bien esto es relevante a la discusión e impacta a la administración de la flota, no corresponde necesariamente al problema del dimensionamiento y composición vehicular del organismo.

Este tipo de análisis resulta relevante al problema de la operación de la flota, pero el presente trabajo busca consolidar un modelo de optimización que permita tomar en consideración las variables concretas que tiene a su disposición el tomador de decisiones a la hora de formular el plan vehicular del organismo, sin adentrarse en la optimización de los recorridos específicos de los vehículos. Un claro ejemplo de este tipo de abordaje es el de Li et al. (2019), enfocado en la ubicación de los eventos de emergencia y en los tiempos de viaje asociados con la atención a esos eventos.

A su vez, existe otra corriente de análisis enfocado ya no en el desenvolvimiento operativo en tiempo real de la flota vehicular, sino en el abordaje del problema de decisión de la administración de la flota existente. Estas investigaciones se dirigen al análisis del *trade-off* existente entre distintas decisiones de recambio y operativas de la flota vehicular. Así el mentado corpus se encuadra dentro de la *vehicle replacement theory*, que busca ahondar sobre el balance entre nuevas adquisiciones y costos de operatividad, buscando hallar la frontera eficiente que asegure la minimización de los costos totales incurridos.

Inicialmente, Bellman (1955) introduce los elementos principales asociados con este enfoque, y formaliza matemáticamente la evaluación de la decisión de mantener una maquinaria o de descartarla y reemplazarla por una nueva. En los elementos de su modelo seminal, considera una evolución ascendente de los costos de mantenimiento de una maquinaria genérica de producción, y un descenso progresivo de su *output* productivo. De esta manera, su formulación permite calcular la edad óptima de reemplazo para una maquinaria dada, obteniendo así el momento en el cual se debe discontinuar y reemplazar por una nueva.

Si bien el citado trabajo no atañe directamente a la administración vehicular, con las características específicas que conlleva ese ámbito, sí permite introducir la estructuración del problema que otros autores aplicarán al problema de reemplazo de una flota automotor. Puntualmente, esto se debe a que el problema del reemplazo de maquinaria productiva posee características centrales similares al del reemplazo de flota vehicular. Ambos problemas parten de unidades heterogéneas según tipos o categorías que conllevan un *output* o resultado específico y medible. En el caso de la maquinaria, existe una cantidad determinada de máquinas de distintos tipos que producen una cantidad específica de material. Los vehículos también son diferenciables entre sí y según tipos vehiculares distintos, y poseen como resultado medible una distancia específica recorrida.

Adicionalmente, en ambos casos existen distintos costos asociados con la operación. La maquinaria posee costos fijos y variables por su uso, y puntualmente costos de mantenimiento que se incrementan mientras se incrementa la edad de la máquina. Similarmente, los vehículos cuentan con costos de mantenimiento crecientes en el tiempo, junto con distintos costos operativos que varían según el caso a analizar. Por último, ambos universos consideran un deterioro en el tiempo del *output* productivo de las unidades. Las maquinarias producen sucesivamente un nivel menor de unidades con el paso del tiempo, asociado con su ciclo de vida específico, mientras que los vehículos también experimentan un descenso en las distancias recorridas en el tiempo.

En esa línea, también surgieron trabajos con enfoques similares al de Bellman (1955), que aplicaron esa estructuración del problema a abordar al ámbito de la administración vehicular, tanto a nivel genérico como directamente sobre organizaciones específicas. Entre ellos, Nash (1976) formaliza el problema de reposición que atañe a la teoría del reemplazo vehicular como un problema de minimización de costos totales considerando los costos de mantenimiento y de reemplazo, expresado gráficamente en su trabajo según la Figura N°1.

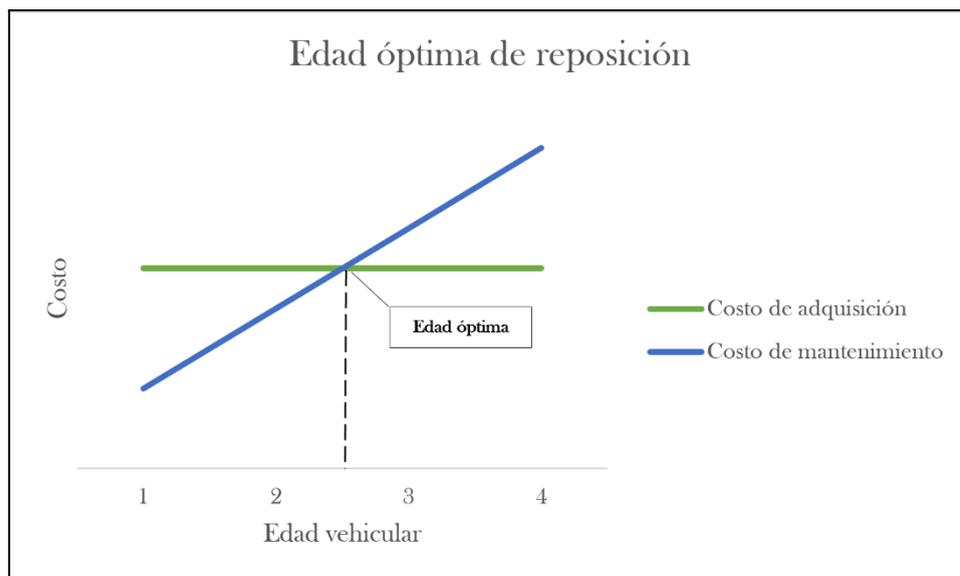


Figura N°1: diagrama replicado de Nash (1976), ilustrando gráficamente el objetivo buscado al optimizar la edad de reposición de los vehículos.

De esa misma manera, Russel (1982) aborda directamente el balance económico que existe entre los distintos costos operativos y de reparación, centrado principalmente en los contextos decisorios en los cuales los esquemas de reemplazo son determinados y, además, en los desafíos existentes a la hora de estimar los costos de operatividad y su relación con la cantidad de kilómetros recorridos. Finalmente, estima de ese modo un ciclo óptimo de reposición que se traduce en un esquema específico de reposiciones para la organización analizada.

Adicionalmente, existe una variedad de trabajos aplicados al ámbito del transporte público que cuenta no sólo con los elementos típicamente asociados con la administración vehicular, sino también con fluctuantes niveles de demanda y un considerable nivel de regulaciones públicas que deben ser consideradas a la hora de establecer cualquier política de flota.

Por ejemplo, Arifin & Yusuf (2017) se encuadra dentro de este universo, donde los autores analizan la operatividad de la provisión de un servicio de transporte público, incorporando la consideración de los ingresos generados por las unidades, los costos de operatividad y los ingresos potenciales por la venta de descarte. De esa manera, calculan la vida útil técnica y económica de los vehículos, entendidas como la edad máxima en la cual el vehículo funciona de manera segura y según las regulaciones existentes, y por el otro, la edad en la cual la permanencia del vehículo en la flota deja de ser financieramente viable. El resultado final consiste en una recomendación sobre las posibles políticas de recambio.

Otro de los trabajos enfocados en el ámbito del transporte público y adoptando el enfoque de *vehicle replacement theory*, es Keles & Hartman (2004), que consiste en la construcción de un modelo de programación lineal entera que busca minimizar el costo total de operación y reemplazo para una flota de transporte público, incorporando limitaciones presupuestarias y parámetros regulatorios y de política vehicular, como por ejemplo la edad máxima permitida para los vehículos operativos.

Dentro del universo de trabajos existentes en la materia, Hartman (1999) contribuye con la innovación de incorporar la decisión del nivel de operatividad de la flota dentro del modelo de reemplazo vehicular. El autor argumenta que en modelos anteriores de análisis de reposición, no se consideró uno de los componentes operativos de mayor envergadura como lo es el del nivel de utilización, lo que llevó a ignorar escenarios en los cuales distintos parámetros de operatividad podrían resultar en costos totales de operación y reposición menores a los alcanzados. Como puede observarse en la Figura N°2, el autor ilustra una relación entre nivel de utilización, costos operativos y demanda (en cantidad de vehículos) que resulta relevante para las decisiones de reposición.

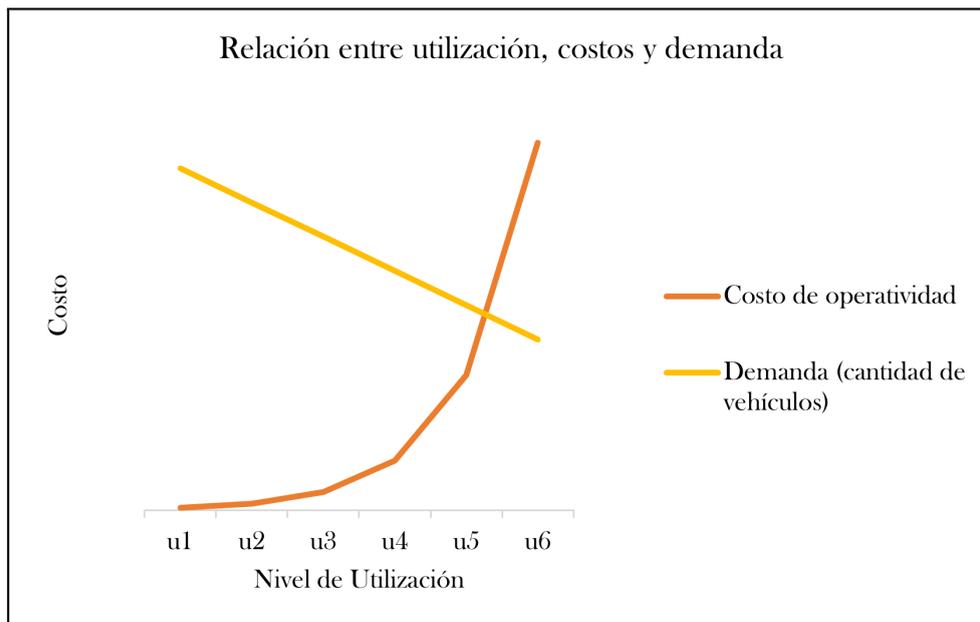


Figura N°2: diagrama replicado de diagramas de Hartman (1999), ilustrando gráficamente la relación entre el nivel de utilización vehicular, los costos de operatividad asociados y la demanda en cantidad de vehículos.

Finalmente, el estudio realizado por Feng & Figliozzi (2014) posee la distinción de desarrollar un modelo de programación lineal entera exhaustivo que incorpora distintos parámetros operativos, principalmente el nivel de utilización de los vehículos, junto con la desagregación de los parámetros de costos según la edad específica de cada vehículo. Así permite considerar los costos asociados con el consumo de combustible usando el nivel de gasto específico vinculado con los vehículos de cada antigüedad determinada.

En síntesis, existen numerosos estudios que se han enfocado en construir distintos modelos para obtener esquemas de reposición óptimos en términos de costos totales, y que han incorporado de manera progresiva distintas variables de decisión y parámetros asociados con la operatividad de las flotas vehiculares estudiadas. De todas formas, no parecieran haberse realizado trabajos exhaustivos en el ámbito de la prestación de servicios de seguridad pública. Si bien la estructura general del problema de reposición es equivalente, el ámbito policial posee consideraciones operativas que merecen un estudio particular y que implican la incorporación de sus particularidades.

A su vez, no parecieran haber trabajos que aborden el problema utilizando datos de la Ciudad de Buenos Aires o de organismos argentinos de seguridad. Sí cabe destacar el trabajo realizado en Bornia (2021), que analiza las políticas de distribución de recursos policiales en jurisdicciones, evaluando esquemas alternativos al actualmente utilizado. Si bien el trabajo se encuentra enfocado en ámbitos operativos que exceden al presente trabajo, sí se destaca el uso de datos abiertos referentes a la Policía de la Ciudad de Buenos Aires y la aplicación de técnicas de optimización para abordar un problema de seguridad pública.

El presente trabajo se enfoca entonces precisamente en la adaptación de los conceptos utilizados por modelos preexistentes a los pormenores propios del servicio de seguridad pública. Para ello, la formulación realizada en Feng & Figliozzi (2014) es de gran utilidad y funcionará como punto de apoyo en la construcción de los modelos propuestos, fundamentado en su característica distintiva de incorporar parámetros operativos y de antigüedad vehicular junto con las consideraciones netamente financieras.

3. Formalización del Problema

La presente sección se enfocará en detallar concretamente los elementos centrales que forman parte de los modelos de decisión construidos a lo largo del trabajo y formalizar tanto la notación que identificará a cada uno como las principales dinámicas asociadas con ellos.

En primer lugar, la estructuración del problema implica la definición de **períodos temporales** específicos en los cuales se toman las distintas decisiones. Los períodos a considerar serán mensuales, dado que de esa manera se refleja más fielmente la toma e implementación de las decisiones del organismo, quien define mensualmente las cantidades vehiculares a adquirir, retirar o alquilar. De esta forma, el horizonte de planificación constará de t períodos mensuales. La cantidad de períodos considerados para evaluar los modelos surge de los datos disponibles, que cuentan con información de 21 meses.

Formalmente, entonces, se definirá t como el período mensual correspondiente, de la siguiente manera:

- $t \in T = \{1, 2, \dots, 21\}$.

A su vez, como ya se ha establecido previamente, la flota vehicular policial posee una composición heterogénea, con distintos **tipos de vehículos**. Cada tipo muestra variaciones en los principales parámetros que considerará el modelo, concretamente los relacionados con costos de adquisición y de mantenimiento, y también los relativos a las distancias recorridas, es decir la cantidad de kilómetros que recorren en promedio diariamente. Los tipos vehiculares específicos serán introducidos en la Sección 4 (“Datos”), y serán referenciados en la notación de la siguiente manera:

$$k \in K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$$

Cada tipo vehicular implica distintos costos. Por ejemplo, un móvil tiene un costo operativo distinto al de una motocicleta. Los costos considerados por los modelos son detallados a continuación. En primer lugar, los costos de incorporación refieren al **costo de adquisición** y al **costo de alquiler**. El costo de alquiler se incurre de manera mensual para cada período en el cual un vehículo de tipo k se encuentra alquilado, mientras que el costo de adquisición se incurre una única vez.

En segundo lugar, se consideran el **costo de operatividad** y el **costo de mantenimiento**. Los costos de operatividad se incurren mensualmente sobre todos los vehículos que se encuentran en estado operativo, es decir, en servicio activo, en oposición al estado no operativo, en el cual el vehículo se encuentra aún en la flota automotor pero en estado inactivo, sin tareas asignadas. Indistintamente del estado de la unidad (operativo o no operativo), se incurre mensualmente en un costo fijo de mantenimiento, asociado con arreglos preventivos que son indispensables para su futuro y presente funcionamiento.

Finalmente, se incorpora el **costo de almacenamiento**. Representa la penalidad pagada por exceder la capacidad de almacenamiento de la totalidad de la fuerza policial. En síntesis, se cuenta con distintos sectores para resguardar vehículos en cada una de las dependencias, adicionalmente a la existencia de un centro vehicular unificado con una mayor capacidad. En caso de exceder esa capacidad, se deberá incurrir en un costo por unidad excedida, que corresponde al valor promedio abonado por organismos gubernamentales por espacio de almacenamiento para vehículos.

Los costos detallados serán referenciados de la siguiente manera:

- CA_k : *costo unitario (u\$d) de adquisición de un vehículo de tipo k*
- CQ_k : *costo unitario (u\$d) de alquilar un vehículo de tipo k .*

- CO_k : costo unitario (u\$d) de operatividad de un vehículo de tipo k .
- CF_k : costo fijo (u\$d) de mantenimiento de vehículos en stock, de tipo k .
- CM : penalidad pagada por el almacenamiento de vehículos que excedan la capacidad (u\$d).

Considerando los costos detallados, las decisiones puntuales a tomar consisten en definir cuatro valores para cada tipo de vehículo en cada período temporal. En primer lugar, se deberá decidir la **cantidad de vehículos a adquirir**. La decisión de adquirir un vehículo y la efectiva recepción y pago del mismo no necesariamente son temporalmente efectuadas en el mismo período, esto se debe a los tiempos administrativos asociados con los procedimientos de Licitación Pública necesarios para realizar cualquier tipo de incorporación vehicular. En el contexto de nuestro problema, este proceso usualmente toma 3 meses, que se traduce en 3 períodos de tiempo de demora en la recepción. Es por ese motivo que la variable será definida como la cantidad de vehículos a adquirir en el período t , pero a ser abonados y recibidos en $t+3$, según el promedio de demora según los datos históricos existentes.

En segundo lugar, se deberá decidir la **cantidad de vehículos a alquilar**. En tercer lugar, la cantidad de vehículos que se encontrarán en **estado operativo**. Sólo se considerará en esta variable a los vehículos propios de la fuerza, es decir, no alquilados. La motivación surge dado que todo alquiler implica un uso inmediato y operativo del vehículo. Como consecuencia de estas decisiones, podría existir una cantidad de vehículos que **excedan la capacidad de almacenamiento**. En otras palabras, los vehículos por los cuales se deberá abonar un costo de almacenamiento adicional.

Respecto a las decisiones tomadas sobre los egresos vehiculares, se definirá la variable de **bajas vehiculares voluntarias**, que representa concretamente a los vehículos que son retirados de la flota automotor de manera planificada. Los retiros o bajas son definidos para los vehículos propios de la fuerza (no alquilados), son permanentes e irrevocables y representan una eliminación del vehículo del stock del organismo. El destino de la unidad retirada dependerá de su estado de mantenimiento y no es relevante para el problema analizado por este trabajo.

Las variables de decisión serán referenciadas de la siguiente manera:

- XQ_{kt} : cantidad de vehículos a alquilar del tipo k en el período t .
- XA_{kt} : cantidad de vehículos a adquirir del tipo k en el período t .
- XO_{kt} : cantidad de vehículos operativos propios (no alquilados) del tipo k en el período t .
- XM_t : cantidad de unidades que exceden la capacidad de almacenamiento en el período t (expresado en espacios vehiculares excedidos).

- XBV_{kt} : bajas vehiculares permanentes planificadas, de vehículos de tipo k , en el período t .

El costo total asociado con la administración de la flota vehicular surge de la combinación de las variables de decisión y los costos. A su vez, se considerarán una serie de parámetros y variables que en la práctica restringen y moldean a las distintas decisiones tomadas. Se detallan a continuación.

En primer lugar, en línea con lo establecido a la hora de introducir el costo de exceso de almacenamiento, existe una **capacidad total de almacenamiento** de vehículos, representada como el máximo de unidades posibles de almacenar por la fuerza en espacios propios, expresado en **espacios de estacionamiento** disponible, incorporando el espacio ocupado por distintos tipos vehiculares. Por ejemplo, un automóvil ocupa un espacio de estacionamiento, mientras que una motocicleta ocupa la mitad de ese espacio, y por ende una cochera puede almacenar un automóvil o dos motocicletas.

- c : capacidad total de almacenamiento de vehículos.
- e_k : espacio físico ocupado por vehículos de tipo k .

Seguidamente, se cuenta con un **stock existente** al momento de iniciar el análisis, que representa el punto de partida de los distintos modelos a construir. El stock existente considera a los vehículos propiedad del organismo, es decir, no alquilados.

- h_k : stock inicial existente de vehículos de tipo k .

En el ámbito operativo, se incorpora la consideración de distintos parámetros que atañen directamente a la prestación del servicio policial. Concretamente, existe una **cantidad de kilómetros** recorridos por hora por vehículo y una **cantidad de horas** en las cuales el vehículo se encuentra operativo (i.e. circulando). Además, existe una determinada **probabilidad de baja involuntaria** o accidental asociada con los vehículos operativos. También se define un **índice de operatividad** calculado como la porción del día en la cual el vehículo se encuentra operativo. Por último, se define de manera auxiliar la **cantidad de días** dentro del período mensual t .

- γ_k : probabilidad de baja de vehículos operativos de tipo k .
- op_k : operatividad como porción del día en el cual el vehículo de tipo k se encuentra operativo.
- oph_k : cantidad de horas operativas en el día, para vehículos de tipo k .
- kmh_k : cantidad de kilómetros recorridos por hora, para vehículos de tipo k .
- $dias_t$: cantidad de días en el período mensual t .

Luego, se incorpora también un parámetro central que es el del mínimo de vehículos requerido por la operación policial. Es entendido como un **mínimo operativo** a respetar a los fines de proveer el servicio de seguridad pública.

- $\min_{k,t}$: *mínimo de vehículos del tipo k requeridos para la operación policial, en el período t .*

Finalmente, existe una limitación de **personal total disponible** para la conducción de vehículos policiales, que representa un límite superior a la cantidad de vehículos operativos. Esa cantidad de personal se asume constante, tomando en consideración que las fluctuaciones de personal policial no resultan lo suficientemente significativas como para alterar las decisiones de política vehicular y exceden el alcance del presente trabajo. Se tiene en consideración que cada vehículo **requiere de una cantidad determinada de efectivos** para su operación.

- p_k : *requisito de personal requerido por vehículo de tipo k , en cada período.*
(expresado en cantidad de personal).
- $PTotal$: *cantidad total de personal afectado a la operación de móviles.*

4. Datos

Los datos tomados como punto de partida fueron provistos por el organismo responsable de la gestión y operación de la flota vehicular de la Policía de la Ciudad de Buenos Aires. Constan puntualmente de dos bases de datos: la base principal con información asociada a cada vehículo, y otra con información histórica de costos de mantenimiento y reparaciones.

4.1. Stock de vehículos

La base principal cuenta con 4.544 vehículos y registra los siguientes campos:

- Estado: refleja en qué situación se encuentra el vehículo. Posee 4 valores posibles:
 - a) En servicio: vehículo operativo.
 - b) Alquilado: vehículo alquilado, en estado operativo.
 - c) Baja: vehículo que fue retirado voluntariamente o sufrió un desperfecto permanente que implicó su baja.
 - d) Fuera de Servicio: vehículo que aún forma parte de la flota vehicular, pero temporalmente no se encuentra en estado operativo.
- Fecha de alta: fecha en la que el vehículo se incorporó a la flota de la fuerza.
- Fecha de baja: únicamente para vehículos en estado “baja”. Informa la fecha en la cual se efectuó el cambio de estado.
- Tipo de vehículo: indica a qué grupo de vehículos pertenece. Si bien originalmente cuenta con 17 valores únicos, se redujo la cantidad a considerar a 6 tipos, que representan un

porcentaje cercano al total de la flota disponible. Estos son: móvil, moto, camioneta, cuatriciclo, bicicleta y flota pesada.

- Marca, modelo.
- Dependencia asignada: la dependencia policial a la cual se encuentra asignado el vehículo.

Los datos provistos no cuentan con información de los dominios de cada vehículo, debido a motivos de sensibilidad relativos a cuestiones de seguridad pública. De todas formas, a los fines de facilitar la vinculación con la información disponible sobre reparaciones, se simuló aleatoriamente los números de identificación de los vehículos, y fueron luego asociados en la base disponible de reparaciones, respetando el tipo vehicular en ambos casos. De esta manera, fue posible obtener el costo mensual de mantenimiento para cada tipo vehicular.

Esto implica que, por ejemplo, para el listado de la totalidad de motocicletas, en primer lugar, se asoció cada una a un número aleatorio que funcionará como número único de identificación. En segundo lugar, cada una de las reparaciones informadas para las motocicletas, se vinculó aleatoriamente a uno de los dominios disponibles para ese tipo vehicular, permitiendo que un mismo dominio posea asociadas múltiples reparaciones.

Si bien no se cuenta con información del kilometraje que posee cada vehículo, se estimó la información en base a parámetros generales operativos con los que cuenta el organismo. Concretamente, el organismo define la cantidad aproximada que debería recorrer cada vehículo según su tipo, definición que realiza en conjunto con áreas ministeriales de distintos niveles jerárquicos. A su vez, de manera similar, el organismo cuenta con parámetros generales y aproximados de operatividad según tipo de vehículo, entendida como cantidad de horas diarias en las cuales el vehículo se encuentra en servicio activo.

Vinculando ambas estimaciones, y agregando un grado de aleatoriedad que refleje las características variables y dinámicas de toda provisión de un servicio constante de seguridad pública, se calculó la cantidad de kilómetros mensuales que recorrió el vehículo, y también la cantidad total en toda su vigencia en la fuerza. Si bien no se cuenta con datos precisos sobre la dispersión de las distancias recorridas por los vehículos, el organismo estima que la mayoría de los vehículos recorre una determinada distancia que se encuentra entre un valor máximo y mínimo. En base a esa estimación se generó un número aleatorio entre el valor máximo y mínimo para cada vehículo, obteniendo de esa manera el valor de la distancia recorrida por vehículo por período.

Como toda estimación y simulación de datos, busca suplir las ausencias en la información provista y no pretende emular totalmente la realidad, lo cual será un factor que deberá ser considerado a la hora de analizar e interpretar los resultados.

4.2. Reparaciones

La segunda base de datos cuenta con un total de 53.400 entradas, que registran los siguientes campos:

- Tipo de reparación: indica a qué rubro corresponde específicamente la intervención. Cuenta con 17 categorías que a su vez fueron agrupadas en 4 tipos principales a fines de facilitar el análisis, las mismas son: mantenimiento, operatividad, alquiler y otros. Si bien los alquileres no se encuentran dentro del ámbito de las reparaciones, el organismo los registra en una misma base consolidada junto con ellas.
- Tipo de vehículo: indica el tipo de vehículo sobre el que se realizó la reparación.
- Monto total de la reparación: indica el monto asociado en pesos argentinos. A los fines de asegurar una trazabilidad coherente en el tiempo, se convirtieron los valores a dólares estadounidenses, al tipo de cambio vigente al momento de efectuar el gasto.
- Fecha de reparación: indica la fecha en la que fue incurrido el gasto. Abarca todos los gastos efectuados entre enero de 2021 y agosto de 2022.

