



# Utilización de técnicas analíticas para medir el impacto de las fronteras jurisdiccionales en la performance de la policía de la Ciudad de Buenos Aires



**Autor: Pablo José Piccoli Bornia**

**Tutor: Juan José Miranda Bront**

Master's in Management & Analytics

Universidad Torcuato Di Tella

Junio 2021

## Resumen ejecutivo

Es conocido que la inseguridad es un problema que preocupa al grueso de la opinión pública de la República Argentina. Frente a este contexto, y como parte de la política de apertura de datos públicos, el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires lleva registro metódico y detallado de eventos de distinta índole relacionados con el accionar de la policía, con registros disponibles desde el año 2016. Casi en simultáneo, durante 2018 se produjo un cambio sustancial respecto a los límites de acción del personal policial mediante la unificación de los límites jurisdiccionales de las comisarías con los límites comunales.

Este cambio regulatorio puede tener implicancias en términos operativos, eventualmente impactando en la práctica en la efectividad, calidad y celeridad de la respuesta. Por esta razón, esta tesis busca proveer una primera aproximación metodológica al problema de cuantificar el impacto práctico, operativo y en la gestión de recursos del cambio de regulación basada principalmente en datos abiertos. El problema es abordado desde 3 ópticas diferentes a la misma pregunta: ¿qué tanto puede mejorar la performance de la policía de la ciudad si se deja actuar a los efectivos independientemente de la jurisdicción? Las ópticas a tener en cuenta serán: resolución de urgencias, considerando ciertos aspectos operativos; la relocalización de comisarías, mediante un ejercicio hipotético que analiza la disposición actual de las comisarías en relación a la cobertura del territorio; y un enfoque táctico, a fin de evaluar impacto en relación a las comisarías en conjunto con un enfoque orientado a una policía de cercanía. Como parte del trabajo se realizó un análisis descriptivo detallado, incluyendo el desarrollo de un prototipo de panel de control para explorar los datos. En términos metodológicos, se consideraron algoritmos y modelos de optimización específicos para cada etapa. A modo de resumen, nuestros resultados preliminares sugieren que existen áreas donde la cobertura policial es escasa y que la flexibilización de los límites intercomunales para el personal de cercanía podría traducirse en una mejora en los tiempos de respuesta.

## Abstract

*It is known that criminal insecurity is a problem that worries most of people in the Argentine Republic. With this in mind, and as part of the policy of opening public data, the Government of the City of Buenos Aires keeps a methodical and detailed record of events of different kinds related to the actions of the police, with records available since 2016. Almost simultaneously, during 2018 there was a substantial change regarding the limits of action of police personnel through the unification of the jurisdictional limits of the police stations with the communal limits.*

*This regulatory change may have implications in operational terms, eventually impacting in practice the effectiveness, quality and speed of the response. For this reason, this thesis seeks to provide a first methodological approach to the problem of quantifying the practical, operational and resource management impact of regulatory change based mainly on open data. The problem is approached from 3 different points of view to the same question: how much can the performance of the city police improve if the police are allowed to act regardless of jurisdiction? The optics to take into account will be: emergency resolution, considering certain operational aspects; the relocation of police stations, through a hypothetical exercise that analyzes the current disposition of police stations in relation to the coverage of the territory; and a tactical approach, in order to evaluate the impact in relation to the police stations in conjunction with an approach oriented towards a local police force. As part of the work, a detailed descriptive analysis was carried out, including the development of a control panel prototype to explore the data. In methodological terms, specific optimization models and algorithms were considered for each stage. In summary, our preliminary results suggest that there are areas where police coverage is scarce and that the relaxation of intercommunal limits for proximity personnel could mean an improvement in response times.*

## Contenido

Resumen ejecutivo .....	1
Abstract .....	2
Introducción .....	5
Revisión bibliográfica .....	9
Datos .....	10
Datos originales.....	10
Base de crímenes .....	10
Base de comisarías .....	11
Base catastral AGIP .....	11
Base de superficies.....	11
Base de población comunal .....	11
Base censal 2010.....	12
Datos adicionales .....	12
Base de facilities.....	12
Base de crímenes agregados.....	12
Base de población .....	13
Análisis exploratorio.....	14
Análisis preliminar.....	14
Análisis de siniestros viales .....	15
Análisis de crímenes:.....	19
Tablero de Bi .....	22
Hoja 1: Mapa interactivo.....	23
Hoja 2: Análisis temporal .....	24
Creación de la instancia agregada y generación del mapa de calor .....	25
Enfoque de resolución de urgencias .....	28
Realidades, suposiciones, convenciones.....	29
Método.....	30
Resultados.....	31
Observaciones .....	31
Sobre las reales urgencias .....	36
Enfoque de relocalización de comisarías .....	40
Realidades, suposiciones, convenciones.....	41
Modelo .....	41
Resultados.....	42
Observaciones generales .....	43