4.3. Parámetros adicionales

Para la implementación del modelo central de este trabajo, se incorporaron una serie de parámetros adicionales que cabe destacar y detallar a los fines de asegurar la transparencia en toda la información utilizada.

Costos de adquisición

Toda adquisición de vehículos por parte de cualquier organismo público del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires debe realizarse de acuerdo a lo establecido en la Ley N°2095. Esto implica que debe realizarse de manera transparente y pública, motivo por el cual toda adquisición se encuentra registrada en el portal público “Buenos Aires Compras” (o BAC, por sus siglas), donde constan todos los datos referentes a la adquisición (precios unitarios, oferentes, plazos, condiciones contractuales particulares, entre muchos otros).

En esa línea, se recopilaron todos los procesos de compra asociados a la adquisición de vehículos de cada uno de los tipos contenidos en la base vehicular de la Policía de la Ciudad.

En todos los casos en lo que existía al menos una compra realizada por el Ministerio de Justicia y Seguridad, se registró el monto unitario y total abonado, la cantidad de unidades adquiridas y el tipo de vehículo, junto con la fecha de inicio del procedimiento y la fecha de finalización, lo que permitirá

incorporar la demora existente entre el momento de decisión de la adquisición y la efectiva entrega y pago de las unidades.

Adicionalmente, vale aclarar que la decisión de utilizar registros de compras realizadas previamente por el Ministerio de Justicia y Seguridad o, en su defecto, por otros organismos públicos de la Ciudad, en lugar de tomar el valor de mercado vigente a la fecha, se encuentra asociado principalmente a que las condiciones particulares que requieren los organismos públicos para contratar impactan sobre los precios finales. Estas condiciones refieren, entre otras, a la existencia de ventanas temporales considerables entre emisión de una cotización y el pago de las unidades, y la demanda de requisitos formales-legales sobre los oferentes que implican costos administrativos y limitan la oferta potencial.

Capacidad y costos de almacenamiento

Las capacidades de almacenamiento para vehículos fueron informadas por el organismo en base a los espacios actuales con los que cuentan las dependencias policiales, considerando también el espacio disponible en el Centro Vehicular, espacio gestionado por el organismo y que tiene como finalidad funcionar como espacio de almacenamiento y de diversas actividades de control de los vehículos de la flota.

Los costos de almacenamiento adicional, similarmente, se obtuvieron de valores abonados por organismos públicos del Gobierno de la Ciudad para el rubro de almacenamiento temporal de vehículos. También fueron convertidos a valores de moneda estadounidense para estabilización entre períodos.

Mínimos operativos

El parámetro del mínimo operativo de vehículos que la fuerza policial requiere para proveer el servicio de seguridad pública es determinante para las decisiones a tomar respecto a la flota vehicular. Funcionando como un mínimo indispensable que debe ser cumplido obligatoriamente para la seguridad del territorio, resulta un valor clave para el desempeño del organismo y, como consecuencia, para la construcción del presente trabajo también. Habiendo establecido esto, los datos provistos no cuentan con una clara identificación de los mínimos operativos, gracias a que en la práctica este parámetro no se encuentra formalizado o medido consistentemente. Asociado con ello, el rol de las dependencias policiales resulta extremadamente crítico para determinar ese valor de unidades mínimas operativas, con su correspondiente variabilidad y fluctuación.

A los fines de abordar ese desafío dentro del presente trabajo, se buscó obtener un valor razonable a ser utilizado como mínimo de vehículos operativos. Para ello, se tomó como mínimo la mínima cantidad de unidades operativas registradas para cualquier período mensual, por cada tipo vehicular. De esa manera, se puede afirmar que, según los datos provistos, el servicio policial nunca ha

contado con una cantidad menor de vehículos, obteniendo así una aproximación segura a ese valor. Ello no desestima que en la práctica el servicio policial podría funcionar con menos unidades, o que por distintos factores este valor fluctúa en distintos períodos, situación que se contemplará en próximas secciones, y es por eso que se trata de una aproximación al valor real para construir el modelo teórico que se propone.

4.4. Exploración de datos: análisis descriptivo

La información provista permite extraer distintas características clave de la flota vehicular en cuestión. Uno de los primeros datos centrales a indagar es el de la distribución de vehículos según el tipo vehicular, lo que permitirá comprender cuál es el balance existente entre los distintos vehículos.

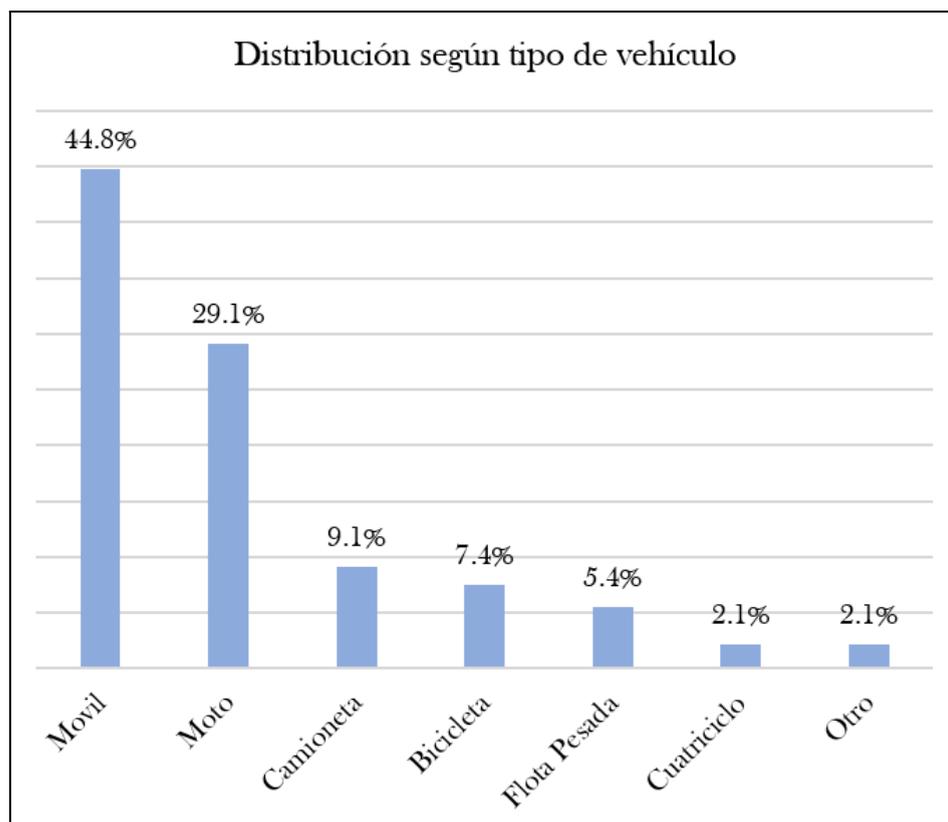


Figura N°3: distribución de vehículos en estado operativo, según el tipo de vehículo correspondiente. Porcentaje sobre total de vehículos operativos, en agosto de 2022 (último período disponible).

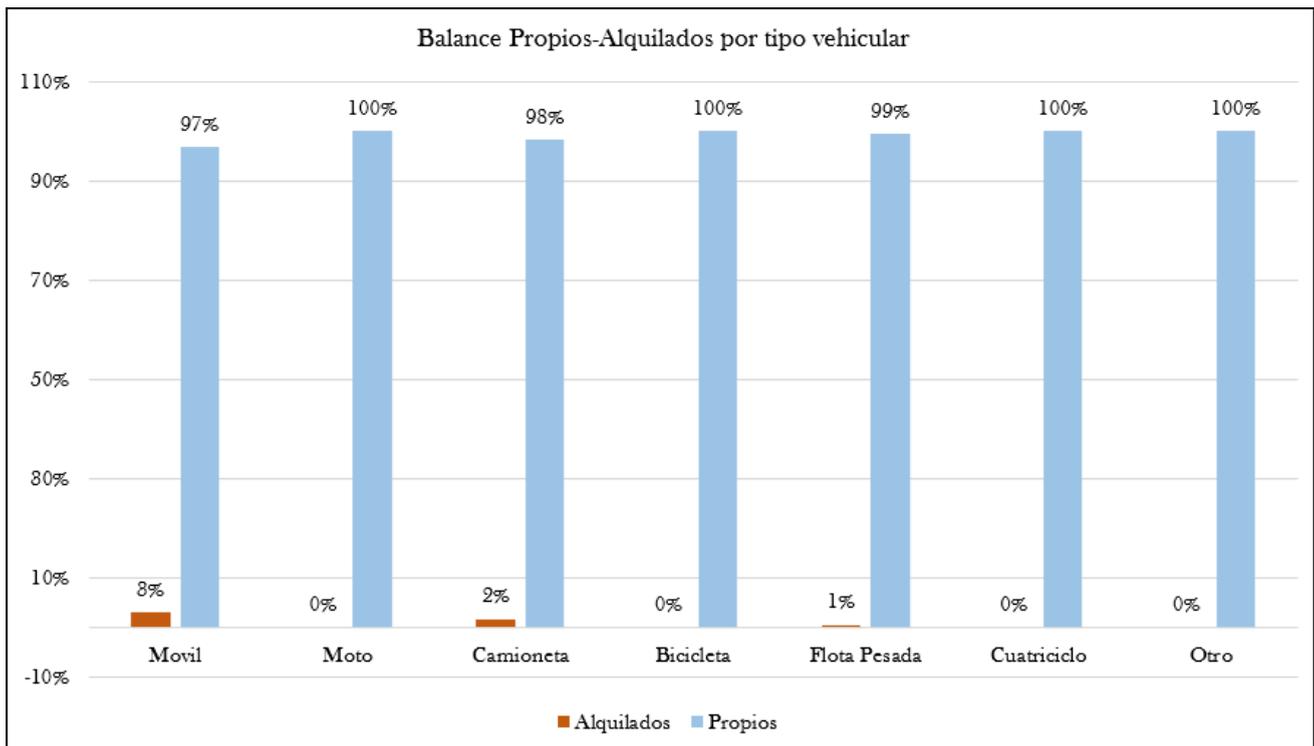


Figura N°4: balance entre vehículos propios y alquilados, por tipo vehicular, en agosto de 2022 (último período disponible).

Tal como puede observarse en la Figura N°3, el parque vehicular en estado operativo se encuentra principalmente compuesto por móviles y motocicletas, representando más de un 70% de la totalidad de los vehículos. Complementariamente, la Figura N°4 muestra el balance entre vehículos propios y alquilados, reflejando un bajo nivel de vehículos alquilados por sobre el total de la flota, señalando posiblemente cierto criterio de política de flota restrictivo de su uso o tal vez una inconveniencia financiera de priorizar alquileres por sobre adquisiciones.

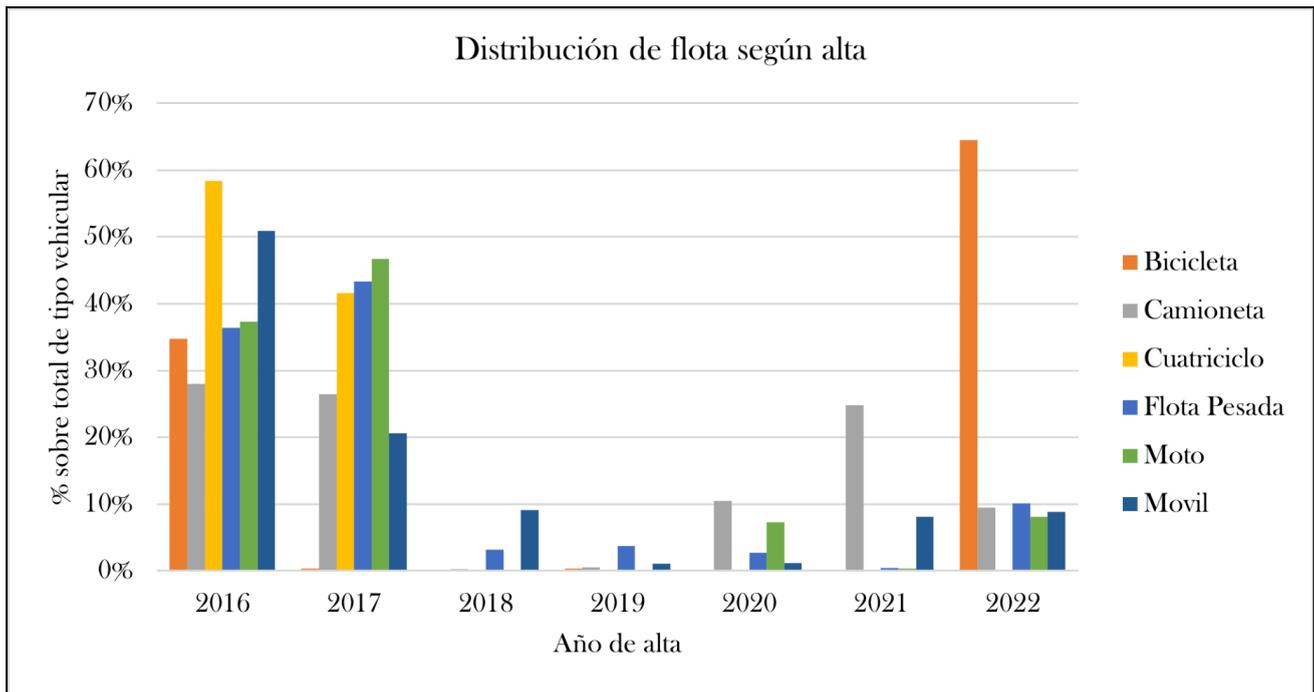


Figura N°5: distribución de vehículos según la fecha de alta, en el último período disponible. Los porcentajes están expresados sobre el total de unidades del tipo vehicular. Por ejemplo, el 65% de todas las bicicletas en stock fueron dadas de alta en el año 2022.

Al considerar la fecha en la que se generó el alta del vehículo, su incorporación a la flota vehicular de la Policía de la Ciudad se ve una clara presencia mayoritaria de vehículos dados de alta durante el año 2016 y 2017, como se ilustra en la Figura N°5. En este caso, la información contextual sobre la fuerza toma relevancia central. Al haber sido creada en julio del año 2016, a raíz de la fusión de la Policía Metropolitana y la Policía Federal en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires¹, la flota originaria fue incorporada con fecha de alta de esa fecha, motivo por el cual los datos no permiten identificar la antigüedad de los vehículos adquiridos previamente a dicho traspaso.

De todas formas, los datos sí permiten reflejar qué vehículos poseen un mayor componente heredado, como es el caso de los móviles, en los cuales el porcentaje de vehículos heredados es mayor al de los adquiridos con posterioridad. La Figura N°6 contribuye en la visualización del balance entre la flota adquirida y heredada, según el tipo de vehículo. Se considera heredado todo vehículo con fecha de alta durante el año 2016.

¹En la práctica, el proceso de creación de la Policía de la Ciudad consistió en múltiples etapas de traspaso progresivo de bienes, funciones y personal. En enero de 2016, el Presidente de la Nación firmó junto a la Ciudad de Buenos Aires un convenio de transferencia, cuya implementación fue realizada progresivamente durante ese año. La Policía de la Ciudad fue creada formalmente en el año 2017, con la aprobación de la Ley N°5688. (<https://www.caserosada.gob.ar/slider-principal/35186-el-presidente-firmo-el-convenio-de-traspaso-de-parte-d-e-la-policia-federal-a-la-ciudad-de-buenos-aires>)

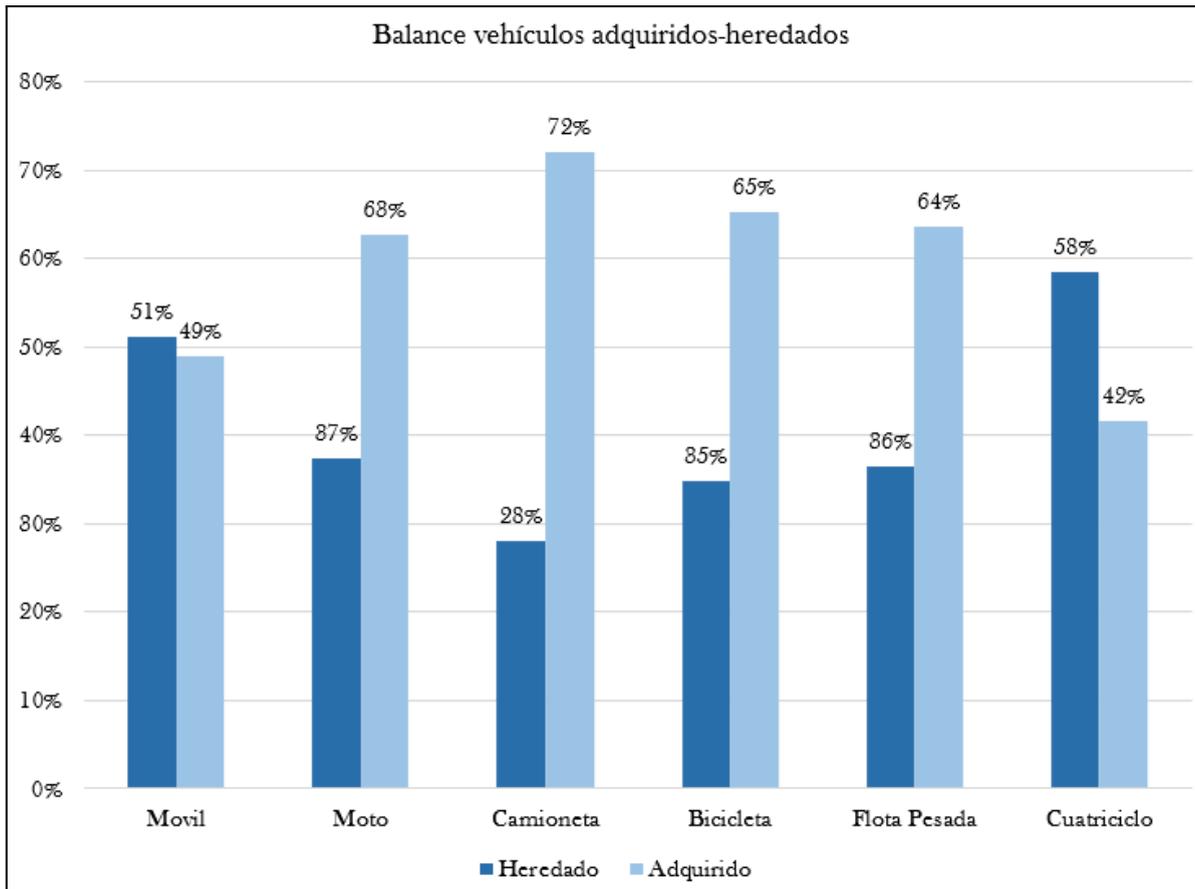


Figura N°6: balance entre cantidad de vehículos adquiridos y heredados de la fuerza anterior, según tipo de vehículo.

Este balance permite visualizar en qué tipos de vehículo se han centrado las áreas decisorias para impulsar los recambios. Se ilustra cómo aún se utiliza una cantidad mayor de móviles heredados de fuerzas anteriores que de vehículos nuevos, relación marcadamente distinta en las motocicletas, camionetas, bicicletas y flota pesada, donde la cantidad de unidades adquiridas representa más de un 60% del total de unidades. Esa decisión podría encontrarse fundamentada en múltiples factores no excluyentes. Podrían existir distintos niveles de deterioro de los vehículos heredados, llevando al organismo decisor a priorizar su reemplazo. También podrían darse niveles de uso superiores a los permitidos por los parámetros establecidos ministerialmente, por ejemplo, móviles con kilometrajes sustancialmente superiores a los máximos permitidos, lo que llevaría a obligar a reemplazarlos. También podría deberse a altos costos de mantenimiento, o a prioridades estratégicas distintas a las consideradas por fuerzas anteriores, entre otros posibles factores.

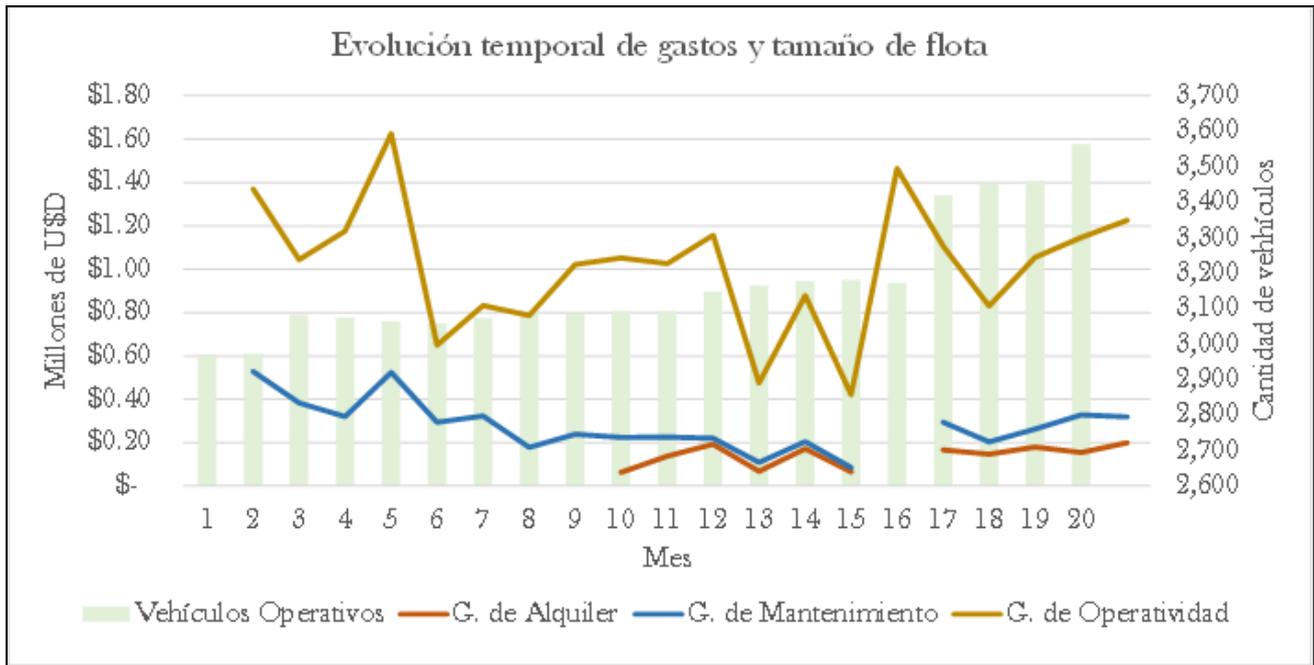


Figura N°7: evolución temporal de gastos, según tipo de gasto (mes 1 = enero de 2021).

Considerando los datos disponibles respecto a gastos asociados con el funcionamiento de la flota vehicular, podrá visualizarse en la Figura N°7 tanto la variación en el tiempo de su volumen, como su peso relativo en relación a los tipos de gasto. Como ya ha sido establecido, los tipos de gasto se han tipificado los siguientes: a) gastos de alquiler, asociados con la contratación de unidades temporales; b) gastos de mantenimiento, asociados con los servicios de mantenimiento preventivo realizados sobre los vehículos, sin importar su nivel o condición de operatividad; y c) los gastos de operatividad, asociados con mantenimientos correctivos y otras reparaciones vinculadas con el uso de la unidad.

Como resulta de los datos provistos, existe un nivel comparativamente estable de gastos de mantenimiento y un nivel esporádicamente presente de gastos de alquiler, posiblemente asociado con distintas demandas temporales que fueron cubiertas con vehículos alquilados. De hecho, puede observarse que en el período 16 no se registra ningún gasto de alquiler, situación posible en caso de cubrirse la totalidad de la demanda operativa con vehículos propios.

A su vez, se detecta un amplio rango de gastos asociados con la operatividad de los vehículos, como se ve ilustrado en la Figura N°8, que grafica la evolución de los gastos operativos por vehículo en promedio para cada mes del año. La amplia variación entre valores podría deberse a factores estacionales o dinámicas propias del contexto de la seguridad pública en la Ciudad de Buenos Aires.

A su vez, no es irrelevante el momento histórico en el que se encuadran los datos, en el desenvolvimiento de la pandemia de COVID-19. Este factor podría implicar mayores niveles de servicio

y patrullaje necesarios, con un aumento consecuente en los gastos operativos, concentrando en períodos puntuales. También podría impactar por una fluctuación en la prestación de servicios de mantenimiento por parte de las firmas proveedoras, con impacto en el precio. De todas formas, la serie temporal no es lo suficientemente larga como para comparar la evolución con distintos períodos, si bien resulta suficiente para evaluar su comportamiento general en los meses analizados.

Lo observado refleja una de las dinámicas centrales de la operación de la flota vehicular de la fuerza, pero también de cualquier servicio continuo y dinámico de seguridad pública, que es principalmente la impredecibilidad de los eventos. Es decir, a la incertidumbre regular asociada con la operación de cualquier maquinaria vehicular y sus posibles desperfectos mecánicos o de otros tipos, se agrega el componente operativo de las intervenciones policiales diarias y de los siniestros sufridos como consecuencia. Ello no implica que esa incertidumbre sea inmanejable o totalmente aleatoria, pero sí que posiblemente impacte sobre el nivel de gasto incurrido por la flota vehicular, con períodos de mayor intensidad en el gasto y otros con niveles menores, con la influencia subyacente de las tendencias en las prácticas criminales.

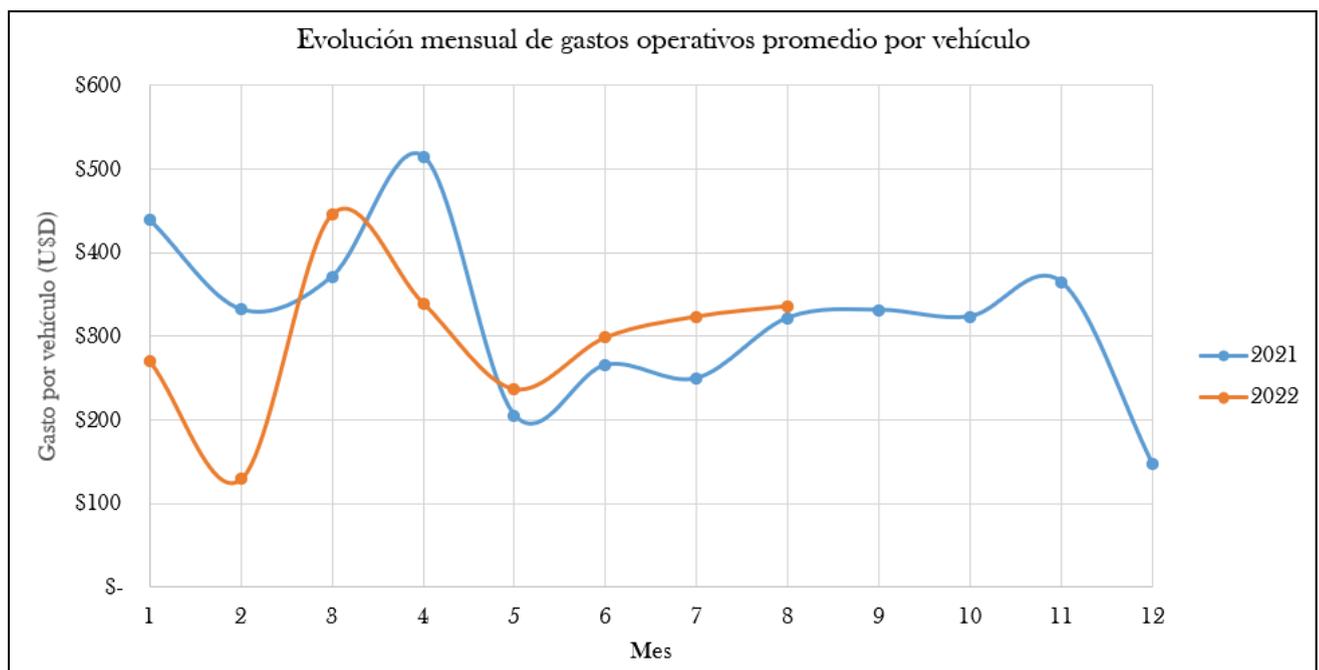


Figura N°8: comparación anual de gastos operativos en promedio por vehículo. Comparación realizada mes a mes para los dos años disponibles.

Por último, la Figura N°9 introduce preliminarmente las diferentes capacidades de cada tipo de vehículo, entendidas como la cantidad de kilómetros recorridos por hora en promedio. Como se comentó previamente, los datos provistos no cuentan con información fehaciente del kilometraje de

cada unidad, motivo por el cual debieron realizarse distintas estimaciones para alcanzar las distancias aproximadas recorridas por cada tipo vehicular.

Concretamente, tomando como punto de partida valores máximos y mínimos indicados por la entidad, se asignó aleatoriamente un valor a cada uno de los vehículos, representando la distancia recorrida en promedio por hora. Téngase en cuenta que los valores refieren a una distancia recorrida y no necesariamente a la velocidad específica. Es por ello que, por ejemplo, se estima que las motocicletas recorren un total de 47.57 km. en promedio en el lapso de una hora. Esto no implica que circulen a esa velocidad, si no que en ese período temporal recorren esa distancia, incorporando las detenciones, planificadas o no, que surgen de los pormenores propios del servicio (intervenciones policiales en la vía pública, asistencia en operativos en proceso, entre otros).

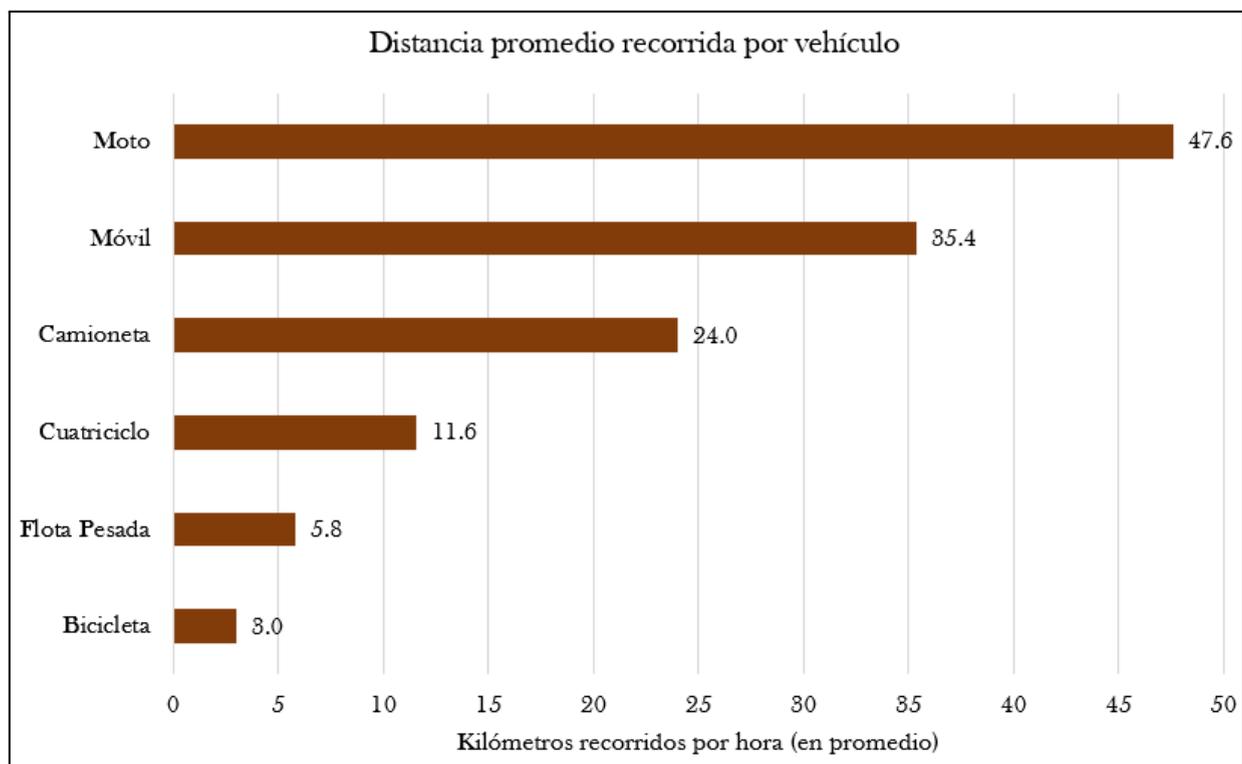


Figura N°9: comparación entre distancia recorrida en promedio, por hora, para los distintos tipos de vehículos.

5. Modelos matemáticos

5.1. Metodología

Como fuera determinado preliminarmente, el presente trabajo aborda distintas preguntas relacionadas con el problema planteado en la Sección 3, utilizando modelos de Programación Lineal

Entera a fin de proveer una herramienta que permita analizar decisiones previas, así como también asistir en decisiones futuras.

Las variables de decisión serán la cantidad de vehículos a adquirir, alquilar, mantener operativos y retirar, para cada mes en el horizonte de planeamiento. Se aplicará el análisis inicialmente para un lapso de 20 meses, que coincide con el plazo para el cual se poseen datos históricos de gastos y estado de flota. Se tomará como punto de partida inicial el primer período mensual para el cual se poseen datos, para construir la propuesta.

De esta manera, las Figuras N°10 y N°11 sintetizan los parámetros tomados como input y el proceso de optimización con sus outputs resultantes. Como restricciones, el modelo deberá asegurarse el cumplimiento de una serie de requisitos, de los cuales los más relevantes son: el cumplimiento de los mínimos operativos, es decir la cantidad mínima de vehículos con la que debe contar la fuerza para ejecutar su servicio de seguridad, la incorporación de la demora asociada con los procesos adquisitorios (distancia temporal entre la decisión de adquirir y la efectiva entrega y pago de las unidades), el cumplimiento del balance preestablecido entre unidades propias y alquiladas, y por último, el ajuste a la cantidad de personal total disponible para la operación de unidades.

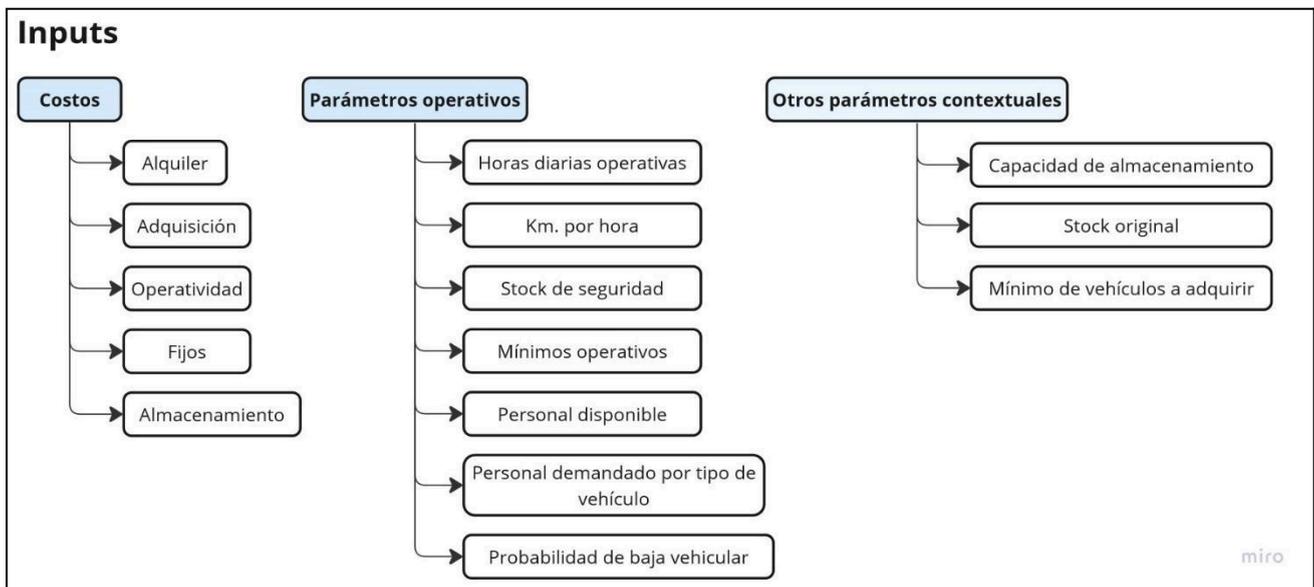


Figura N°10: diagrama que refleja los datos tomados como inputs por el modelo de optimización. Inspirado en Feng & Figliozzi (2014).

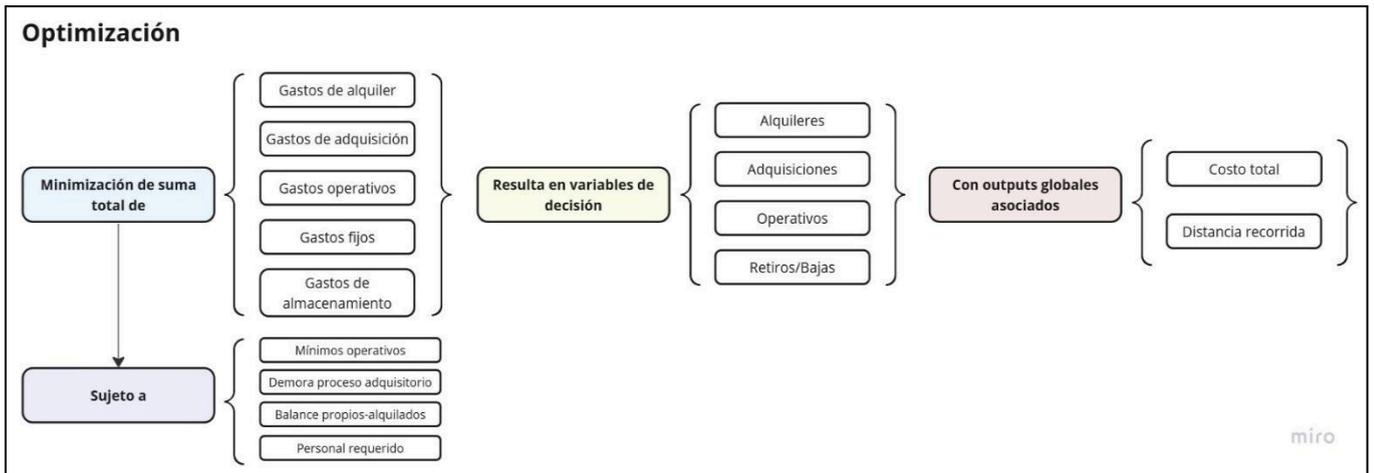


Figura N°11: diagrama que refleja los datos tomados como inputs por el modelo de optimización. Inspirado en Feng & Figliozzi (2014).

El problema es abordado mediante modelos de programación lineal entera de tipo determinístico de reemplazo de flota heterogénea, donde todos los parámetros son conocidos con certeza.

Se construirá en primer lugar un modelo de minimización de los costos totales, y luego se buscará compararlo con un modelo alternativo centrado en la maximización de kilómetros recorridos, buscando analizar el impacto de un cambio en el criterio decisor sobre el desempeño del modelo. La implementación de los modelos se implementará mediante el solver ZIMPL.

5.2 Modelo 1: minimización de costos totales

Como ya fuera establecido previamente, el primer modelo consiste en la minimización de los costos totales asociados con la operación de la flota y su esquema de reemplazos. A continuación, se detallarán las variables e índices utilizados:

Variables de decisión

- XA_{kt} : cantidad de vehículos nuevos a adquirir del tipo k en el período t .
- $XLp_{k,t}$: cantidad de vehículos de tipo k a adquirir mediante proceso de Licitación Pública, en el período t , a ser recibidos y abonados en el período $t + 3$.
- XQ_{kt} : cantidad de vehículos alquilados del tipo k en el período t .
- $XBAlq_{k,t}$: bajas planificadas de alquileres de vehículos de tipo k , para el período t .
- $XAlq_{k,t}$: altas de alquileres nuevos de vehículos de tipo k , a iniciar en el período t .

- XO_{kt} : cantidad de vehículos operativos propios (no alquilados) del tipo k en el período t .
- XM_t : cantidad de unidades que exceden la capacidad de almacenamiento en el período t .
- XS_{kt} : cantidad de vehículos existentes en stock propio de tipo k , en el período t .

Nota: no todos los vehículos en stock se encuentran en estado operativo. En la práctica, es común que existan vehículos de reserva, disponibles para tornarse operativos ante la necesidad del organismo de seguridad pública. Es por ello que existe una diferencia conceptual y práctica entre XS y XO .

- XBI_{kt} : bajas vehiculares imprevistas, de vehículos de tipo k , en el período t .
- XBV_{kt} : bajas vehiculares planificadas, de vehículos de tipo k , en el período t .

Función objetivo:

$$1. \text{Min} \sum_{t \in T} \left(\sum_{k \in K} (CA_k * XA_{k,t} + CQ_k * XQ_{k,t} + CO_k * (XO_{k,t} + XQ_{k,t})) + CF_k * (XS_{k,t} + XQ_{k,t}) \right) + CM * XM_t$$

Restricciones:

- $XA_{k,t+3} = XLP_{k,t} \forall k \in K, t \in \{1, \dots, T - 3\}$
- $XA_{k,t} = 0 \forall k \in K, t \in \{1, 2, 3\}$
- $XO_{k,t} + XQ_{k,t} \geq \min_k \forall k \in K, t \in T \setminus \{1\}$
- $XO_{k,t} \leq XS_{k,t} \forall k \in K, t \in T$
- $XBI_{k,t} = XO_{k,t-1} * \gamma_k \forall k \in K, t \in T$
- $XS_{k,t} = XS_{k,t-1} + XA_{k,t} - (XBI_{k,t} + XBV_{k,t}) \forall k \in K, t \in T \setminus \{1\}$
- $XS_{k,t} = h_k \forall k \in K, t = 0$
- $XQ_{k,t} = XQ_{k,t-1} * (1 - \gamma_k) - XBAq_{k,t} + XAlq_{k,t} \forall k \in K, t \in T \setminus \{1\}$
- $\sum_{k \in K} XQ_{k,t} \leq 0.4 * \sum_{k \in K} XS_{k,t} \forall t \in T$
- $\sum_{k \in K} [(XS_{k,t} + XQ_{k,t}) * e_k] \leq c + XM_t \forall t \in T$
- $\sum_{k \in K} ((XO_{k,t} + XQ_{k,t}) * p_k) \leq PTotal \forall t \in T$
- $XA_{k,t}, XQ_{k,t}, XO_{k,t}, XM_t, XS_{k,t} \geq 0 \forall k \in K, t \in T$

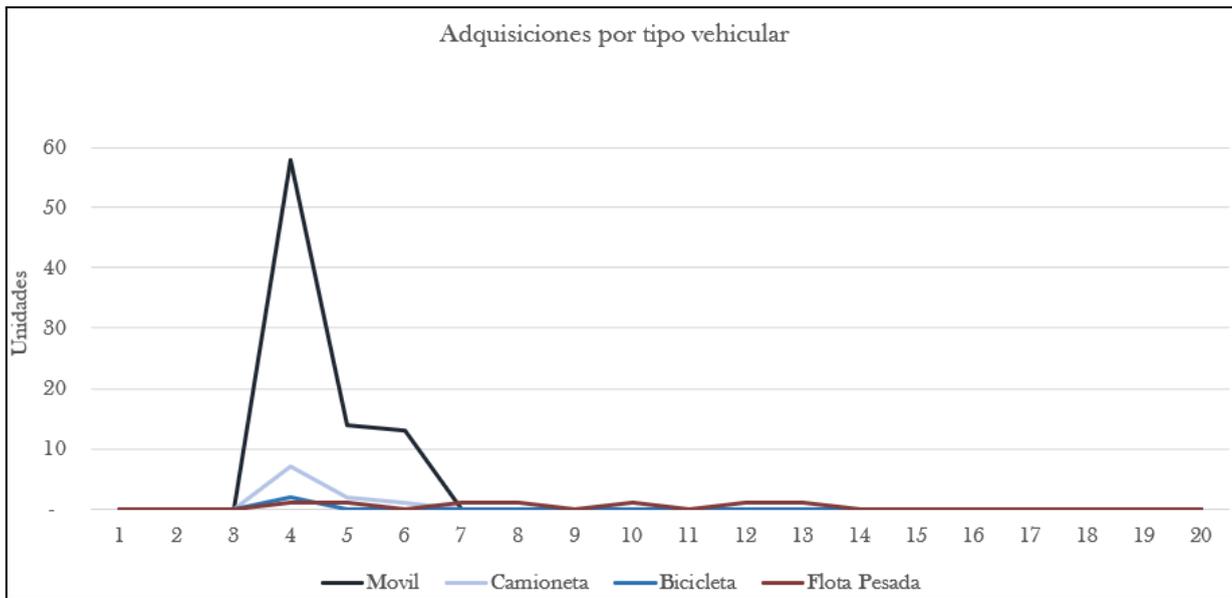
La función objetivo **(1)** minimiza los costos totales asociados con la administración de la flota vehicular, considerando costos de adquisición, alquiler, operatividad, de mantenimiento y de almacenamiento.

Las restricciones **(2)** y **(3)** reflejan la demora asociada con el desarrollo de los procesos licitatorios necesarios para la compra de unidades, separando temporalmente la decisión de adquirir vehículos con la efectiva recepción y pago de los mismos. La restricción **(4)** asegura el cumplimiento de los mínimos operativos, cumplidos por los vehículos en estado operativo y alquilados. Por su parte, **(5)** liga la cantidad de vehículos operativos a la cantidad de vehículos existentes en stock, asegurando que los vehículos operativos sean menores al stock total. La restricción **(6)** define las bajas involuntarias consecuencia de imprevistos asociados con la operatividad del servicio. Las bajas involuntarias se definen en relación a la porción del día en la cual un tipo de vehículo dado se encuentra operativo y se calculan en base a la cantidad de unidades operativas del período anterior. Es decir, al inicio de cada período se resta el total de vehículos dados de baja involuntariamente. Dado que esta restricción puede resultar en una cantidad de vehículos dados de baja no entera, se implementó una variable auxiliar para asegurar que el número final es entero.

La restricción **(7)** liga las variables que componen el stock de vehículos existentes. Incluyendo las unidades vigentes del período anterior, descontando las bajas y agregando los vehículos adquiridos y **(8)** establece el stock inicial de unidades, punto de partida del modelo. La restricción **(9)** define la cantidad de móviles a ser alquilados en un período dado, actualizando la cantidad según la cantidad alquilada en el período anterior, descontando los alquileres discontinuados y las bajas involuntarias. Dado que esta restricción puede resultar en una cantidad de vehículos alquilados no entera, se implementó una variable auxiliar para asegurar que el número final es entero. A su vez, **(10)** limita la proporción alquilada de la flota sobre la propia, asegurando que las unidades alquiladas nunca superen al 40% de las unidades propias. Esta limitación surge centralmente de una decisión de política vehicular que evita una dependencia excesiva hacia unidades que no son propias del organismo sino pertenecientes a un proveedor externo. La restricción **(11)** define la cantidad de vehículos que exceden el nivel existente de almacenamiento y, en consecuencia, por los cuales se incurre en costos adicionales de almacenamiento. Finalmente, la restricción **(12)** asegura que la cantidad de móviles operativos no demanden una mayor cantidad de personal en servicio que la existente actualmente y **(13)** establece la no negatividad de las variables de decisión.

Análisis de resultados: Modelo 1

A continuación, para analizar los resultados arrojados por el modelo, se desagregan las distintas decisiones resultantes del mismo y su evolución en cada uno de los períodos mensuales. En primer lugar, como muestra la Figura N°12, las adquisiciones se ven concentradas en los primeros períodos (4, 5 y 6). Téngase presente que la decisión de adquirir se ve demorada debido a las restricciones (2) y (3), que reflejan el plazo de 3 meses que separa a la toma de la decisión de la efectiva recepción y pago de los vehículos. Entonces, básicamente el modelo realiza unas primeras adquisiciones sustanciales, principalmente de móviles, y luego evita adquirir nuevas unidades, más que mínimas cantidades



Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Móvil	0	0	0	58	14	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camioneta	0	0	0	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicicleta	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flota Pesada	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

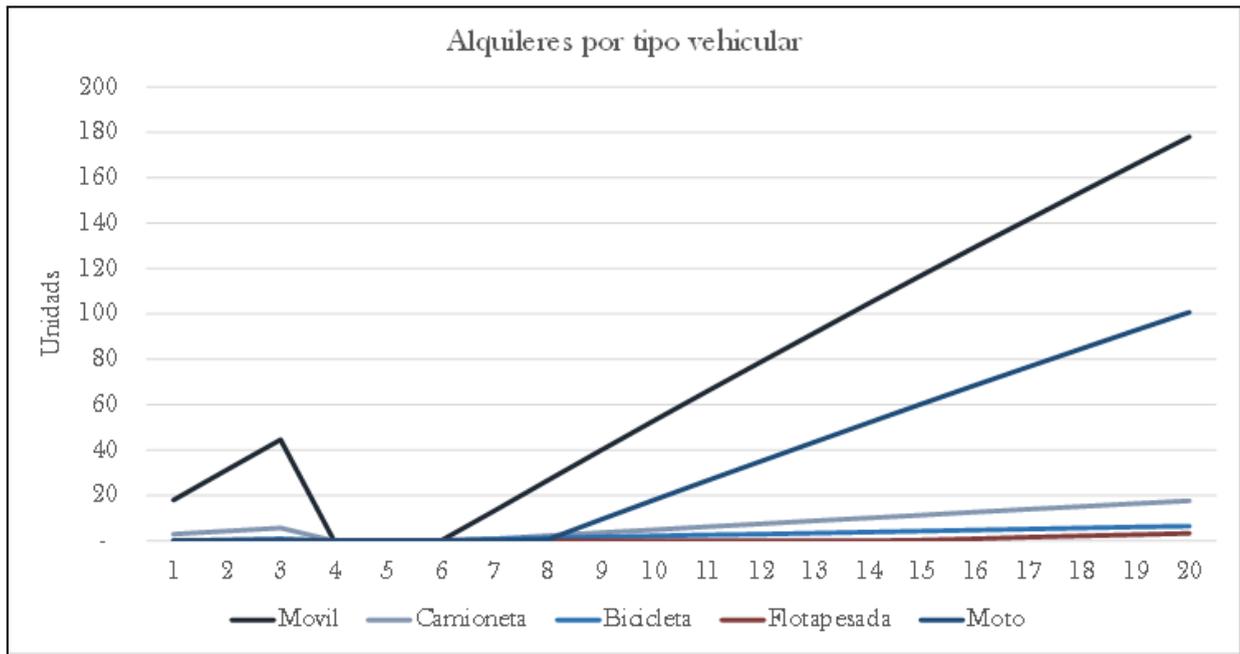
aisladas.