Experimento: Cambio de performance de modelos de relocalización dependiendo de la cantidad de comisarías.....	51
Propuesta y trabajo a futuro: no sólo importan las distancias .....	53
Enfoque táctico .....	55
Realidades, suposiciones, convenciones.....	56
Modelo .....	57
Resultados .....	58
Observaciones .....	59
Discusión y potencialidad del análisis .....	64
Puntos en común entre enfoques e implicancias en la gestión.....	66
Causalidad entre ocurrencia de un crimen y cercanía a un facility: una oportunidad de extensión.....	67
Conclusión .....	69
Bibliografía .....	70
Anexo 1: Mapa de antiguas seccionales policiales.....	72
Anexo 2: Estimaciones del enfoque táctico .....	73
Anexo 3: Flujo de trabajo para los enfoques táctico y de relocalización de comisarías .....	74
Anexo 4: Tablas de gap y tiempo de resolución para las 3 situaciones del enfoque táctico .....	76

## Introducción

La inseguridad es un problema que aqueja a la sociedad y ocupa un lugar destacado en el debate público. Según la encuesta nacional de victimización [I] publicada por el INDEC en el año 2017, el 19,9% de los ciudadanos mayores a 18 años encuestados sufrió un delito contra las personas (robos, hurtos, agresiones, etc) mientras que el 13,6% de los hogares encuestados sufrió delitos contra el hogar (entraderas, saqueos, etc.). Asimismo, la seguridad es una recurrente preocupación que las personas contemplan a la hora de elegir representantes junto con la inflación.[II]

Por motivos netamente demográficos (densidad poblacional, cantidad de actividad económica y centralización del poder; entre otras) la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) es una de las ciudades del país donde se registra un mayor índice de delincuencia. En el informe del INDEC citado previamente, se muestra que la CABA posee uno de los índices más altos de prevalencia de crímenes contra las personas del país, solo superada por Tucumán y por Salta.

Con el fin de abordar esta temática, la CABA ha desarrollado en los últimos años una serie de medidas. Entre ellas se destacan 2, que serán de vital importancia para el desarrollo de la presente tesis:

- Creación del Sistema Integral de Seguridad Pública[III]: Sistema que nace en 2017 junto con la creación de la Policía de la Ciudad como ente. Consta de la articulación de distintos recursos: móviles, armamento, recursos humanos, tecnología; y tiene como objetivo principal optimizar la performance de la Policía. Como parte de este sistema se desarrolló la herramienta “Mapa del Delito”[IV], de cuyos datos se nutre esta tesis.
- Unificación de límites jurisdiccionales con los límites comunales[V]: en el año 2018 se dejó atrás el sistema antiguo de 54 comisarías barriales para dar paso al sistema de 15 comisarías comunales y 38 vecinales, y las fronteras comunales pasaron a ser las mismas que las fronteras jurisdiccionales de la Policía de la Ciudad. A la vez, se implementó el enfoque de “cercanía con el vecino”: más policías en las calles y menos dentro de las comisarías.

El enfoque anterior a esta segunda medida fue heredado de la Policía Federal, las 54 comisarías estaban organizadas en ocho *seccionales* (concepto que cayó en desuso), tal como se detalla en el mapa del *Anexo 1*. Estas seccionales respondían a criterios geográficos distintos a la división comunal: por citar un ejemplo, la antigua seccional séptima englobaba las comunas 10,11 y 12.

Luego de que el Gobierno de la Ciudad decretara la creación del nuevo Sistema Integral de Seguridad Pública mediante la ley 5.688 [VI], ayudándose de distintas herramientas (entre ellas el Mapa del Delito) se sancionaron las resoluciones 639 y 640 [VII][VIII] que anulan las divisiones interjurisdiccionales existentes hasta ese momento (mostradas en el *Anexo 1*) y decretan que los límites jurisdiccionales serán coincidentes con los límites comunales (división política de varios años de antigüedad, oficializada mediante las leyes 1777 y 2650 [IX][X]). Esta reasignación de límites jurisdiccionales implicó también una reducción en la cantidad total de comisarías, lo que supone una optimización de recursos y, según la propia fuerza, “la transición desde un enfoque administrativo hacia uno operativo”. [XI]

Todas estas medidas dan cuenta de la intencionalidad del gobierno porteño de mejorar operativamente la institución policial. Siguiendo esta línea, resulta interesante analizar la temática con herramientas analíticas para cuantificarla y evaluarla, ejecutando luego modelos de optimización basados en datos para responder interrogantes de índole operativa.

Es por esto que el objetivo de la presente tesis es plantear (e intentar responder) el siguiente interrogante: **¿Qué tanto mejoraría la performance de la policía si, en lugar de obedecer límites jurisdiccionales, los efectivos fueran capaces de moverse y actuar libremente por toda la ciudad?** Esta pregunta fundamental se puede ver como “un paso más allá” de lo que el Gobierno de la Ciudad estuvo implementando hasta ahora: pasar de un sistema de seccionales a otro de comunas y de un sistema de comunas a otro donde toda la ciudad se comporte como una sola jurisdicción.

A su vez, este interrogante no posee una sola manera de ser abordado. El accionar policial en si mismo es una actividad multidisciplinaria donde se junta lo social/perceptivo con lo operativo y fríamente cuantificable. Incluso dentro de una mirada operativa hay distintas maneras de abordaje, dependiendo de lo que se esté priorizando. En el caso de la presente tesis, se plantearon estos 3 escenarios:

- **Respuesta frente a la urgencia:** se analiza que tanto más rápido la policía podría responder a una urgencia si los efectivos no tuviesen que respetar límites jurisdiccionales (comunales). Este análisis se enfoca en la rapidez de la respuesta con una mirada cortoplacista.
- **Relocalización de comisarías:** se relocalizan las comisarías teniendo en cuenta un modelo de *p*-median. Se corre el mismo modelo para la situación en que los efectivos deben respetar límites comunales y para la situación en que son libres de desplazarse intercomunalmente. Se analiza el tiempo de respuesta en cada caso. El principal interés de este enfoque es intentar descubrir que tan bien se cubre el territorio hoy en día.
- **Enfoque táctico:** se modela el problema considerando un modelo tipo Facility Location que contempla la distancia recorrida por un patrullero para atender un crimen y, además, el costo de comprar y mantener el patrullero en cuestión. Al igual que en los puntos anteriores, el modelo se evalúa tanto para la situación en la que la unidad debe respetar los límites comunales como en la que no. Como lo dice su nombre, el principal interés de este enfoque radica en encontrar resultados de índole táctico que den cuenta de qué manera le conviene a la Policía de la Ciudad desplegar sus recursos en el territorio.

Como se puede apreciar, parte de la riqueza del trabajo radica en que cada enfoque es abordado de manera distinta, no sólo en lo que a concepto implica, si no también matemáticamente hablando. El primer enfoque se basa en un algoritmo secuencial, el segundo en un modelo de optimización de tipo *p*-median y el tercero en un modelo de optimización tipo facility location.

Los modelos *p*-median son modelos en los cuáles se localizan *p* puntos dentro de *P* puntos posibles, de manera de que se satisfagan *N* demandas al menor costo; entendiéndose el costo como la distancia total entre esos puntos y las demandas. Son modelos que se suelen utilizar para problemas donde el único factor a contemplar es la distancia con los clientes (localización de potenciales centros de vacunación, localización de propagandas en la vía pública, etc). Cuando se habla de modelos de *facility location*, lo que esto implica es la incidencia de otros

factores además de la distancia con los clientes. Usualmente no son problemas limitados por un número  $p$  fijo de puntos a fijar (aunque puede que sí) y, la principal diferencia, es que en la función objetivo se suele contemplar también el costo de instalación: cuánto cuesta localizar un punto entre los  $P$  disponibles. En el caso particular de esta tesis, el modelo de facility location utilizado también contempla la capacidad de atención de clientes de cada punto. Esta clase de problemas se suele plantear para la instalación de nodos logísticos: galpones, centros de empaque de mercadería, estaciones de servicio, etc.

Claramente *flexibilizar* jurisdiccionalmente a una fuerza policial lleva de la mano una serie de problemas burocráticos, administrativos y políticos difíciles de cuantificar monetariamente. Nuestro objetivo con este trabajo no es proveer una conclusión absoluta en ese sentido, sino que debe ser complementado con un estudio que cuantifique el costo de llevar a cabo semejante reforma.

Un ejemplo de estos potenciales problemas burocráticos podría implicar la coordinación con los organismos que no forman parte de la institución policial pero que participan en el proceso penal asociado a un crimen/siniestro: Ministerio Público Fiscal (Fiscales), Defensorías del pueblo y Juzgados de Primera Instancia/Cámara de Apelaciones/Tribunal Superior de Justicia (a medida de que las causas escalan). En el caso de las 24 defensorías de la CABA y los organismos que se encargan de dictaminar el veredicto (juzgados y sus etapas superiores), no existen jurisdicciones de índole geográfica: son comunes a toda la CABA. Pero en el caso de las fiscalías (Ministerio Público Fiscal), el panorama cambia. Los fiscales son aquellos que se encargan de investigar y de acusar ante un juez en caso de un delito, y, *dependiendo de donde se haya cometido el mismo*, el proceso penal debe continuarse en alguna de de estas jurisdicciones[XII][XIII]:

- Unidad Fiscal Norte: Delitos cometidos en comunas 12,13,14 y 15.
- Unidad Fiscal Sur: Delitos cometidos en comunas 4,8 y 9.
- Unidad Fiscal Este: Delitos cometidos en comunas 1,2,3 y 5.
- Unidad Fiscal Oeste: Delitos cometidos en comunas 6,7,10 y 11.