La Figura N°13 muestra la evolución de las unidades alquiladas, señalando una dinámica diferente a la vista con las adquisiciones. Como puede verse, el modelo alquila ciertas unidades en los primeros períodos, y luego a partir del período 6 procede a incrementar progresivamente la cantidad

de alquileres, para cada uno de los tipos vehiculares. Evidentemente, el balance económico que realiza al considerar en conjunto los costos de cada alternativa, dirige al modelo a concentrar los recursos en aumentar la cantidad de vehículos alquilados mientras se acercan los períodos finales.

Figura N°12: evolución de las adquisiciones realizadas por el modelo 1, por tipo vehicular.

De todas formas, el análisis resulta incompleto al considerar únicamente los valores totales adquiridos y alquilados por período, ya que no permite ver la evolución del balance de vehículos operativos propios y alquilados respecto a los mínimos operativos. Considerar los mínimos operativos hará posible proveer de contexto a las decisiones del modelo y señalar cómo se logra el cumplimiento de una de las restricciones principales que limitan a la solución, asegurando la provisión del servicio de seguridad pública. Para ese fin, la Figura N°14 permite visualizar cómo evoluciona la composición de la flota operativa respecto al mínimo operativo.



Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Móvil	18	31	45	0	0	0	13	27	40	53	66	79	92	105	117	129	142	154	166	178
Camioneta	3	4	6	0	0	0	1	2	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16	18
Biciqueta	0	0	1	0	0	0	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7
Flota Pesada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	3
Moto	0	0	0	0	0	0	0	1	9	18	27	35	44	52	60	69	77	85	93	101

Figura N°13: evolución de los alquileres realizados según el modelo 1, por tipo vehicular.

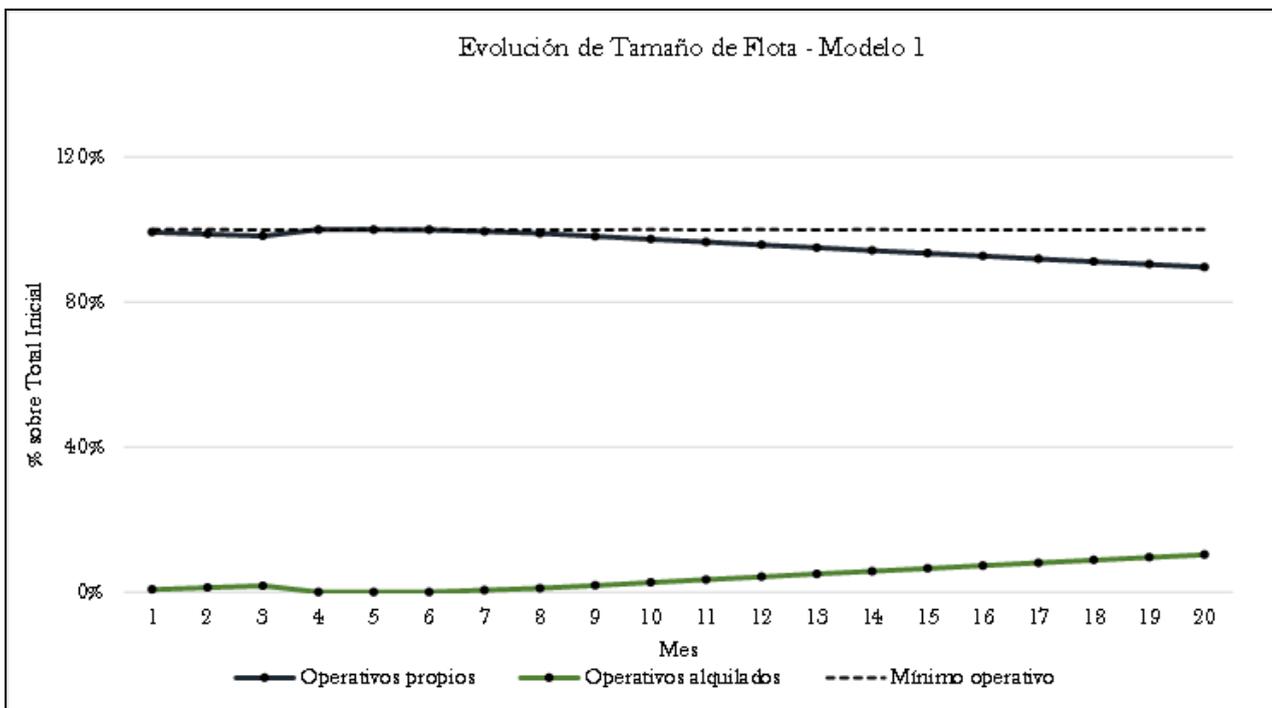
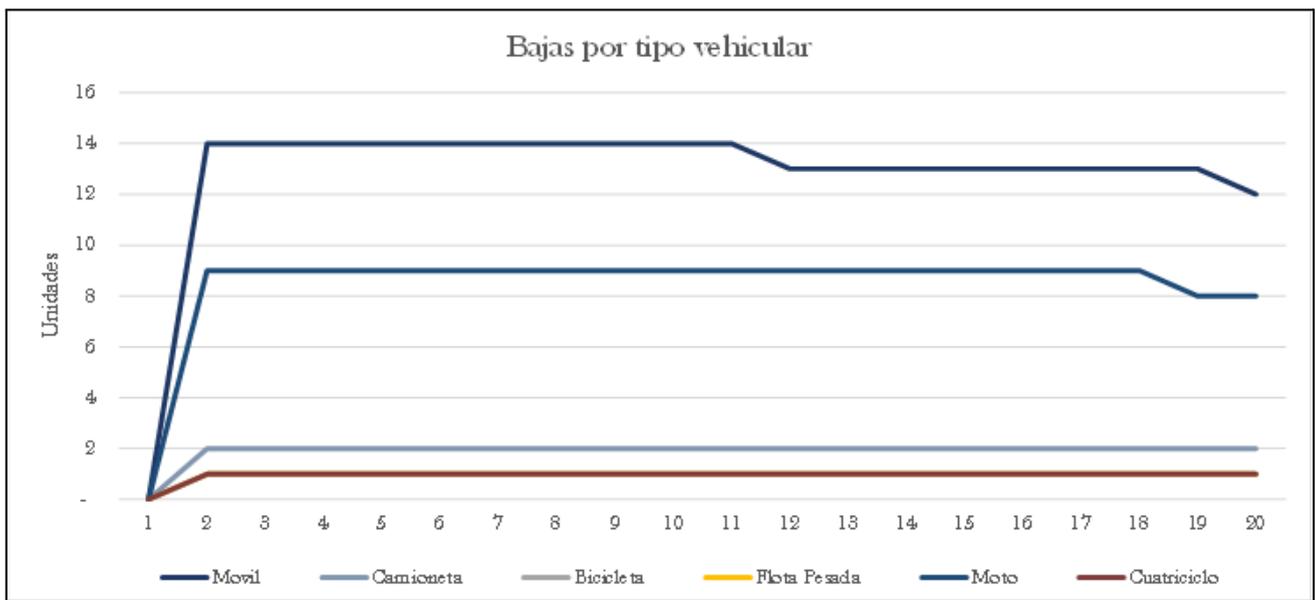


Figura N°14: evolución de composición de la flota según el modelo 1, sobre el total inicial de la flota.

Al observar esa progresión temporal, es posible completar la imagen ofrecida por las visualizaciones previas, comprendiendo así que el modelo respeta el mínimo operativo y se limita a reducir la proporción de vehículos operativos propios en la misma medida en la cual aumenta la proporción de vehículos operativos alquilados (recuérdese que todo vehículo alquilado es considerado en estado operativo), respetando también la restricción de vehículos alquilados sobre propios. Así, el modelo no incorpora ninguna unidad adicional a las mínimamente requeridas y se limita a reemplazar las unidades necesarias según las bajas asociadas con el servicio.

Complementariamente, la Figura N°15 permite visualizar la evolución de las bajas vehiculares, que son las que permiten al modelo reemplazar vehículos propios por alquilados. Definidas de manera proporcional respecto a la cantidad de móviles operativos propios en el período anterior, se evidencia cómo resultan estables durante la mayor parte de los períodos, para luego descender hacia los períodos finales. Dicho descenso surge precisamente del reemplazo por unidades alquiladas.

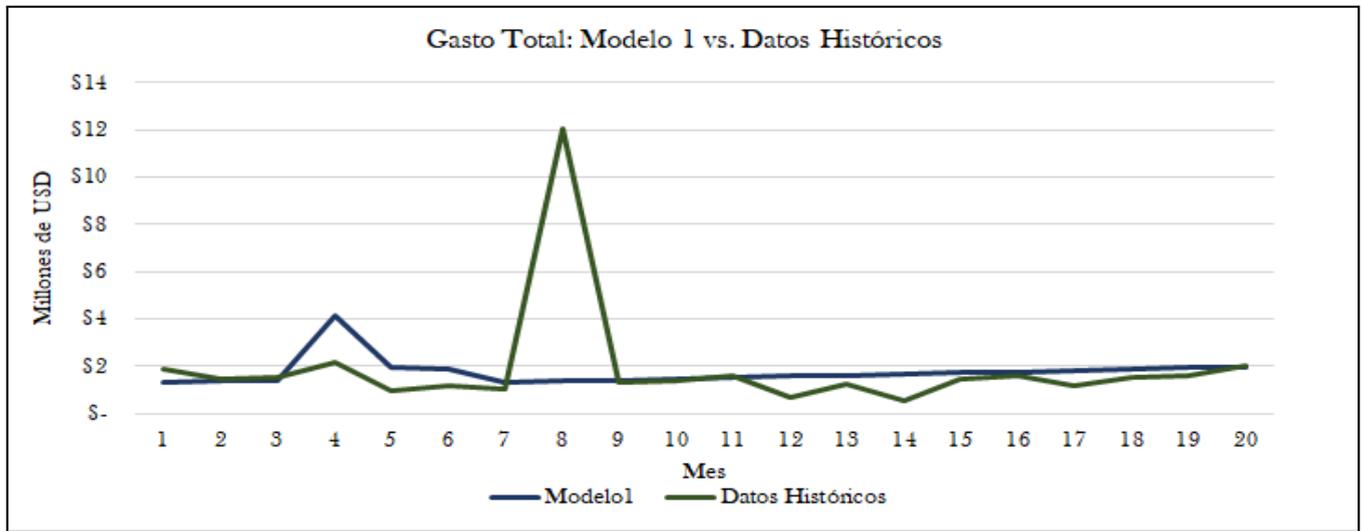


Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Móvil	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	12	0
Camioneta	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bicicleta	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flota Pesada	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Moto	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8

Figura N°15: evolución de las bajas vehiculares de la flota según el modelo 1.

Como consecuencia de las decisiones, se alcanzan los resultantes niveles de gasto mensuales y un gasto global total. Como se evidencia en la Figura N°16, se observa un nivel total de gasto inferior en el modelo al compararlo con el incurrido según los datos históricos (una diferencia de USD 3.3

millones). Además, el gasto pareciera evolucionar de manera estable, con un nivel superior en los períodos cuarto y quinto.



T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
Modelo 1	\$ 1.32	\$ 1.37	\$ 1.41	\$ 4.15	\$ 1.98	\$ 1.86	\$ 1.32	\$ 1.36	\$ 1.39	\$ 1.47	\$ 1.50	\$ 1.58	\$ 1.63	\$ 1.66	\$ 1.71	\$ 1.77	\$ 1.82	\$ 1.87	\$ 1.93	\$ 1.98	\$35.08
Datos H.	\$ 1.90	\$ 1.43	\$ 1.49	\$ 2.15	\$ 0.98	\$ 1.16	\$ 1.04	\$ 12.07	\$ 1.34	\$ 1.39	\$ 1.57	\$ 0.65	\$ 1.26	\$ 0.57	\$ 1.46	\$ 1.57	\$ 1.18	\$ 1.50	\$ 1.63	\$ 2.05	\$38.38

Figura N°16: evolución del gasto mensual asociado con el modelo 1 y comparación con el gasto real según datos.

De todas maneras, la comparación entre los datos históricos y el modelo no es directa, y debe hacerse únicamente recalando las suposiciones y estimaciones fundamentales para su construcción. Además, la serie temporal del gasto real refleja fluctuaciones mayores, posiblemente debidas a las consecuencias de la prestación de un servicio de seguridad pública en la realidad, con distintas contingencias y motivaciones de gasto que superan a aquellas incorporadas al modelo. A su vez, los datos históricos reflejan un pico en el nivel de gasto en el mes N°8, consecuente con una importante adquisición de vehículos.

Entre las razones que impiden la comparación directa se encuentra que, mientras el modelo toma una fracción fija de unidades perdidas como bajas involuntarias, en la práctica es una variable fluctuante e imprevista. Además, también existen, como ya se ha destacado en otras secciones, factores exógenos como por ejemplo políticas de gestión presupuestaria, o demandas heterogéneas provenientes de los organismos de seguridad (es decir, dependencias policiales requiriendo unidades por sobre los mínimos operativos), lo cual señala que en la práctica el organismo decisor no se limita simplemente a ajustarse al mínimo operativo para el funcionamiento del servicio.

Complementariamente, la Figura N°17 ilustra la distribución de gastos mensuales según los resultados del modelo. En este caso, nuevamente se evidencia la presencia de un pico de gasto resultante de la adquisición de nuevas unidades en el cuarto período. A su vez, los gastos operativos y de

mantenimiento resultan constantes a lo largo de todos los períodos analizados, lo cual refleja que el modelo sostiene un nivel constante de vehículos en estado operativo. A su vez, considerando la evolución de los gastos de alquiler, es posible confirmar una vez más que el modelo progresivamente busca aumentar la cantidad de unidades alquiladas. De todas maneras, dicho aumento no podría ser irrestricto gracias a la décima restricción, que establece un límite al balance entre móviles propios y alquilados, y que eventualmente limitaría el incremento de unidades alquiladas.

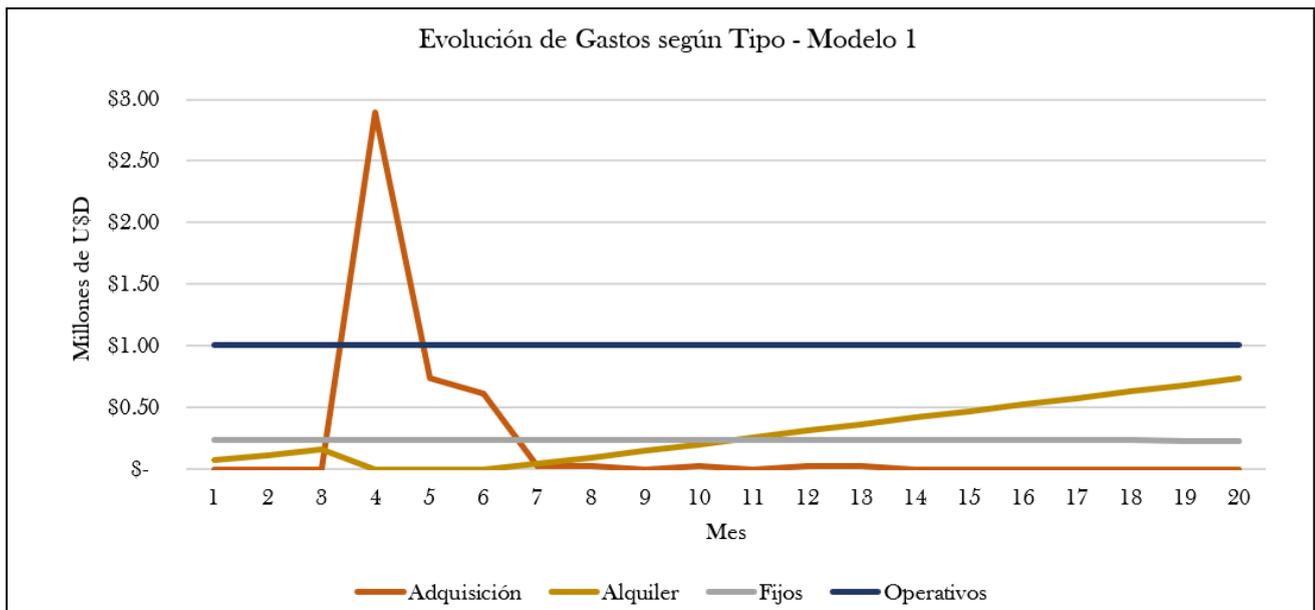


Figura N°17: evolución del gasto mensual según el modelo 1, desagregado por tipo de gasto.

Siguiendo con el análisis detallado, la Figura N°18 permite comparar la distribución de unidades vehiculares según tipo, considerando el punto de partida (T0) y el último período disponible (T20). De esta manera, es posible evaluar visualmente si el modelo prioriza un balance entre unidades vehiculares distinto al realizado según los datos históricos. La comparación arroja un balance similar entre las decisiones tomadas por el modelo y según datos históricos. Es decir, no se perciben cambios considerables en la distribución de vehículos según su tipo, y los cambios entre el primer y último período son similares entre el modelo y lo efectivamente sucedido. Principalmente, este balance podría verse respetado dado que el modelo no posee motivación alguna para modificarlo. Al verse limitado por una cantidad mínima operativa por tipo vehicular, el modelo se ajusta a ese mínimo, aún cuando tal vez una composición diferente resultaría en un menor nivel de gasto total.

Por último, la Figura N°19 permite comparar el desempeño del modelo respecto a la cantidad de kilómetros recorridos. Desde ya, es relevante recalcar nuevamente que la distancia recorrida surge de la combinación de estimaciones realizadas por el organismo decisor respecto a los tiempos promedio en los cuales cada tipo vehicular se encuentra operativo y la distancia que suele recorrer en esos tiempos.

En síntesis, se estima que cada tipo vehicular recorre una distancia promedio determinada por hora y se encuentra una cantidad de horas diarias en operatividad. Si bien es una estimación realista, no permite incorporar las variaciones reales experimentadas en la ejecución de un servicio de seguridad pública, con altas variaciones en las demandas operativas.

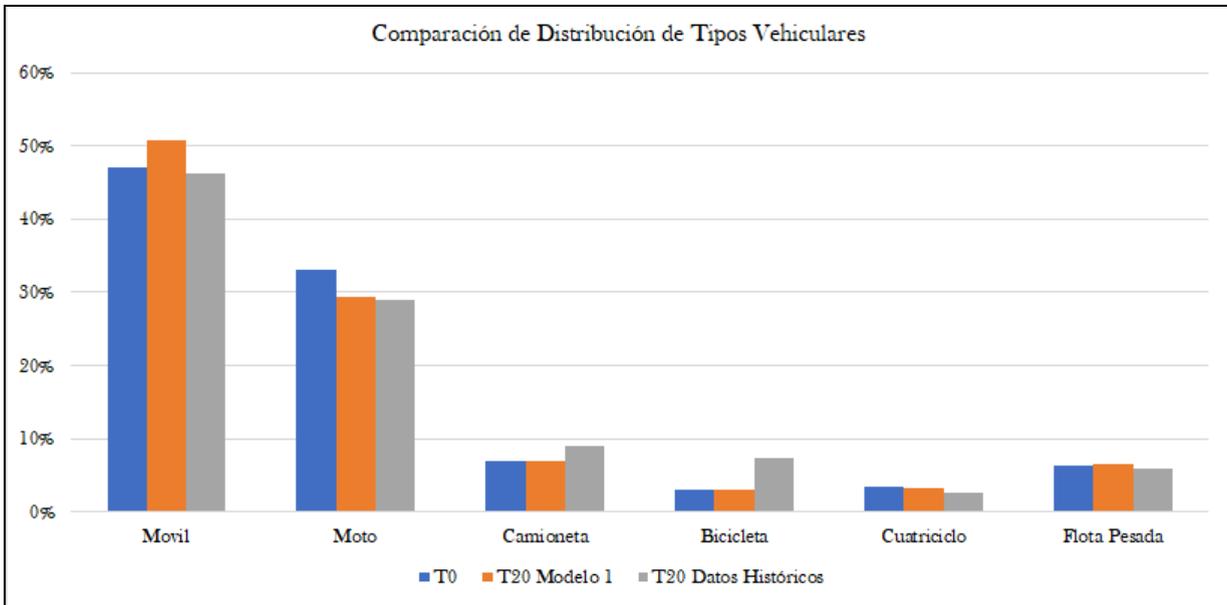
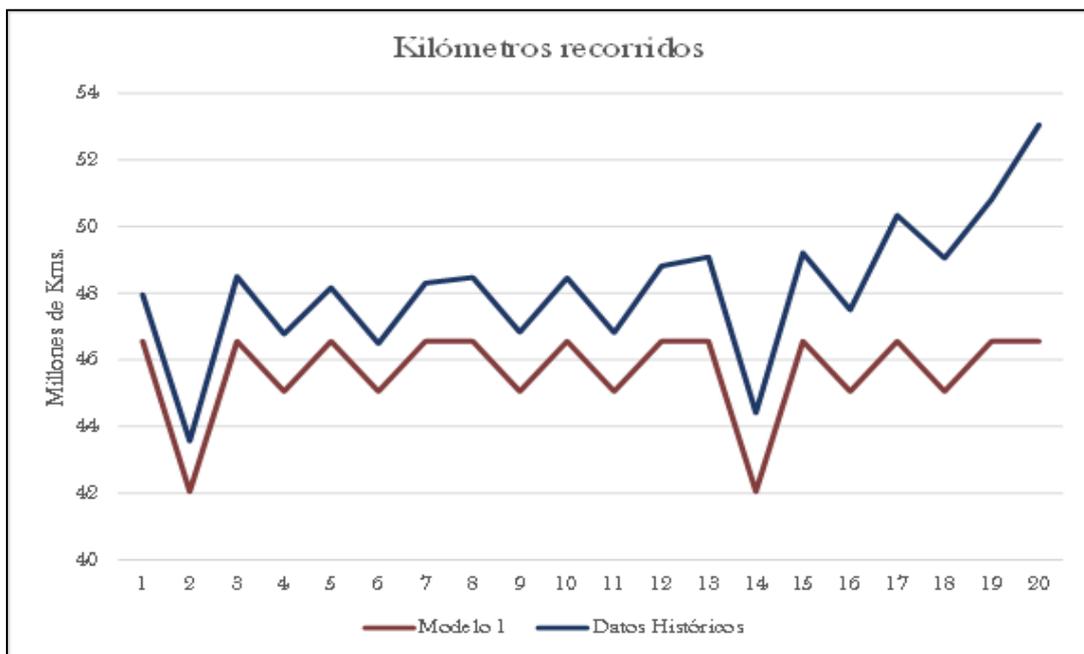


Figura N°18: Comparación de la evolución de la flota según tipos vehiculares, entre datos históricos y el modelo 1.



T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Modelo 1	46.6	42.1	46.6	45.1	46.6	45.1	46.6	46.6	45.1	46.6	45.1	46.6	46.6	42.1	46.6	45.1	46.6	45.1	46.6	46.6
Datos H.	48.0	43.6	48.5	46.8	48.2	46.5	48.3	48.5	46.8	48.5	46.8	48.8	49.1	44.4	49.2	47.5	50.3	49.1	50.8	53.0

Figura N°19: Comparación de estimaciones de distancia recorrida por el modelo 1 y según datos históricos.

Las diferencias entre ambas series temporales se deben nuevamente al carácter conservador del modelo, dado que fundamentalmente minimizará el costo total respetando el mínimo operativo de unidades, mientras que en la práctica se ve que la minimización del costo no resulta prioridad absoluta, sino que se ve flexibilizada ante distintas políticas operativas del organismo y distintos niveles de gobierno.

En síntesis, el primer modelo logra respetar las restricciones detalladas alcanzando un nivel de gasto total inferior al incurrido por el organismo según los datos históricos. Esa reducción, evidentemente, tiene como contrapartida una pérdida de flexibilidad en las decisiones de política de flota vehicular. A modo de ejemplo, podría ser posible imaginar que el aumento en el gasto evidenciado en los datos históricos se debió a un aumento en la inseguridad en áreas específicas de la Ciudad de Buenos Aires, lo que llevó a la necesidad de adquirir nuevas unidades, o de aumentar los niveles de operatividad de las existentes, resultando en un mayor nivel de gastos operativos. Estos escenarios serán considerados en próximas secciones.

5.3 Modelo 2: maximización de kilómetros recorridos

En el segundo modelo, se desplaza el foco estratégico ya no hacia la minimización del costo total asociado con la política de flota, sino con la maximización de los kilómetros recorridos, dado un presupuesto máximo preestablecido. Esta modificación permitirá obtener, dada una limitación presupuestaria determinada, la composición y esquema de reemplazos específico que maximiza la distancia recorrida, es decir, la presencia policial en las calles.

Se busca que el modelo maximice la distancia recorrida en cada período, en lugar de hacerlo de manera global. Es decir, no es posible un resultado en el cual se concentren todos los recursos financieros en un único período, desatendiendo la presencia policial de la ciudad en los períodos restantes. Es por ese motivo que se maximizará la mínima distancia recorrida en cada período, introduciendo una variable auxiliar que representará ese mínimo.

Además, el presente modelo no posee un mínimo operativo de vehículos a cumplirse para alcanzar el mínimo nivel del servicio de seguridad. Esta modificación se debe principalmente a que, al maximizar la mínima distancia recorrida en cada período, el resultado será de por sí el mejor resultado en término de distancia, alcanzable sujeto a un presupuesto dado. Luego, en la sección de análisis de resultados se comparará el desempeño del modelo con los datos históricos.

Las variables y las siguientes restricciones introducidas para el modelo previo se mantienen vigentes (excluyendo a la restricción (4), que establece la restricción de un mínimo operativo), se introducen a continuación únicamente las modificaciones:

Variables:

- z : mínima distancia total recorrida en todos los períodos considerados.
- $KmMensual_t$: cantidad de kilómetros recorridos en el período t por la totalidad de los vehículos
- g_t : gasto total en el período t .

Parámetros:

- p : presupuesto total máximo.

Función objetivo:

14. $Max z$

Restricciones:

15. $z \leq KmMensual_t \quad \forall t \in T$

16. $g_t = \sum_{k \in K} [CA_k * XA_{k,t} + CQ_k * XQ_{k,t} + CO_k * (XO_{k,t} + XQ_{k,t}) + CF_k * (XS_{k,t} + XQ_{k,t})] + CM * XM_t \quad \forall t \in T$

17. $\sum_{t \in T} g_t \leq p$

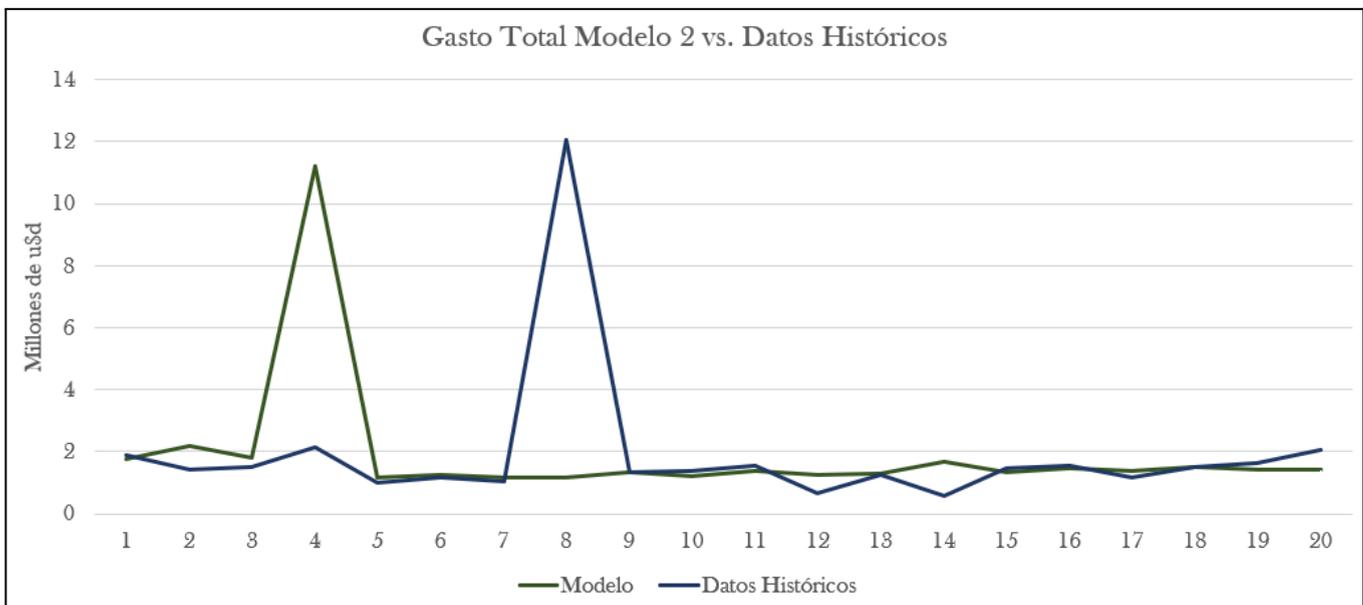
18. $KmMensual_t = \sum_{k \in K} oph_k * kmh_k * dias_t * (XO_{k,t} + XQ_{k,t})$

La función objetivo **(14)** maximiza el mínimo de kilómetros recorrido en todos los períodos considerados. Es decir, en ningún período se recorrerá menos que z (expresada en kilómetros).

La restricción **(15)** asegura que la variable z funcione efectivamente como el mínimo global de las distancias recorridas mensualmente. La restricción **(16)** define el gasto total incurrido en cada período, considerando todos los costos previamente detallados (adquisición, alquiler, operativos, fijos/mantenimiento y de almacenamiento) y la **(17)** asegura que el gasto total no supere al máximo presupuesto establecido. Por último, la restricción **(18)** define la distancia recorrida mensualmente, tomando la cantidad de horas diarias de operatividad, los kilómetros recorridos por hora, la cantidad de días en el mes, y la cantidad de vehículos en operación.

Análisis de resultados: Modelo 2

El presupuesto máximo en este modelo será el nivel de gasto asociado con los datos históricos provistos. De esta manera, como se ilustra en la Figura N°20, el total incurrido es idéntico entre el modelo y los datos, registrándose modificaciones únicamente en la distribución mensual. A su vez, ambas series muestran un pico inicial vinculado con procesos adquisitorios. De todas formas, como ya ha sido destacado previamente, las comparaciones con los datos históricos no debieran ser realizadas de manera directa, debido a las estimaciones y suposiciones sobre las que fue construido el modelo.



T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
Modelo 2	\$1.8	\$2.2	\$1.8	\$11.2	\$1.2	\$1.3	\$1.2	\$1.2	\$1.3	\$1.2	\$1.4	\$1.3	\$1.3	\$1.7	\$1.3	\$1.5	\$1.4	\$1.5	\$1.4	\$1.4	\$38.4
Datos H.	\$1.9	\$1.4	\$1.5	\$2.1	\$1.0	\$1.2	\$1.0	\$12.1	\$1.3	\$1.4	\$1.6	\$0.7	\$1.3	\$0.6	\$1.5	\$1.6	\$1.2	\$1.5	\$1.6	\$2.1	\$38.4

Figura N°20: evolución del gasto mensual según el modelo 2, comparado con los datos históricos.

En la Figura N°21 se ilustran las decisiones tomadas por el modelo respecto al alquiler de unidades, las adquisiciones no han sido ilustradas gráficamente ya que se reducen únicamente a una adquisición de 790 motocicletas en el cuarto período (primer período disponible para adquirir). Es evidente en esta primera aproximación a los resultados que el modelo concentra los recursos económicos en un único tipo vehicular, la motocicleta. Estos resultados no son inesperados, dado que al buscar maximizar la distancia recorrida, es coherente que el modelo busque la incorporación del tipo vehicular que asegure una mayor cantidad de kilómetros recorridos respecto a los otros.

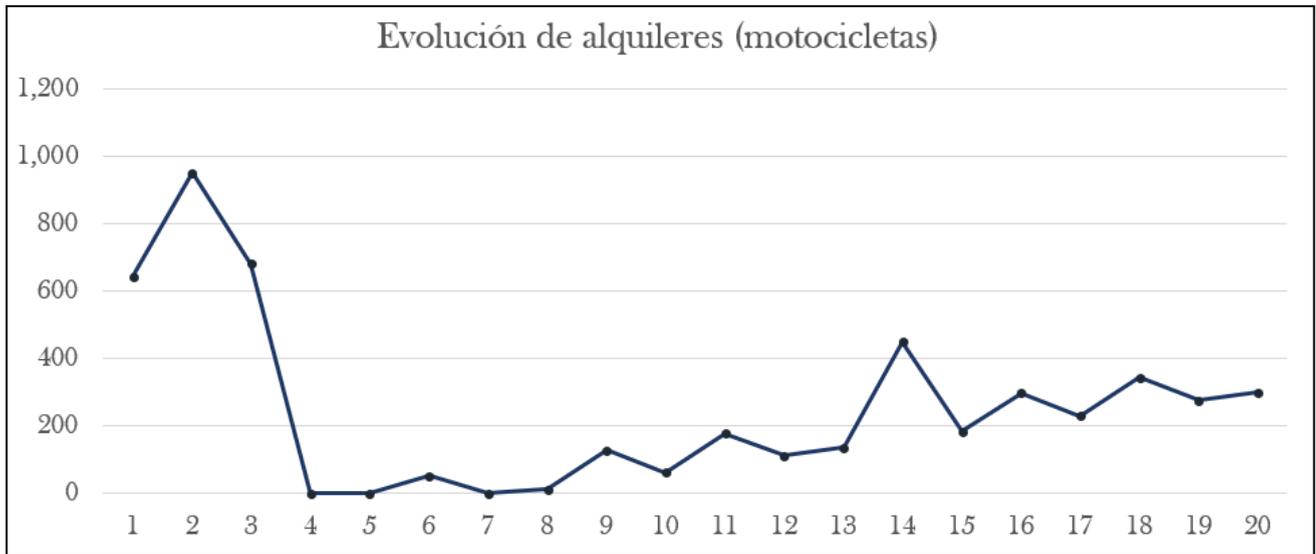


Figura N°21: evolución de alquileres realizados por el modelo 2. El modelo únicamente realiza alquileres de motocicletas.

La Figura N°22 refleja a su vez el balance realizado por el modelo entre unidades propias y alquiladas. En este caso, no se encuentra limitado por una cantidad específica de unidades, un mínimo operativo, ya que maximiza la distancia buscando asegurar el nivel de patrullaje máximo posible. Por ello, la reducción en unidades operativas propias no se ve acompañada de un aumento en igual magnitud de unidades alquiladas, en contraste con lo ya analizado en el modelo 1.

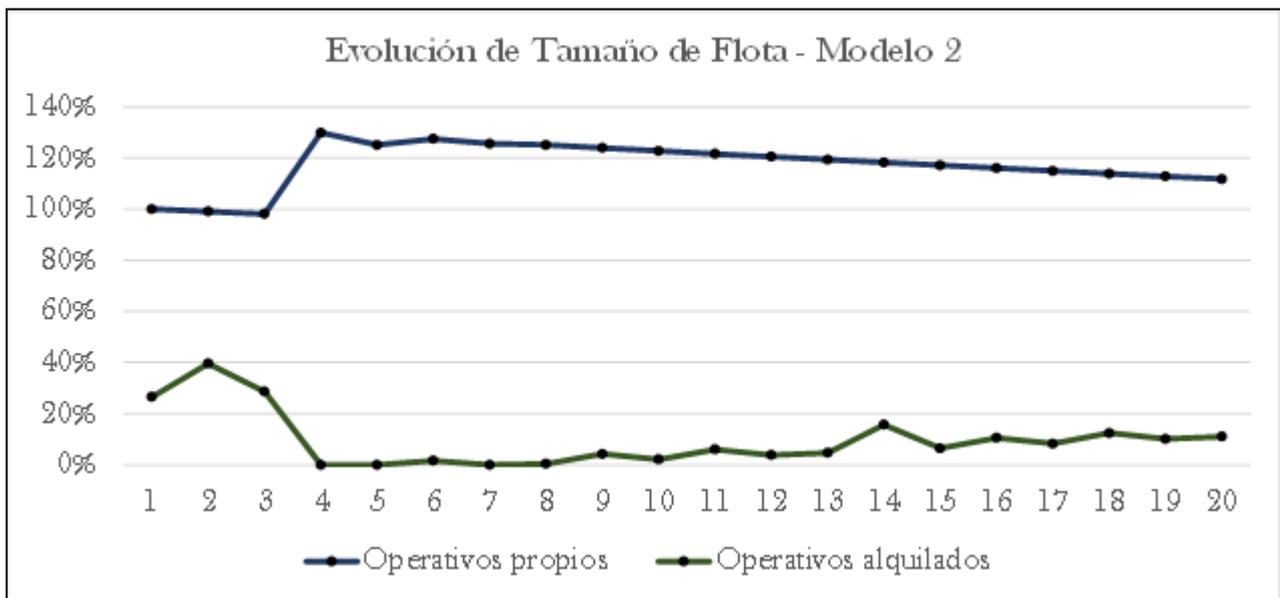
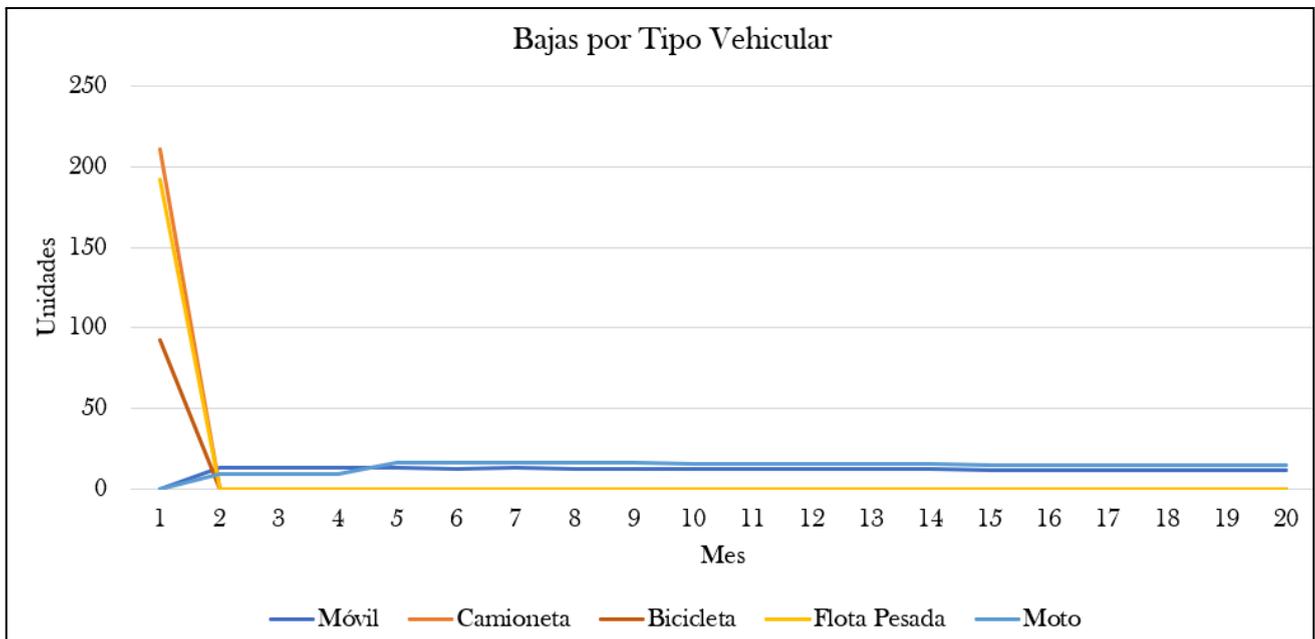


Figura N°22: evolución de la composición de flota según modelo 2 (base = operativos propios iniciales).

Complementariamente, la Figura N°23 refleja las bajas por tipo vehicular y la Figura N°24 ilustra la modificación en la composición de los tipos vehiculares entre el período inicial y el final. Ambas figuras evidencian una misma dinámica coherente con las ilustraciones previas, el modelo concentra los recursos en aquellos tipos vehiculares que recorren una mayor distancia y ajusta la composición de la flota inicial en el primer período disponible, realizando una baja de las unidades vehiculares de otros tipos. De esta manera, a los fines de alcanzar mayores niveles de kilómetros recorridos, el modelo reduce la heterogeneidad de la flota y concentra las unidades en dos tipos vehiculares: móvil y moto.

De todas formas, vale destacar que en el balance realizado por el modelo, la concentración en las motocicletas no es total, dado que mantiene su stock existente de móviles, sin invertir recursos en su reemplazo o renovación. Esta decisión se justifica en que el costo de dar de baja todos los móviles en stock y reemplazarlos por la cantidad necesaria de motocicletas que asegure un mismo nivel de distancia recorrida (ya sea mediante adquisición o alquiler), sería superior al de simplemente mantener el stock de móviles operativos. La restricción presupuestaria es determinante para esta decisión y, una vez más, refleja la importancia del punto de partida inicial sobre las decisiones tomadas.



Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Móvil	0	13	13	13	13	12	13	12	13	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
Camioneta	211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicicleta	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flota Pesada	192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moto	0	9	9	9	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	14	14

Figura N°23: evolución de las bajas por tipo vehicular, según el modelo 2.

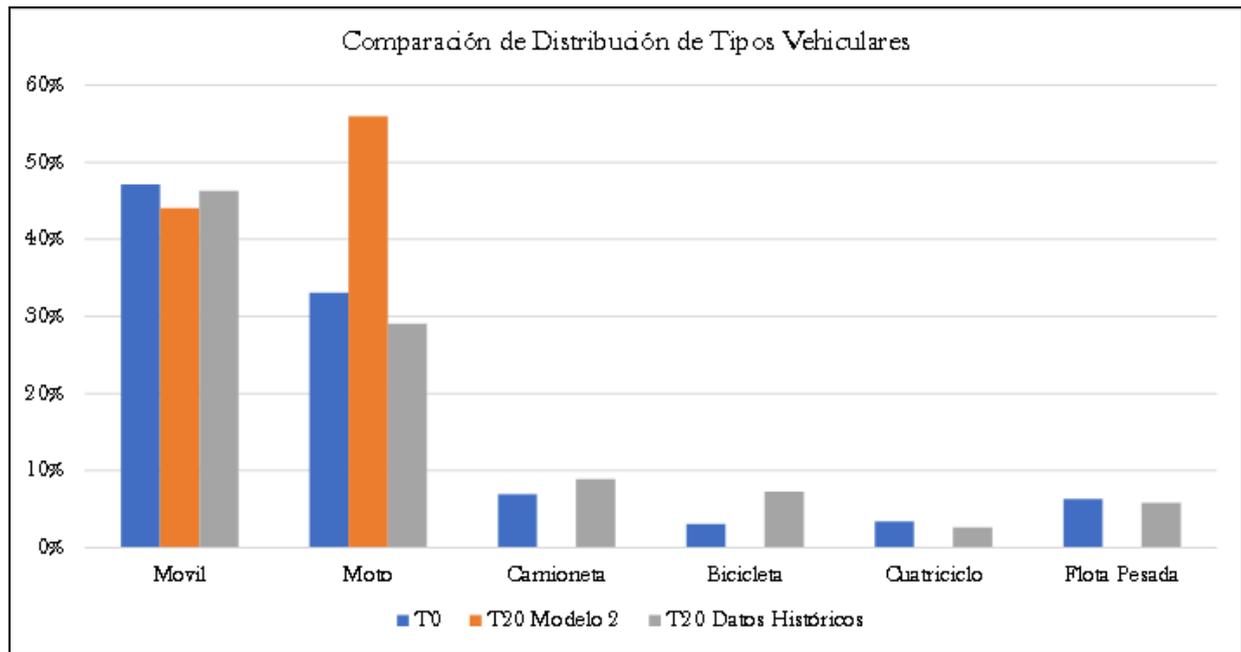


Figura N°24: Comparación de la evolución de la flota según tipos vehiculares, entre datos históricos y el modelo 2.

En la Figura N°25 se ilustra la evolución de la composición del gasto mensual según tipo. En este caso, se removió la serie de gasto adquisitorio a los fines de facilitar la visualización de los tipos restantes. Es posible visualizar esta vez un primer período temporal, en los primeros tres meses, en el que el modelo incurre en gastos de alquiler mientras aguarda la posibilidad de adquirir nuevas unidades. Una vez realizada la adquisición de nuevas unidades, concentrándose en los tipos vehiculares mencionados, el nivel de gastos se mantiene estable en el tiempo, incrementándose progresivamente el nivel de gasto asociado con los alquileres.

Por último, la Figura N°26 ilustra la evolución de la cantidad estimada de kilómetros recorridos por el modelo 2 y según los datos históricos. Debe tenerse en cuenta el modo en el que se alcanzan las estimaciones de las distancias recorridas, un único móvil, por ejemplo, en servicio durante todo un mes, recorrería alrededor de 15.000 kilómetros, considerando los kilómetros por hora recorridos en promedio por los móviles en general y la cantidad de horas de funcionamiento diario.

El valor estático de la serie temporal del modelo se encuentra vinculado al modo en el cual fue construido, se buscó que maximice la distancia mínima recorrida en cada uno de los períodos mensuales, resultando en un único y casi totalmente fijo valor de distancia recorrida mensual, con mínimas fluctuaciones mes a mes fruto de altas y bajas de vehículos. En otras palabras, el modelo concentra los recursos en elevar el mínimo global de distancia recorrida, por lo cual no tiene motivación para dedicar recursos a elevar la distancia recorrida en ningún período por sobre ese mínimo.

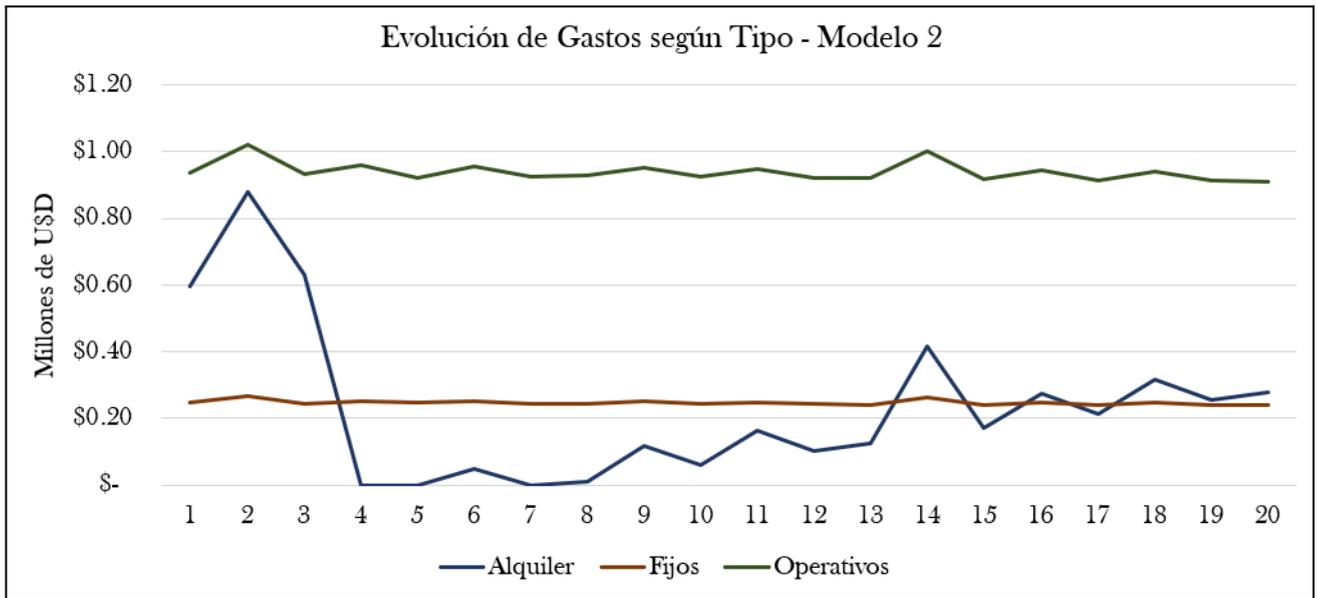


Figura N°25: evolución del gasto mensual según el modelo 2, desagregado por tipo de gasto.

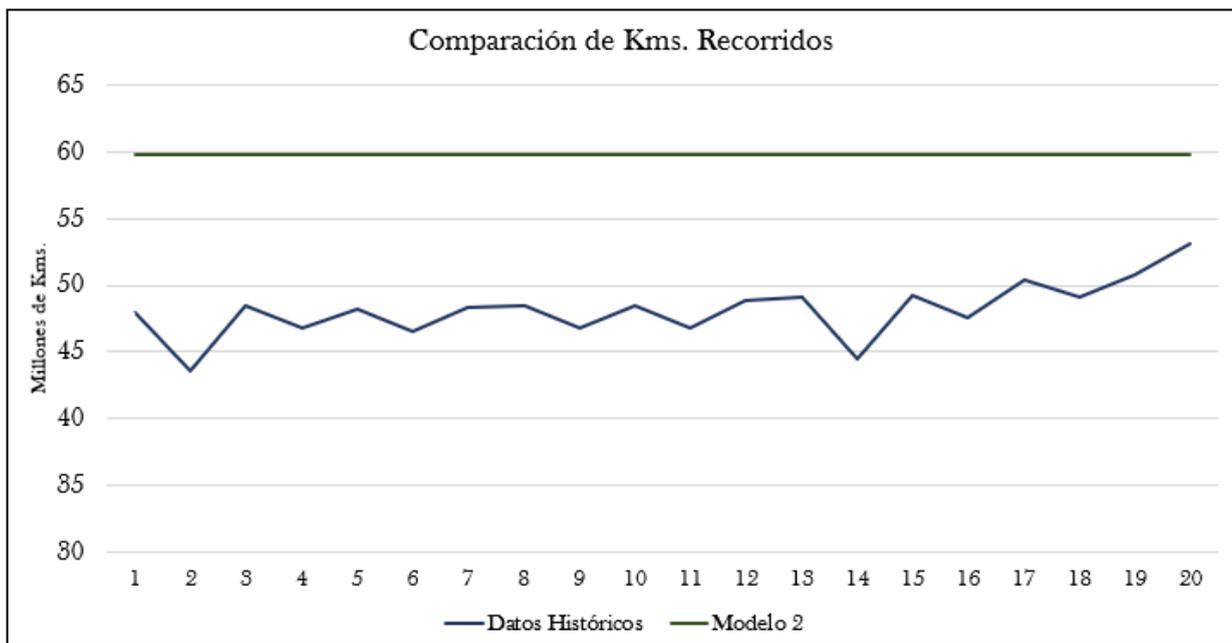


Figura N°26: Comparación de estimaciones de distancia recorrida por el modelo 2 y según datos históricos.

Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Modelo	59.76	59.78	59.80	59.78	59.77	59.79	59.79	59.80	59.79	59.79	59.77	59.78	59.80	59.77	59.78	59.78	59.80	59.80	59.80	59.80	59.77
Datos H.	47.95	43.57	48.50	46.78	48.16	46.49	48.30	48.47	46.83	48.46	46.82	48.81	49.08	44.41	49.21	47.50	50.33	49.05	50.81	53.05	

De manera integral, entonces, el segundo modelo maximiza la distancia recorrida limitado por un presupuesto determinado. A los fines de lograrlo, concentra la erogación de recursos en la adquisición de unidades al inicio del período y luego se limita a destinar los recursos restantes para mantener dichas unidades. A su vez, nuevamente, prioriza la adquisición y mantenimiento de unidades con mayores distancias recorridas en promedio, con el fin evidente de aumentar el kilometraje total recorrido.

Debe destacarse una vez más la limitación de tomar como guía únicamente un modelo con estas características. Por ejemplo, es posible que el organismo valore positivamente poseer una flota heterogénea. Es factible plantear que, si bien las bicicletas no recorren mayores distancias que las motocicletas, ellas transmiten a los vecinos de la Ciudad una imagen de mayor cercanía y presencia policial, permitiendo otro tipo de abordaje al enfrentamiento del delito. Pero de todas formas, es útil y valioso contar con una herramienta que permite conocer los resultados de implementar una regla de decisión como la tomada por el modelo: aumentar la distancia patrullada a toda costa, cumpliendo con las restricciones.

De todas maneras, el modelo podría modificarse atento a la necesidad del organismo para asegurar un nivel mínimo de heterogeneidad de la flota. Por ejemplo, podría incorporarse la siguiente restricción, que aseguraría que un tipo vehicular, los móviles en este ejemplo, no posea menos unidades que un límite determinado (n), definido por el organismo decisor:

$$XO_{k,t} + XQ_{k,t} \geq n \quad \forall k = \text{móvil}, t \in T$$

Alternativamente, también podrían implementarse límites proporcionales respecto del total de la flota, restringiendo al modelo a asignar una cantidad de unidades a cada tipo vehicular proporcionalmente sobre el total de la flota. Por ejemplo, la cantidad de motocicletas sobre el total de vehículos operativos de la flota policial debe encontrarse entre 20% y 60%:

$$0.2 * \sum_{k \in K} XO_{k,t} + XQ_{k,t} \geq \sum_{k = \text{moto}} XO_{k,t} + XQ_{k,t} \leq 0.6 * \sum_{k \in K} XO_{k,t} + XQ_{k,t} \quad \forall k \in K, t \in T$$

6. Escenarios Dinámicos y Performance de Modelos

En esta sección, se tomarán los modelos construidos en la sección previa, y se evaluará su desempeño ante distintos escenarios que buscan acercar la simulación a las situaciones reales a las que se enfrenta el organismo decisor. Siendo que ambos modelos poseen reglas de decisión claras, que han demostrado su comportamiento en los resultados ya analizados, surge el interés de comparar su comportamiento en circunstancias cambiantes. A su vez, esta sección permitirá ampliar el nivel de detalle en el análisis de las decisiones de los modelos, destacando cómo evolucionan bajo distintos escenarios con una granularidad mayor al demostrado en la sección previa.

El foco estará centrado en dinamizar los parámetros y restricciones en dos ámbitos: 1) la demanda operativa y 2) la política presupuestaria. Las siguientes subsecciones definen y abordan estos escenarios.

6.1. Demanda operativa

Los modelos han sido evaluados en un escenario inicial de demanda operativa constante, donde se considera un mínimo operativo obtenido de los datos históricos y se requiere al modelo cumplir con él. Ahora, en la práctica esa demanda posiblemente no sea estática, es decir, no habría un único valor estable de demanda de cantidad de vehículos policiales para toda la Ciudad de Buenos Aires. Una ilustración de ese dinamismo puede verse en la Figura N° 27, que considera los delitos mensuales reportados para los años 2018, 2019 y 2021.

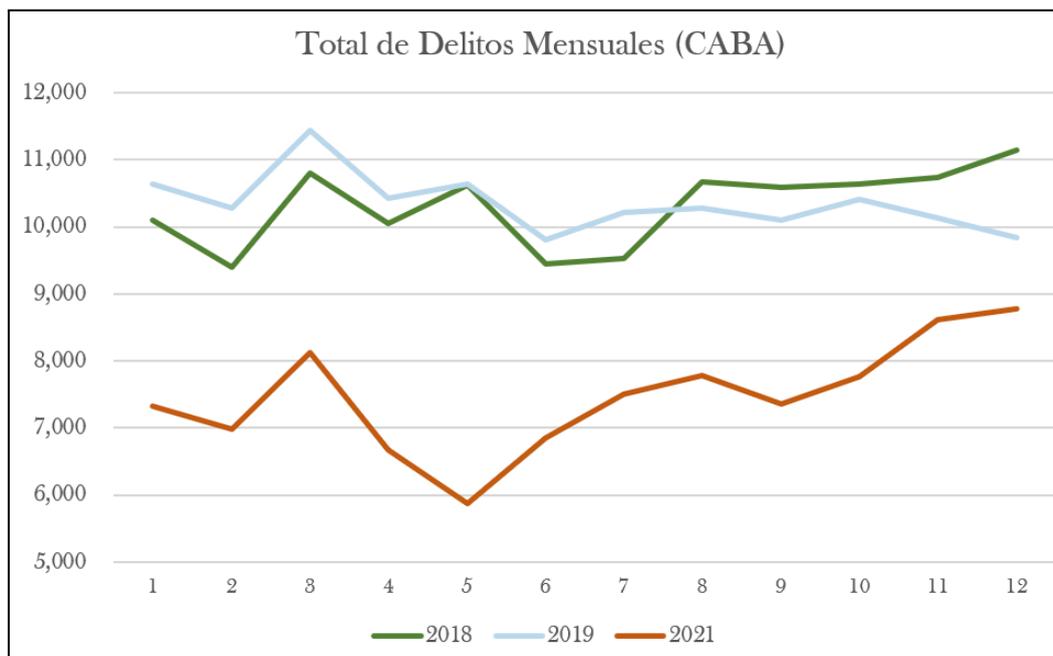


Figura N°27: Evolución de delitos registrados en CABA para los años 2018, 2019 y 2021. El año 2020 fue evitado por las particularidades únicas de ser el año de la irrupción de la pandemia de COVID-19. Fuente: Mapa del Delito GCBA.

Si bien no es lineal la relación entre la cantidad de delitos y la demanda operativa vehicular, y si bien no se encuentran evidenciados la totalidad de los mecanismos que impulsan la fluctuación en la cantidad de vehículos, sí es seguro afirmar que a una mayor cantidad de delitos, habrá una mayor demanda de vehículos. Esto se debe a que los vehículos policiales intervienen directamente ante distintos tipos de delitos. Ante llamados al servicio telefónico de emergencias (911), generalmente la asistencia inmediata es provista por los vehículos disponibles en la zona. Además, a mayores delitos la fuerza policial ve aumentada la demanda de investigaciones policiales y persecuciones, que requieren de una mayor presencia vehicular.

De esta manera, y atento a la fluctuación visualizada, es propicio evaluar los modelos ante un escenario de demanda operativa fluctuante. Para definir en qué medida y cómo realizar la simulación del escenario de demanda fluctuante se busca en primer lugar expresar la cantidad de delitos mensuales de manera estandarizada. Para ello, según se ilustra en la Figura N°28, se expresan los delitos mensuales de manera proporcional al mínimo de delitos en cada año.

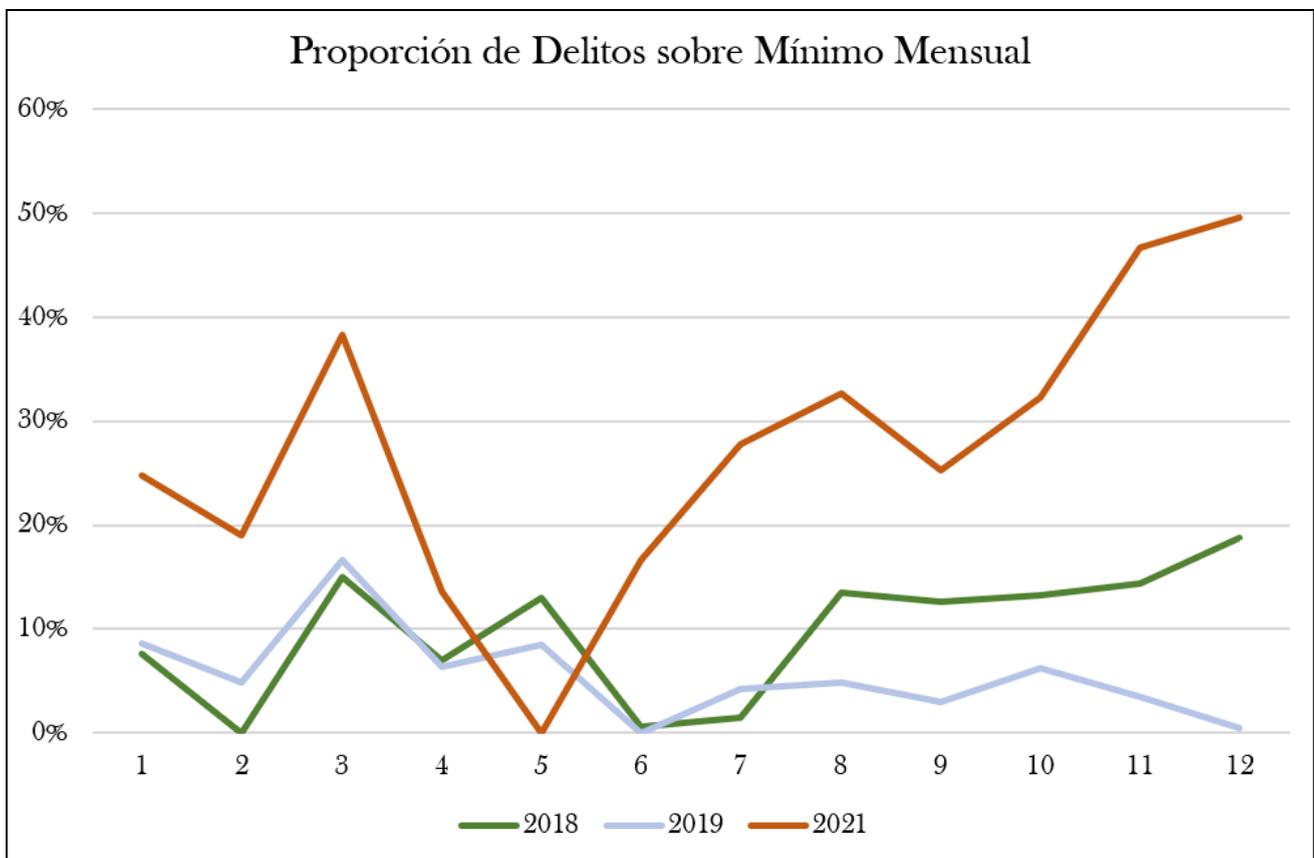


Figura N°28: Representación de los delitos mensuales de manera proporcional al mínimo de delitos en el año.

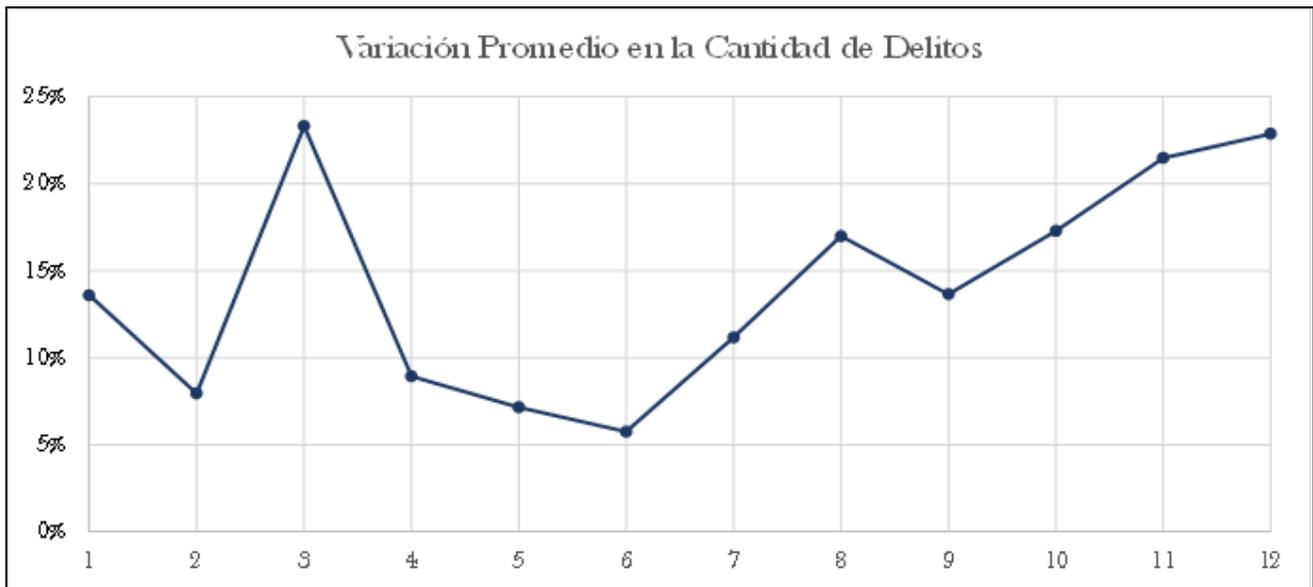


Figura N°29: Representación de los delitos mensuales de manera proporcional al mínimo de delitos en el año, promediando las series temporales de los años 2018, 2019 y 2021.

Finalmente, promediando los valores de las series temporales de los tres años seleccionados, se obtiene un único valor para cada mes del año, que representa la variación en la cantidad de delitos respecto al mínimo. Esta representación se ve ilustrada en la Figura N°29, que refleja la variación para cada mes y los meses que poseen un nivel de delitos superior respecto al resto.

Si bien se realiza una estimación en base a los datos reales, la variación mes a mes de las series temporales analizadas pareciera respetar una lógica similar, señalando cierta estacionalidad en el comportamiento de los delitos. Concretamente, como factor común, se ve un descenso en el mes de febrero y un marcado ascenso en el mes de marzo. Luego, hacia el mes de junio se detecta el valor mínimo de delitos, con un progresivo ascenso hacia los últimos meses del año. Ciertamente cada año demuestra magnitudes diferentes, pero la tendencia general se mantiene, motivo por el cual la estimación realizada no pareciera reducir o simplificar en demasía lo realmente observado.

A continuación, se procede a evaluar ambos modelos bajo un escenario en el cual el mínimo operativo, expresado en cantidad de vehículos, se ajusta a los pesos relativos de los delitos de cada mes. Nótese que el ajuste se realiza para el mínimo de cada tipo vehicular, es decir, se toma el mínimo operativo previo para cada tipo de vehículo y luego se aplican los pesos relativos de cada mes a esos valores. Por ejemplo, si el mínimo operativo de motocicletas era de 100 vehículos, el valor ajustado para el mes de enero será 113 unidades, considerando que el índice de delitos de enero es aproximadamente 13%.

Inicialmente, el comportamiento del modelo 1 ante un escenario de demanda fluctuante es consistente con el observado en la sección previa, como puede observarse en la Figura N°30. Es decir, una priorización del alquiler de unidades por sobre la adquisición, que se evidencia con el progresivo descenso de unidades operativas propias frente a las alquiladas. Además, una primera adquisición en el cuarto período y luego únicamente dos adquisiciones menores en comparación con la magnitud de la primera.

La Figura N°31 permite observar de manera desagregada, únicamente para los móviles a modo de ejemplo, la evolución de las decisiones del modelo que resultan en la adquisición del cuarto período. Inicialmente existe una diferencia de 215 unidades entre el mínimo operativo y los móviles propios, diferencia que es cubierta con el alquiler de unidades. Esa situación se repite hasta el período cuarto, cuando concurren ya los meses necesarios para la tramitación de cualquier adquisición vehicular, y efectivamente allí el modelo adquiere 187 móviles, que resulta ser la cantidad necesaria para alcanzar el mínimo operativo de ese período, incorporando las unidades dadas de baja involuntaria.

Esta situación a su vez demuestra que el modelo realiza un balance económico entre la cantidad de unidades a alquilar y a adquirir, sujeto a las distintas restricciones que lo limitan. Habiendo existido

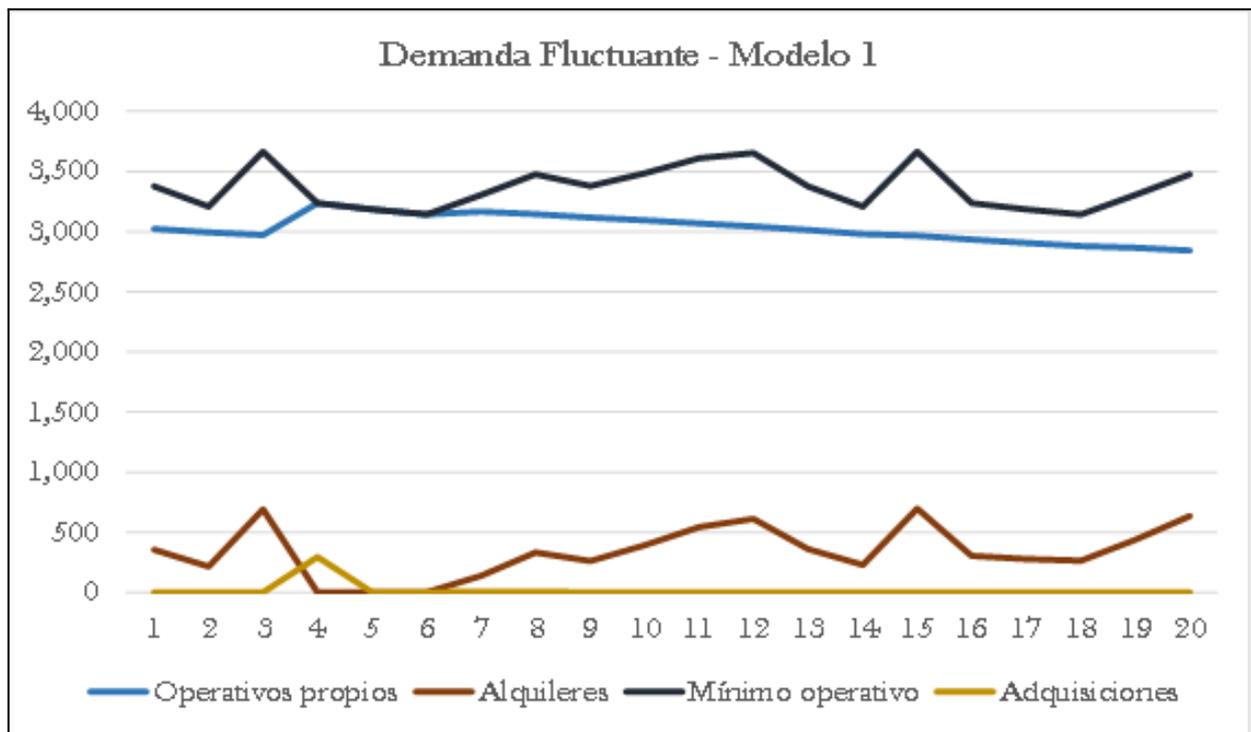


Figura N°30: evolución de las decisiones tomadas por el modelo 1 ante un escenario de demanda fluctuante.

la alternativa de simplemente alquilar las unidades necesarias, decide realizar una adquisición para asegurar una reducción global del gasto. Este balance económico puede verse ilustrado al comparar el

nivel de gasto incurrido por el modelo con una alternativa en la cual no se adquieran unidades y se recurra únicamente a alquilar las unidades necesarias. La Figura N°32 realiza esa comparación para los móviles. La decisión del modelo de adquirir unidades en el período cuatro se visualiza como un pico en el nivel de gasto en ese período, y luego en los siguientes el gasto se concentra en el alquiler de las unidades necesarias para cubrir la demanda. En un esquema alternativo, en el cual no se realice ninguna adquisición y se utilicen únicamente unidades alquiladas, el gasto mensual para la mayoría de los periodos es superior al incurrido por el modelo, dado que se deben alquilar unidades suficientes como para satisfacer la demanda sin adquisiciones, resultando en un total global de U\$D 1,3 millones por sobre lo gastado por él.

Tipo	Período	1	2	3	4
Móvil	Adquiridos	-	-	-	187
	Alquilados	215	146	382	-
	Bajas	-	13	13	13
	Operativos (propios)	1,425	1,412	1,398	1,572
	Mínimo operativo	1,640	1,558	1,780	1,572

Figura N°31: ejemplo desagregado de las decisiones del modelo 1 en los cuatro primeros períodos mensuales para los automóviles.

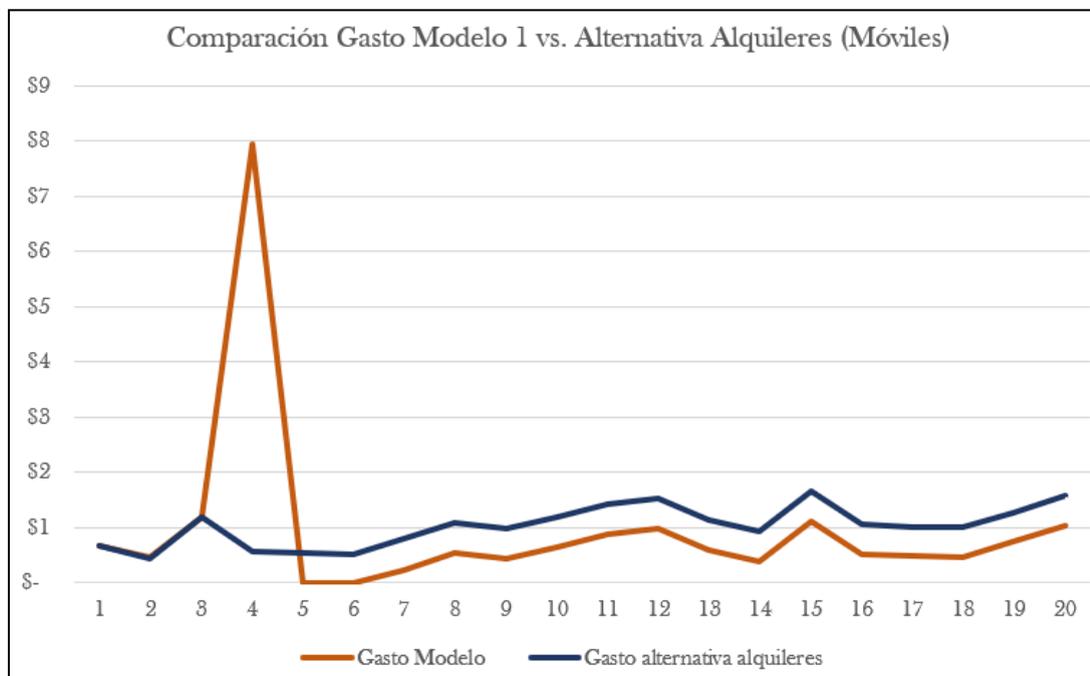


Figura N°32: comparación de nivel de gasto mensual entre modelo 1 y alternativa sin adquisiciones.

Extender el horizonte temporal del análisis resulta en un mayor entendimiento de la dinámica entre alquileres y adquisiciones, dado que es posible asumir que este impacta sobre el balance

económico realizado por el modelo. La Figura N°33 ilustra la evolución de unidades alquiladas y adquiridas por el modelo bajo un horizonte de 50 períodos mensuales. Nuevamente se evidencia una secuencia similar, en la cual se inicia con un alto nivel de alquileres hasta el cuarto período, primer período en el que es posible realizar una adquisición, y luego se procede a adquirir distintas cantidades de vehículos en los meses siguientes. Hacia el final de la ventana temporal, el modelo nuevamente aumenta la cantidad de unidades alquiladas. De todas maneras, tal como evidencia la Figura N°34, la proporción de vehículos alquilados sobre el total de vehículos propios nunca se acerca al límite de 40% establecido en las restricciones del modelo. Lo que pareciera señalar que la cantidad de vehículos

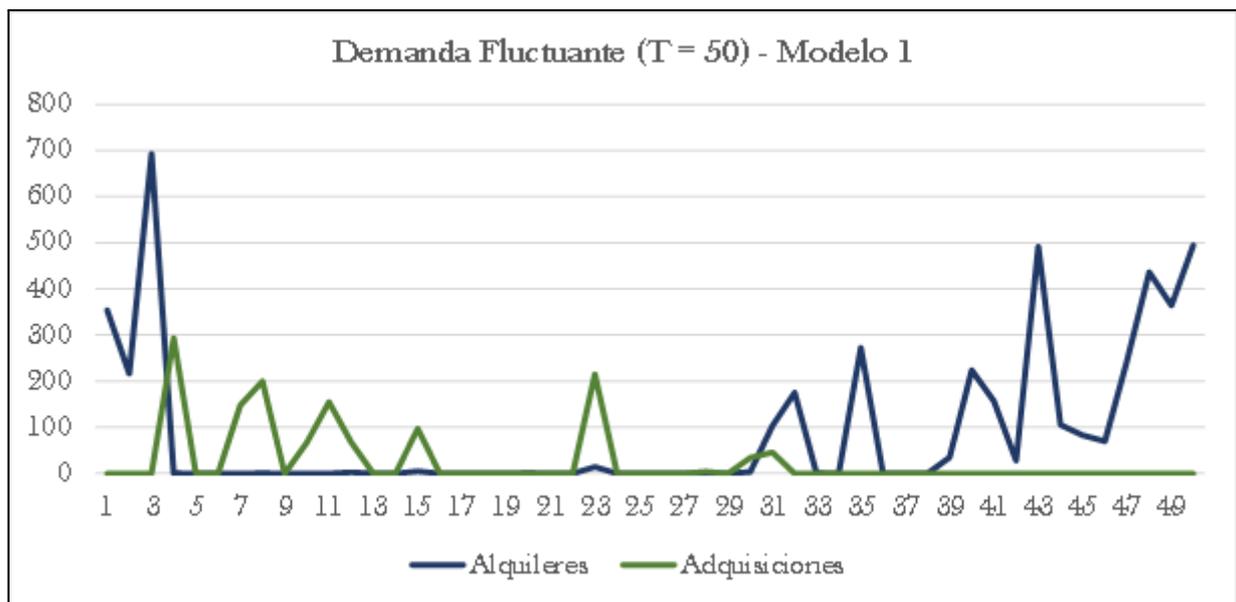


Figura N°33: evolución temporal de unidades alquiladas y adquiridas por el modelo 1 al extender la cantidad de períodos mensuales a 50.

alquilados en este caso no se ve limitada por ese límite superior si no por el balance económico entre ambas opciones.

En base a lo observado, es posible afirmar que el resultado se verá influenciado por la ventana temporal que se utilice, factor determinante a la hora de evaluar la posible implementación en un contexto real de gestión. De todas maneras, el factor del horizonte temporal evaluado no resulta trivial de resolver o abordar, dado que no siempre es claro cuál es el horizonte temporal de un tomador de decisión real ante la gestión de la flota vehicular. Por ejemplo, una posibilidad sería acotar el horizonte temporal al mandato actual de gobierno, es decir, los 4 años de gestión del Jefe de Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ahora, esa decisión resultará en la combinación más eficiente de unidades en ese período, pero tal vez altamente ineficiente ante un horizonte temporal mayor, por ejemplo el de un plan de gestión de flota de 10 años.

El punto a resaltar, entonces, no consiste en hallar el horizonte temporal óptimo para este problema, precisamente porque el horizonte temporal dependerá de quien tome la decisión y de cuáles sean sus incentivos en el corto, mediano y largo plazo, con un impacto directo en qué tan eficientes sean las decisiones ante una ventana temporal mayor. Este trabajo se limita a destacar la relevancia de la elección de ese horizonte y sus consecuencias.

Por su parte, a los fines de evaluar al modelo 2 bajo condiciones de demanda fluctuante, se debe en primer lugar modificar su formulación. El motivo de esta necesidad se encuentra en que originalmente este modelo maximizará la cantidad de kilómetros recorridos sin una restricción de

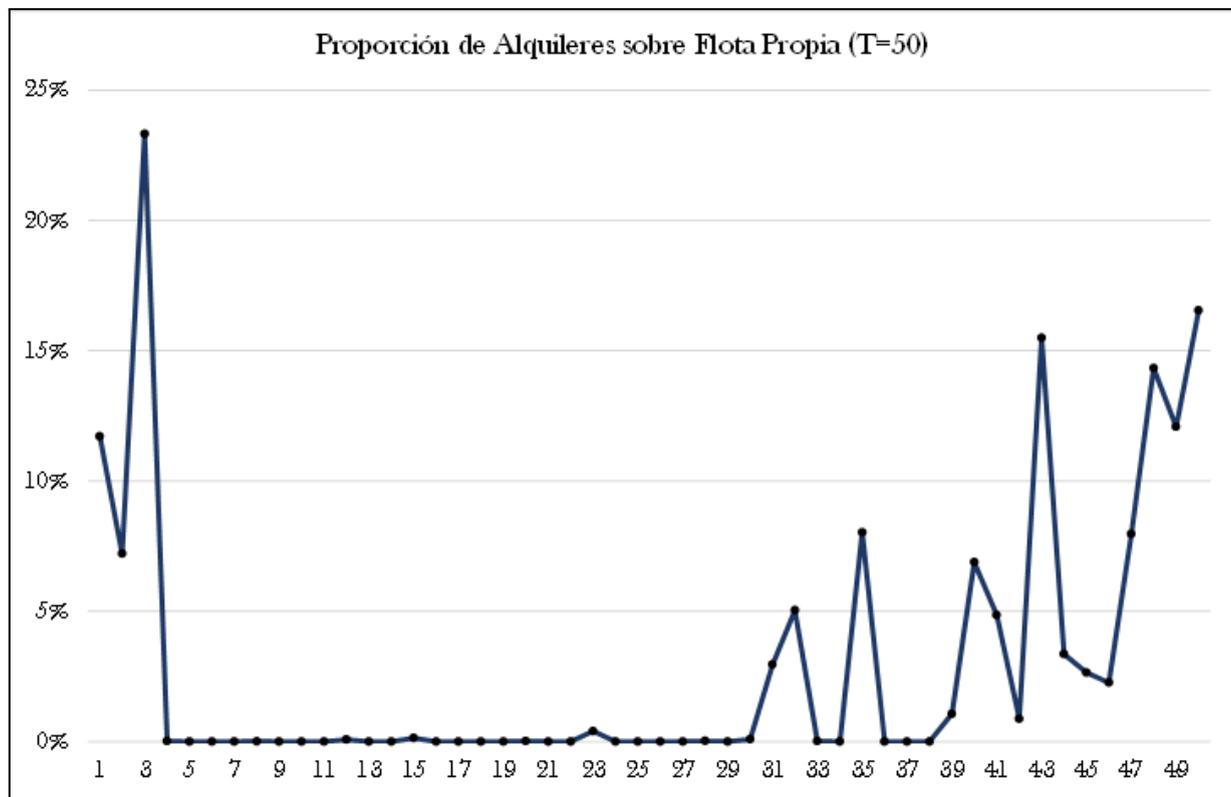
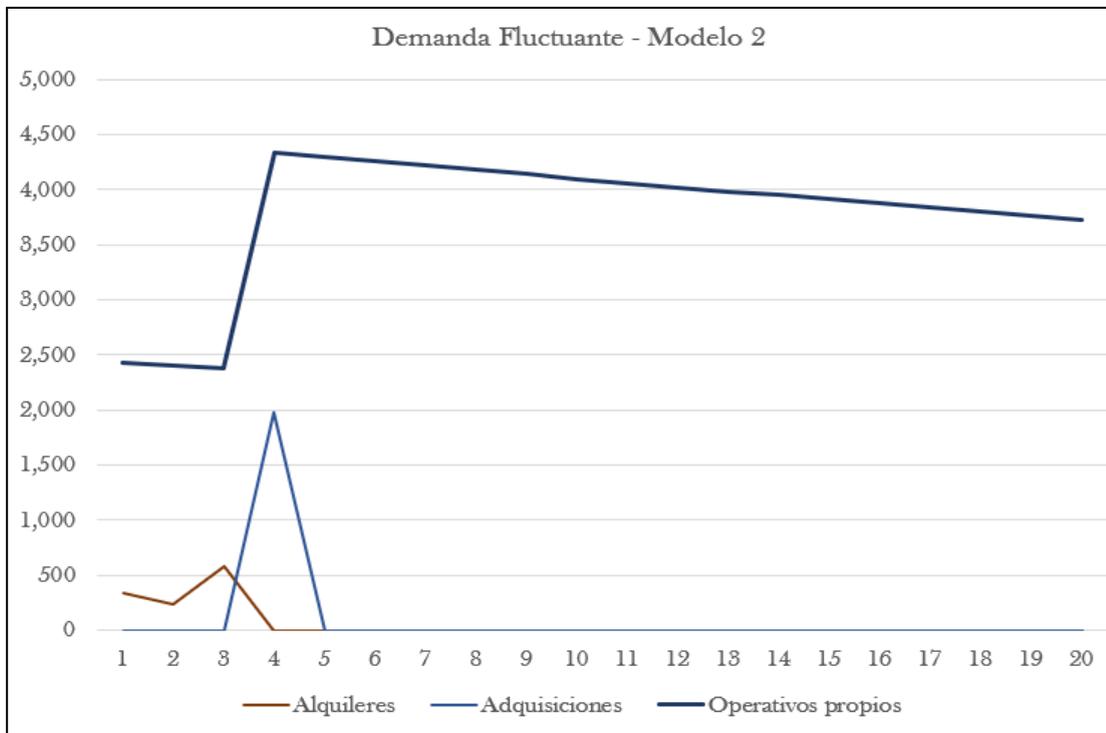


Figura N°34: evolución temporal de la proporción de vehículos alquilados sobre stock propio, ante un escenario de demanda fluctuante y con 50 períodos mensuales.

demanda operativa mínima, por lo cual no sería posible analizarlo ante un escenario de demanda fluctuante. Entonces, se tradujo la cantidad de vehículos utilizada como mínimo operativo para el modelo 1 en cantidad de kilómetros, agregando una restricción adicional que asegure que se recorra esa distancia mínima. Esta decisión se ve fundamentada en que el valor del modelo 2 es proveer el mix de flota que maximice la distancia recorrida, y limitándose a una composición determinada, el modelo no podría implementar una composición superadora en términos de distancia recorrida.

A su vez, se actualizó la restricción presupuestaria, llevándola al nivel total de gasto incurrido por el modelo 1 ante el mismo escenario de demanda fluctuante. Es decir, ambos modelos gastarán en total la misma cantidad de fondos.

Por último, también se modificó la definición de la función objetivo que el modelo maximizará. En este caso, en lugar de maximizar el valor mínimo de kilómetros recorridos en cada mes, maximizará el total de kilómetros recorridos de manera global. La motivación de esta modificación reside en que, ante un escenario de demanda fluctuante como el evaluado, forzar al modelo a asegurar un mismo nivel de kilómetros recorridos en todos los períodos resultará en una rigidez excesiva y disociada de un escenario realista como el planteado, en el cual se debe poder adaptar la distancia mensual a los valores cambiantes de demanda operativa.



T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Operativos propios	2,424	2,401	2,379	4,339	4,298	4,258	4,218	4,178	4,139	4,100	4,062	4,024	3,986	3,949	3,912	3,875	3,839	3,803	3,767	3,732
Alquilados	335	235	577	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adquiridos	0	0	0	1,982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operativos totales	2,424	2,401	2,379	6,321	4,298	4,258	4,218	4,178	4,139	4,100	4,062	4,024	3,986	3,949	3,912	3,875	3,839	3,803	3,767	3,732
Distancia	52.9	45.4	57.4	85.3	87.3	83.7	85.6	84.8	81.3	83.3	79.8	81.7	80.9	72.4	79.4	76.1	77.9	74.7	76.5	75.8
Distancia Min.	52.9	45.4	57.4	49.1	49.9	47.7	51.8	54.5	51.2	54.6	54.8	57.2	52.9	45.4	57.4	49.1	49.9	47.7	51.8	54.5

Figura N°35: evaluación del modelo 2 ante un escenario de demanda fluctuante.

La Figura N°35 ilustra los resultados de la evaluación ante el escenario de demanda fluctuante. Se puede observar que el modelo decide realizar una primera y única adquisición de alrededor de 2.000

unidades y luego no adquiere o alquila ningún nuevo vehículo. Los únicos alquileres realizados se ven en los primeros períodos, mientras se procesa la primera adquisición. Lo que este esquema refleja es que el modelo prioriza utilizar intensamente sus recursos para aumentar la distancia recorrida en los primeros períodos, y esto resulta suficiente para además cumplir con los mínimos operativos durante los meses siguientes.

La Figura N°36 demuestra la estimación de la distancia recorrida en este escenario, comparándola con el mínimo de distancia operativa incorporado como restricción. De esta forma, es posible ver que se supera el mínimo considerablemente en cada uno de los períodos evaluados. Es decir, sin exceder los fondos asignados, el modelo logra un nivel consistentemente superior de patrullaje en todos los períodos.

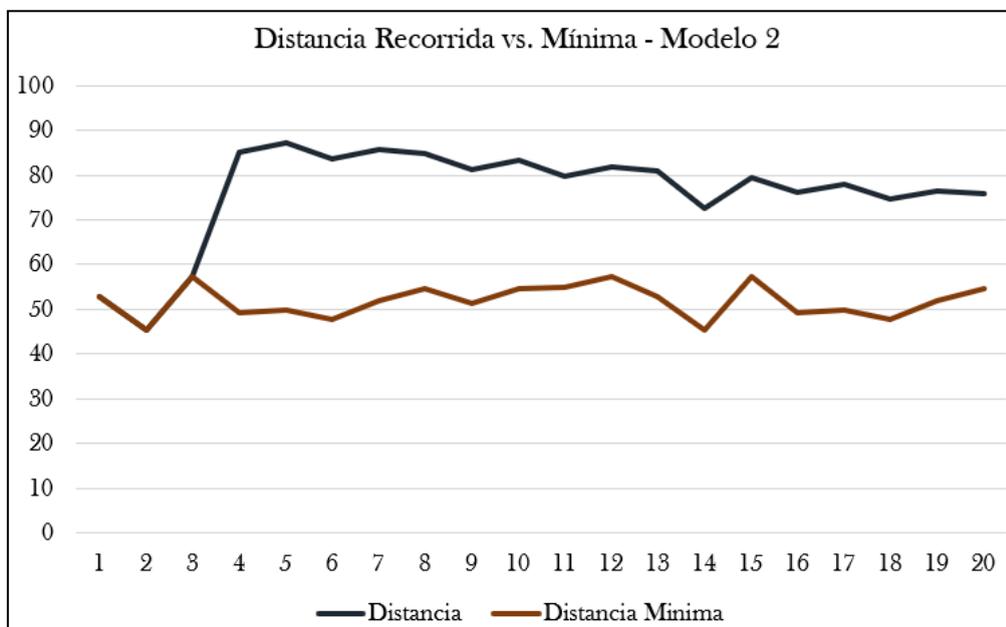


Figura N°36: evaluación del modelo 2 ante un escenario de demanda fluctuante, comparación de distancia recorrida y distancia mínima.

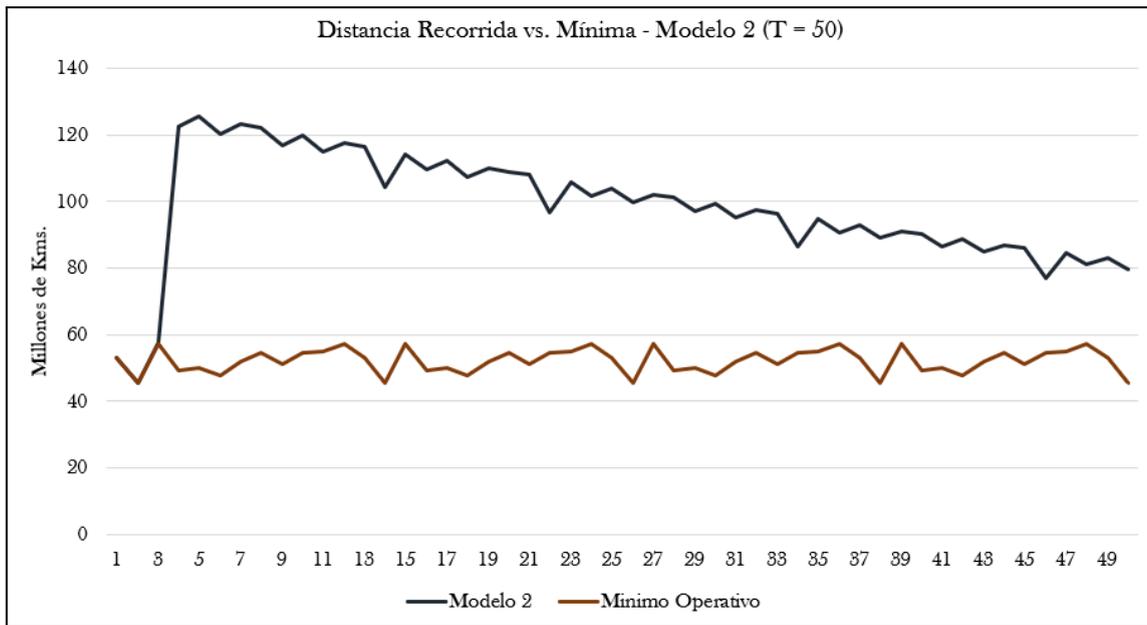


Figura N°37: evaluación del modelo 2 ante un escenario de demanda fluctuante, comparación de distancia recorrida y distancia mínima, con 50 períodos mensuales.

Adicionalmente, es relevante abordar el impacto de la selección del horizonte temporal para este modelo, para visualizar de qué manera modificaría los resultados ampliar la cantidad de períodos mensuales evaluados. La Figura N°37 demuestra la evaluación en 50 períodos mensuales. En ella es evidente que ampliar el horizonte temporal no modifica la dinámica de la evaluación anterior y que simplemente aumenta la magnitud de la adquisición inicial. Nuevamente, el modelo adquiere una gran cantidad de vehículos en el primer período disponible, y luego decide no reemplazarlos, viendo descender así la distancia recorrida mes a mes, y siendo suficiente para cumplir y exceder la distancia mínima operativa.

Como una última evaluación del modelo en escenarios de demanda cambiante, se simuló una situación de un pico extraordinario de demanda, en el cual el mínimo operativo se ve duplicado en un único mes, exigiendo al modelo ante una situación inesperada. Si bien resulta un escenario improbable, situaciones de intenso malestar social u oleadas de crimen organizado generarían posiblemente un pico de demanda similar al simulado en este caso.

La Figura N°38 ilustra los resultados del modelo evaluado ante estas circunstancias. En este caso es evidente el mecanismo que permite al modelo superar el escenario extremo. El modelo realiza una gran adquisición, de más de seis mil unidades, y un gran aumento en las unidades alquiladas, pero ello no implica que el modelo *utilice* las unidades adquiridas, como se evidencia en la serie constante de vehículos operativos propios. Evidentemente, atento al balance económico que realiza, es conveniente

cubrir la totalidad del exceso de demanda con vehículos alquilados. El problema para el modelo es que cubrir el exceso de demanda con alquileres violaría la restricción de la proporción entre vehículos alquilados y propios, por lo que para hacerlo, aumenta la cantidad de vehículos propios, manteniéndolos en estado no operativo. De esa manera, la restricción de la proporción de alquileres no se viola y la demanda se cubre con unidades alquiladas. Esta ilustración se complementa con la Figura N°39 que señala la evolución de la proporción de unidades alquiladas sobre las propias, llegando al máximo permitido en el período de mayor demanda.

Ahora, ciertamente el escenario evaluado en este caso no representa un caso de aplicación realista para el modelo construido, dado que en este caso hubiera sido económica y administrativamente más eficiente violar la restricción de proporción de flota alquilada sobre propia para atacar el pico excesivo de demanda, especialmente al ser un pico totalmente temporal. Esta situación permite destacar no sólo las limitaciones del modelo, asociado con la rigidez de sus restricciones, sino también la importancia de contar con un agente decisor humano que reconozca las ocasiones en las cuales los modelos formales pierden su utilidad y deben ser o flexibilizados o suspendidos temporalmente.

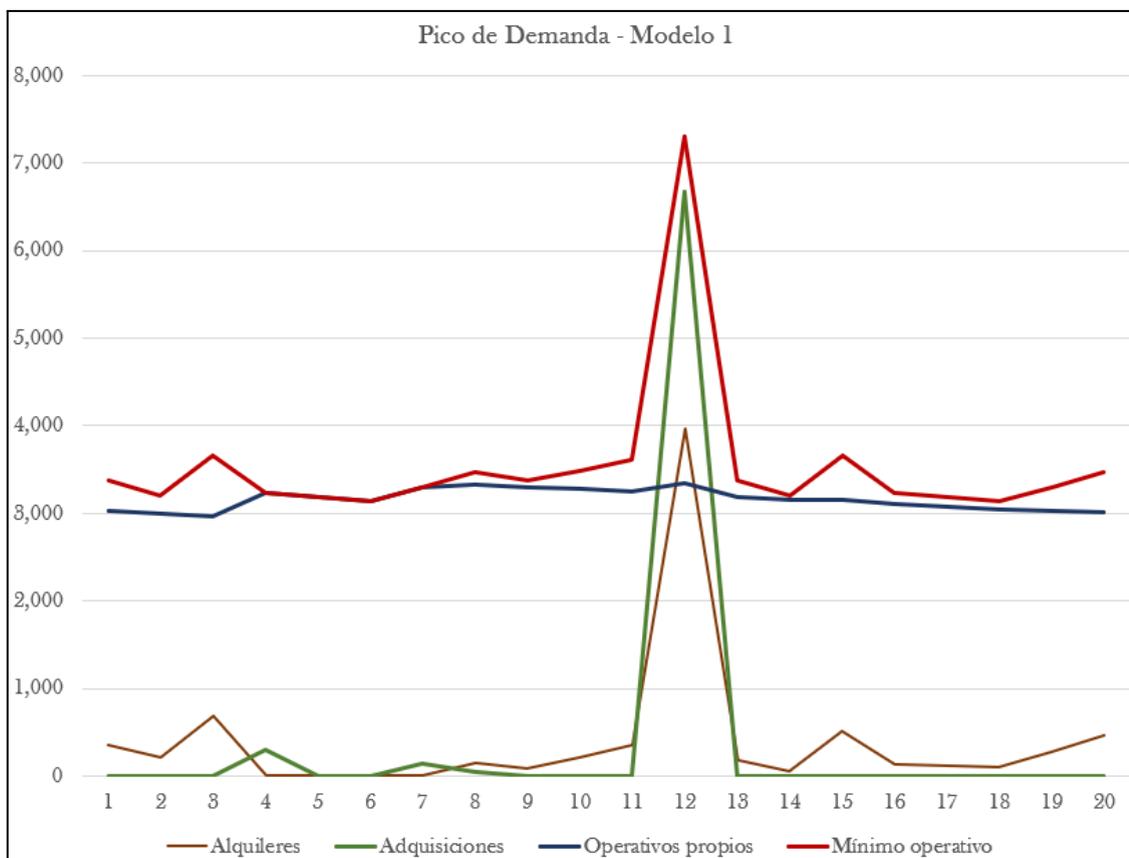


Figura N°38: evolución temporal de las decisiones del modelo 1 ante un pico de demanda en un período específico.

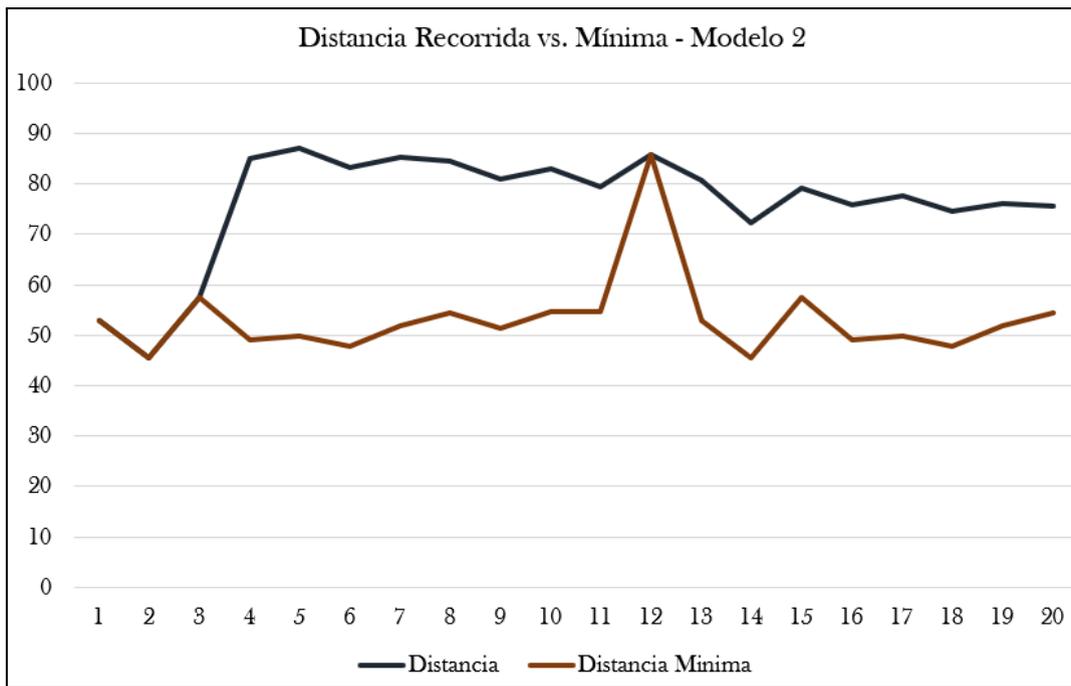


Figura N°39: evolución temporal de la proporción de unidades alquiladas sobre las propias ante un pico de demanda.

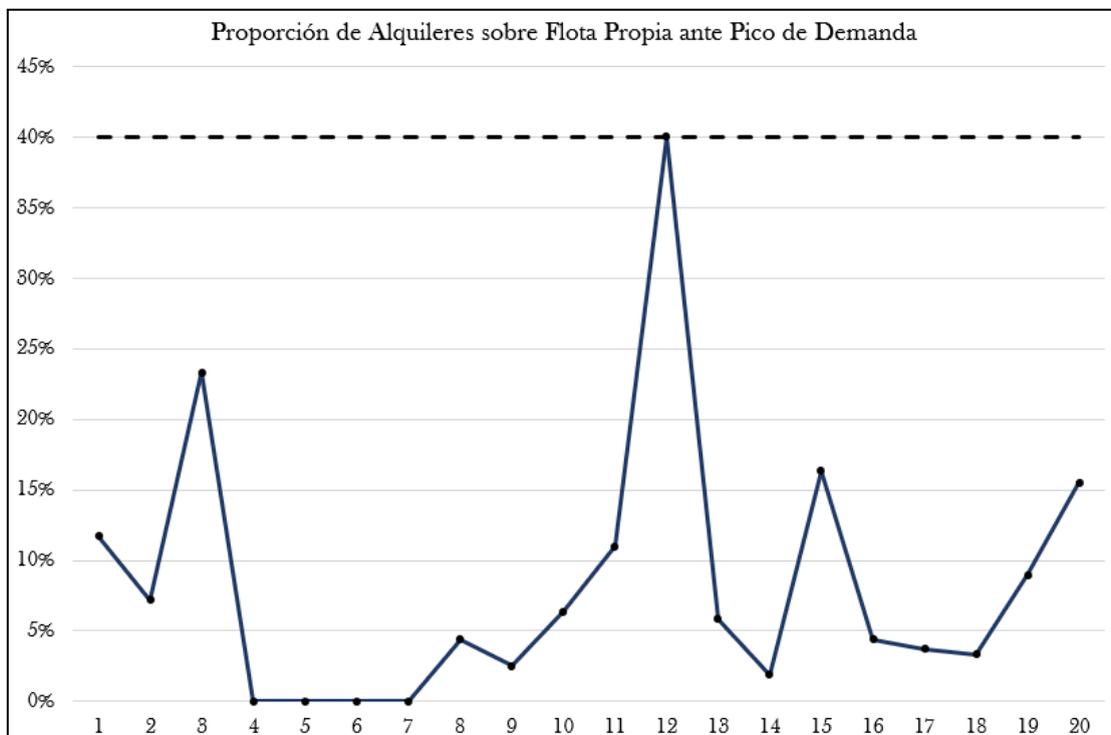


Figura N°40: evolución de la distancia recorrida por el modelo 2 ante un pico de demanda en un período específico.

Por su parte, la Figura N°40 ilustra la evaluación del modelo 2 ante el planteado escenario de pico de demanda. En este caso, se evidencia que no requiere realizar grandes incrementos en la

cantidad de unidades operativas, su maximización de la distancia recorrida resulta en un nivel similar al demandado ante el pico de demanda del período 12. Únicamente recurre al alquiler de 200 unidades en ese período, para reforzar la flota y aumentar la distancia recorrida, y luego en el próximo período procede a discontinuarlos. Es por ello que este modelo resultaría más apropiado para poder absorber fluctuaciones en la demanda operativa, consecuencia de su consistente maximización de la distancia recorrida.

6.2. Política presupuestaria

La política presupuestaria se ha considerado en las secciones previas como una condición dada de manera constante y no como un factor dinámico y determinante, pero en la gestión de cualquier organismo público es frecuente que las condiciones organizacionales de política presupuestaria sean uno de los fundamentos principales de las decisiones tomadas por sus líderes. Esto resulta aún más pertinente para el organismo que administra a la flota vehicular de la Policía de la Ciudad por la magnitud económica de las decisiones presupuestarias que debe tomar.

Específicamente se encuadra en la política presupuestaria a la distribución temporal de créditos presupuestarios y a las reglas respecto a su ejecución. Por ejemplo, en lo que refiere a la distribución temporal, resultan frecuentes reglas y regulaciones burocráticas que demandan un nivel de ejecución determinado para cada período, es decir, el organismo puede contar con un presupuesto anual aprobado, pero no es libre de distribuirlo de manera arbitraria entre los períodos mensuales, sino que debe ajustarse a distintas regulaciones. Si bien no atañe al objeto del presente trabajo detallar el proceso presupuestario y sus pormenores, sí es relevante destacar que existen condiciones exógenas presupuestarias que impactan sobre las decisiones de política de flota vehicular, y por ende es relevante también evaluar a los modelos construidos ante condiciones cambiantes de política presupuestaria.

Se evaluará un escenario en el cual los créditos presupuestarios se distribuyen de manera trimestral. En la práctica esta condición se reflejará como una restricción adicional que asegure que la suma del gasto total para cada trimestre no supere un límite superior fijo. A continuación, su expresión matemática formal para el primer trimestre:

$$\sum_{t=1}^3 g_t \leq l$$

l: límite presupuestario trimestral

A los fines de determinar un límite presupuestario trimestral realista, se tomó el nivel de gasto total registrado en la evaluación de resultados del modelo 1 y se dividió en partes iguales para cada trimestre. A su vez, se incrementó el valor obtenido en un 10%, a los fines de permitir al modelo una

mayor flexibilidad en el nivel de gasto, es decir, permitir que el nivel de gasto total exceda al mínimo obtenido sin las restricciones presupuestarias para determinar si aumentaría el gasto total y en qué medida.

La Figura N°41 ilustra el comportamiento del gasto del modelo 1 ante las restricciones presupuestarias trimestrales. La primera observación relevante es que el nivel de gasto total excede al nivel de gasto obtenido sin la restricción presupuestaria, en alrededor de U\$D 330.000. Si bien representa un aumento proporcionalmente menor, alrededor de un 1%, sí señala que incorporar una limitación que puede tener como motivación una restricción del gasto puede generar el efecto opuesto, un aumento sobre el gasto total del modelo sin esa restricción.

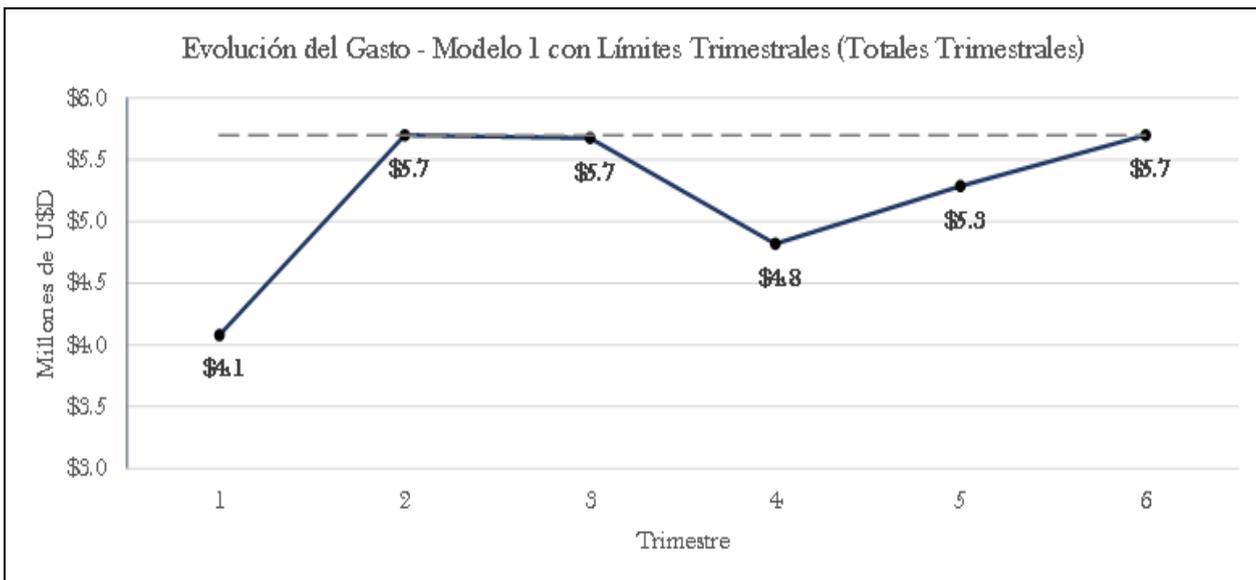
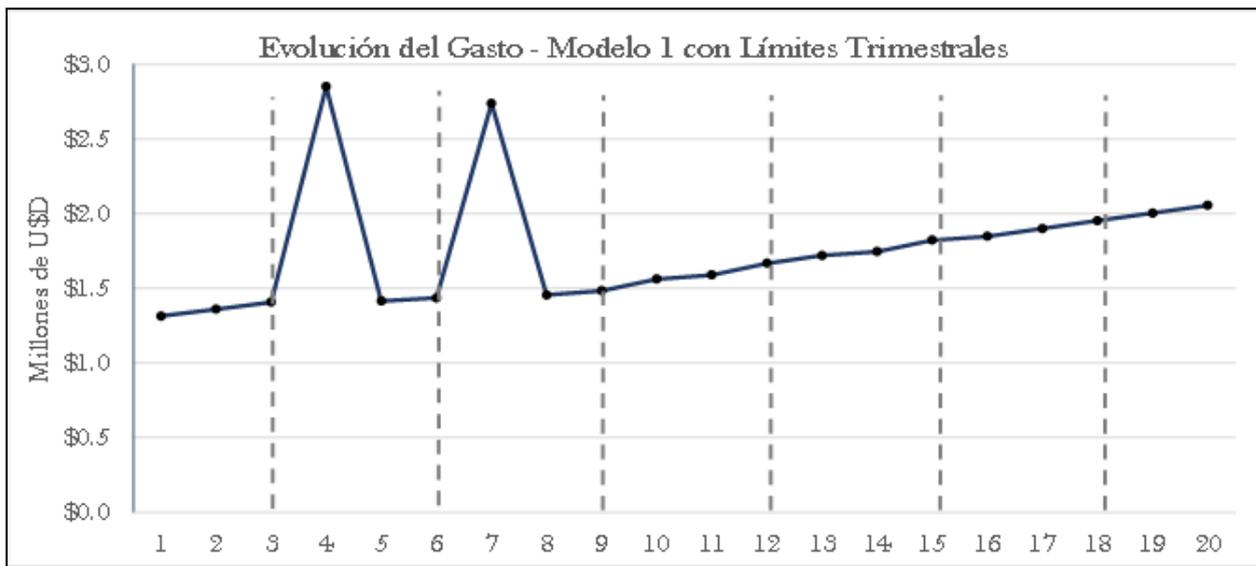


Figura N°41: evolución temporal del gasto total incurrido por el modelo 1 bajo un escenario de restricciones presupuestarias trimestrales. Gráfico superior ilustra agregación por trimestre, gráfico inferior ilustra desagregación mes a mes.

En este caso, el modelo aún persiste en su priorización de unidades alquiladas, pero a un ritmo menor que en los escenarios previos. A su vez, la adquisición de unidades es cercana a nula en todos los períodos, sin grandes adquisiciones. Los períodos de adquisición son los períodos cuarto y séptimo, claramente visualizados en la evolución gráfica del gasto, los cuales el modelo distribuye entre los trimestres segundo y tercero para evitar exceder el máximo monto trimestral. En síntesis, la limitación presupuestaria en este caso impide que el modelo tome las decisiones más eficientes en términos de gestión de flota.

Finalmente, la Figura N°42 ilustra la evaluación del modelo 2 ante un escenario de restricciones presupuestarias trimestrales. Al buscar maximizar la distancia, el modelo siempre consumirá la totalidad de los recursos financieros a su disposición, por lo cual en cada trimestre se alcanza el límite establecido como máximo. De todas formas, en línea con lo observado con la evaluación del modelo anterior, la implementación de la restricción presupuestaria trimestral resulta en una performance inferior a la observada en el modelo irrestricto. En este caso, esto se refleja en un menor nivel de distancia mensual recorrida, una reducción del 3% en la cantidad mensual de kilómetros recorridos. Una vez más, si bien no representa una reducción sustancial, sí demuestra que ante un esquema de limitaciones presupuestarias los resultados son inferiores en términos de distancia recorrida.

Desde ya, las limitaciones presupuestarias en sus distintos formatos poseen motivaciones y fundamentos válidos a la hora de gestionar organismos públicos, pero es la intención de la presente sección del trabajo ilustrar el impacto de esas decisiones sobre el desempeño de los organismos de seguridad pública, acercando también la evaluación de los modelos a escenarios realistas y con limitaciones realmente existentes en el ámbito público.

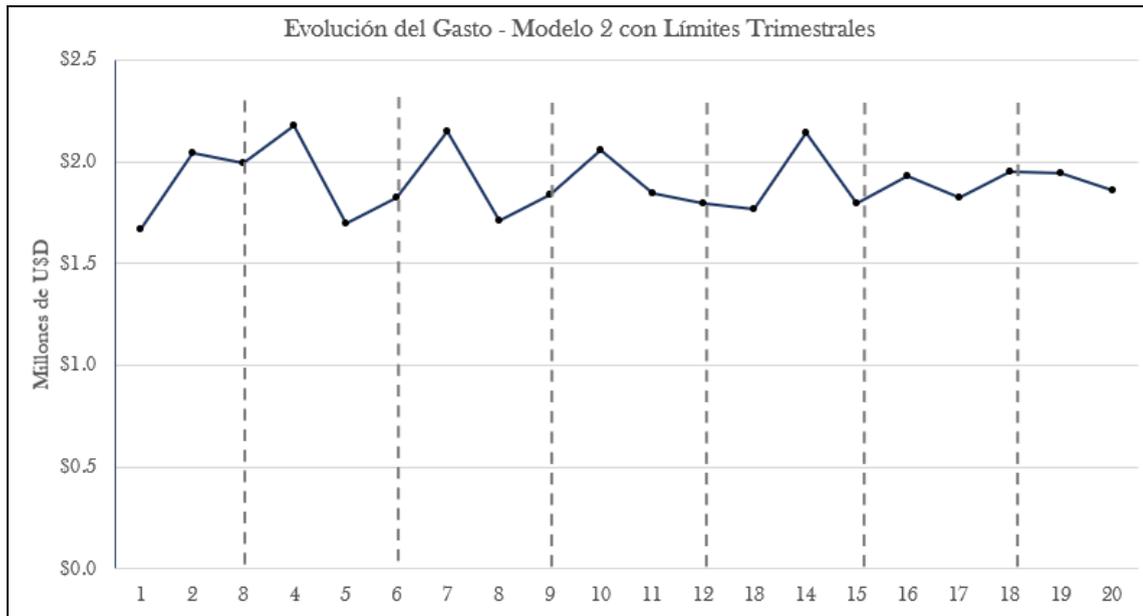


Figura N°42: evolución temporal del gasto total incurrido por el modelo 2 bajo un escenario de restricciones presupuestarias trimestrales.

7. Conclusión, Limitaciones y Oportunidades

El presente trabajo tiene como motivación principal el abordaje metódico y analítico de un problema complejo. Los ámbitos de decisión públicos no siempre reflejan transparencia y claridad en las decisiones de política pública o incluso no cuentan con procesos formales y sistemáticos para tomarlas. A su vez, la seguridad pública posee aún un manto adicional de reserva ante intentos de acceder a su mecanismo decisorio, por tratar de cuestiones de orden público y protección de la ciudadanía y el territorio.

Por esos motivos este trabajo explora esos límites a la formalización, utilizando herramientas y metodologías analíticas para construir modelos limitados pero transparentes, y con parámetros claros y medibles. Es también por la sensibilidad del área estudiada que los datos que sustentaron el trabajo fueron limitados, reflejando información parcial. Para circundar este obstáculo, se realizaron distintas estimaciones y simulaciones que, si bien redujeron la sintonía de los modelos con la realidad, permitieron completar la construcción de los modelos teóricos pero con aplicación práctica directa, aclarando en toda ocasión cuáles fueron los supuestos y aproximaciones que sostuvieron al análisis.

En esa línea, contar con una mayor granularidad de datos, respecto al estado y los movimientos de la flota vehicular del organismo, permitiría concluir en un modelo más realista y certero. Además, asociado con los obstáculos mencionados, existe el riesgo de no haber incorporado en los modelos otras

restricciones implícitas sobre las decisiones de política vehicular, limitándose a lo aproximado en base a lo señalado por el propio organismo y a otras restricciones esperables de un organismo de seguridad pública.

A su vez, también se destaca en distintos puntos de este trabajo, la alta relevancia de la elección del plazo temporal sobre el cual se evalúan los modelos. Si bien no es una limitación que pueda ser resuelta desde el propio modelo teórico, sí cabe destacar que la elección del plazo temporal tendrá un gran impacto en los resultados reales del modelo, y se verá definido por el plazo que sea de interés para el tomador de decisiones.

En síntesis, existen distintas limitaciones y obstáculos sobre los datos y suposiciones utilizados en el presente trabajo, pero de todas formas estos no impidieron la construcción de distintos modelos y la evaluación de sus resultados, demostrando que aún con información incompleta es posible crear herramientas de análisis limitadas, pero útiles para delinear el proceso decisorio.

Atento a todas las limitaciones y salvaguardas mencionadas y destacadas a lo largo del trabajo, la implementación en un entorno de gestión debe ser analizada detenidamente. Los modelos construidos no tienen como propósito reemplazar a los tomadores de decisiones ni automatizar completamente los procesos de gestión de flota vehicular. Una vez más, su propósito factible es el de proveer un *benchmark*, una referencia, ante el cual comparar las decisiones tomadas. Idealmente, es posible imaginar un escenario en el cual se realicen revisiones trimestrales de la ejecución de la política de flota vehicular, en las cuales se comparen los resultados reales por los arrojados por el modelo, y ante grandes diferencias en indicadores de desempeño, como gasto total o distancia recorrida, el organismo pueda fundamentar o explicar los desvíos.

De esa manera, los modelos tendrían no sólo un valor importante para el organismo decisor para medir su desempeño y su evolución, sino también existiría un interés en el organismo para alimentar al modelo con datos más precisos y con más información que permita refinarlo. Por ejemplo, un mayor detalle y formalización de todas las condiciones que realmente restringen a la política de flota. Así, un modelo con un mayor alcance y visión del entorno decisorio real alcanzará mejores resultados y, potencialmente, constituirá una mejor herramienta para fomentar la rendición de cuentas de las decisiones tomadas.

Una de las oportunidades de investigación a futuro atañe a la incorporación de una tasa de descuento. Los modelos construidos abordan centralmente la toma de decisiones respecto a la administración de la flota vehicular, con impacto directo en el uso de recursos económicos a lo largo de un plazo temporal y por ello es de importancia considerar la relevancia de la incorporación de una tasa

de descuento que permita evaluar si el uso de los recursos es el más eficiente si se considera el uso alternativo que podría dárseles.

Uno de los desafíos principales al considerar la incorporación de una tasa de descuento resulta en el uso que el organismo público a cargo de la administración vehicular puede darle a los recursos económicos. El organismo no tiene libre disponibilidad de la totalidad de los fondos asignados durante el curso del período fiscal anual, y tampoco tiene la posibilidad de deferir en el gasto del presupuesto asignado a los fines de recibir retornos por esos fondos. Si bien el foco central de este trabajo no es la política presupuestaria global del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, ella impacta en el escenario real de la implementación de los modelos, como se introdujo en la consideración de restricciones trimestrales sobre el gasto. En el marco de esa política presupuestaria, el organismo se ve limitado en la disponibilidad y uso de los recursos asignados.

De todas formas, es relevante para trabajos futuros la implementación de un modelo de optimización ya no sobre el gasto de un organismo gubernamental específico, como en el caso policial, sino ya sobre la administración global del presupuesto hacia las distintas agencias de gobierno, con sus demandas y requerimientos particulares. En un escenario como tal, la implementación de una tasa de descuento resulta fundamental, dado que la autoridad presupuestaria tiene frente a sí la posibilidad de asignar los fondos para ser utilizados o utilizarlos para obtener un retorno puntual, e incluso la posibilidad de acudir a fuentes de financiamiento externo, posibilidades que la agencia administrativa policial no posee.

En el caso de incorporar una tasa de descuento como tal en trabajos futuros, o si se quisiera evaluar conceptualmente cómo afectaría esa incorporación, podrían modificarse las restricciones de gasto total del siguiente modo:

$$\text{Gasto total}/(1 + r)^{t-1}$$

Así, el gasto sería ajustado según esa tasa, y los resultados asegurarían la optimización del uso de los fondos considerando la posibilidad de obtener un retorno por no utilizarlos

Existe una considerable variedad de estudios centrados en la aplicación de técnicas de programación lineal entera para la gestión de flotas vehiculares y para la ejecución de planes de reemplazo de vehículos, tanto para organizaciones públicas como privadas. A su vez, se han estudiado las flotas de los organismos de seguridad pública, principalmente para desarrollar técnicas de despliegue territorial en tiempo real, optimizando la respuesta ante emergencias y fluctuaciones imprevistas en niveles de criminalidad o de otro tipo.

De todas formas, aún existen oportunidades para profundizar la formalización de la toma de decisiones de organismos públicos de seguridad a través de métodos de programación lineal entera. Existen potenciales oportunidades de investigación en el modelado de decisiones públicas, tal vez en ámbitos que excedan al de la seguridad pública, que detallen con mayor certidumbre las variables y restricciones relevantes y que, fundamentalmente, evalúen distintos escenarios externos e internos y su impacto en el desempeño final. Las áreas de decisión pública cuentan con el componente agregado de impactar directamente sobre la ciudadanía en áreas críticas, como en este caso la seguridad, y es por ello que debería buscar alcanzarse siempre un mayor grado de escrutinio sobre sus decisiones y sus mecanismos de decisión, recayendo sobre los investigadores el desafío de formalizar ámbitos complejos y dinámicos.

Por último, las oportunidades también residen en detectar factores transversales a distintas organizaciones públicas, excediendo ya el foco en ámbitos específicos. Centralmente, factores presupuestarios y distintos métodos de planificación, aprobación, ejecución y monitoreo del presupuesto, tendrán definitivamente un gran impacto en las decisiones públicas, resta establecer en qué medida, en qué dirección y ante qué condiciones externas.

8. Bibliografía

- Arifin, D., & Yusuf, E. (2017, June). Replacement model of city bus: A dynamic programming approach. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1855, No. 1). AIP Publishing.
- Bellman, R. (1955). Equipment replacement policy. *Journal of the society for industrial and applied Mathematics*, 3(3), 133-136.
- Drexl, A., & Kimms, A. (1997). Lot sizing and scheduling—survey and extensions. *European Journal of operational research*, 99(2), 221-235.
- Etezadi, T., & Beasley, J. E. (1983). Vehicle fleet composition. *Journal of the Operational Research Society*, 34, 87-91.
- Feng, W., & Figliozzi, M. (2014). Vehicle technologies and bus fleet replacement optimization: Problem properties and sensitivity analysis utilizing real-world data. *Public Transport*, 6, 137-157.
- Hartman, J. C. (1999). A general procedure for incorporating asset utilization decisions into replacement analysis. *The Engineering Economist*, 44(3), 217-238.
- Keles, P., & Hartman, J. C. (2004). Case study: bus fleet replacement. *The Engineering Economist*, 49(3), 253-278.
- Klosterhalfen, S. T., Kallrath, J., & Fischer, G. (2014). Rail car fleet design: Optimization of structure and size. *International Journal of Production Economics*, 157, 112-119.
- Li, H., & Pan, D. (2018). Optimizing fleet composition and size under uncertainty in urban transit systems. Ames, IA: Institute for Transportation, Iowa State University.
- Li, J., Lai, K. K., & Lin, Q. (2019). Robust optimization solution to emergency mobile facility fleet size and location. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1-11.
- Nash, C. A. (1976). The replacement of road transport vehicles. *Journal of Transport Economics and Policy*, 150-166.

Piccoli Bornia, P. J. (2021). Utilización de técnicas analíticas para medir el impacto de las fronteras jurisdiccionales en la performance de la policía de la Ciudad de Buenos Aires [Tesis de Maestría, Master in Management + Analytics, Universidad Torcuato Di Tella].

Russell, J. C. (1982). Vehicle replacement: a case study in adapting a standard approach for a large organization. *Journal of the Operational Research Society*, 33, 899-911.

Viveros, R., & Salazar, E. (2010). Modelo de planificación de producción para un sistema multiproducto con múltiples líneas de producción. *Revista ingeniería de sistemas*, 24.