Claramente, la eliminación de fronteras podría traer aparejado problemas organizacionales entre estas 2 instituciones (Policía de la Ciudad y Ministerio Público Fiscal) que obligadamente deben trabajar en conjunto.

Argentina está pasando en este momento por una de las peores recesiones de su historia. Durante el 2020 la actividad económica bajó en un 36% y el PBI cayó en un 9,9% [XIV]. A eso se le debe sumar que en Noviembre del 2020 el gobierno Nacional decretó que la ciudad percibiría un porcentaje menor de la coparticipación [XV], decisión que implicará la disposición de una menor cantidad de recursos económicos por parte de esta.

Frente a estas situaciones de escasez económica generalizada, la optimización como disciplina toma relevancia, ya que el objetivo de esta (como su nombre indica) es conseguir resultados óptimos en función de una métrica relevante para el problema de negocio o gestión. En este análisis estas métricas serán distancia total recorrida por patrulleros y costo monetario, dependiendo de cuál de los 3 enfoques de la tesis consideremos.

El objetivo con este trabajo es no solo responder una pregunta concreta sino también mostrar la utilización de metodologías alternativas no utilizadas comúnmente en la toma de decisiones y que habiliten un primer acercamiento con un nuevo enfoque basado en modelado y optimización.



Como último comentario, el lector verá que a lo largo de la obra muchos parámetros fueron calculados en base a estimaciones. Esto se debe, básicamente, a que, a pesar de ser un organismo de carácter público, la Policía de la Ciudad maneja una cierta reserva a la hora de dar a conocer públicamente los detalles de su trabajo. Esto es lógico, ya que, de no ser así, se podría sacar ventaja de esta información sensible para cometer actos delictivos o evadir la Ley. Por ejemplo: no hay datos abiertos con rutinas de patrullaje, ni itinerarios, ni bases donde se contemplen las ubicaciones de garitas y cámaras fijas.

## Revisión bibliográfica

Existe una amplia literatura en lo que respecta a usar modelos de optimización para la resolución de problemas que involucran localización de recursos públicos sobre el territorio. Adler, Hakkert, Kornbluth, Raviv & Sher (2013) [XVI] consideran cuatro modelos de covering (cada uno contemplando distintas funcionalidades y aumentando gradualmente en complejidad) para maximizar el tráfico vehicular que pase a través de los puestos de control de la policía vehicular. El objetivo es elegir un número dado de locaciones donde ubicar los puestos de control de un conjunto conocido de antemano..

La presente construye sobre el trabajo de Chow, Cheung & Yoon (2015) [XVII] y, de hecho, lo emula parcialmente tomando en gran medida datos abiertos de la CABA. En este paper los autores formulan dos modelos de optimización para relocalizar las comisarías de Londres: uno tipo  $p$ -median y otro de maximum coverage. Una adaptación del modelo de  $p$ -median es considerado en este trabajo, donde se contemplaron algunas características particulares del contexto.

Como ejemplo en el ámbito local del uso de técnicas de optimización para resolución de problemas en la esfera pública se puede citar a Duran, Giormenti, Guajardo, Pinto, Rey & Stier-Moses (2017) [XVIII]. En su trabajo, estos investigadores exploran la optimización en el proceso de voto presencial en la CABA, ya que el tiempo de ejecución de esta tarea (el voto) al igual que la lejanía de la vivienda del votante con su escuela electoral son factores clave en la asistencia a este acto democrático. En este paper, los autores consideran 2 modelos de optimización de tipo asignación: uno que pretende minimizar la distancia de los votantes con sus escuelas electorales y otro que minimiza el tiempo de votación (transforma la distancia en tiempo mediante una constante y le agrega factores como el tiempo de fila, la cantidad de urnas por colegio, etc.).

En términos metodológicos, gran parte de este trabajo se basa en la formulación y resolución de modelos para ubicación de recursos, comúnmente conocidos como *Location Science* o *Location Problems*. Klose y Drexler (2003)[XIX] repasan de manera intensiva todas las variantes de facility location conocidas hasta el momento. Más recientemente, Daskin (2013) [XX] y Laporte, Nickel & Saldanha Da Gama (2015) [XXI] proveen excelentes revisiones actualizadas respecto a distintas variantes de estos problemas, incluyendo aplicaciones, algoritmos y desafíos metodológicos. En este trabajo se consideran dos tipos de problemas en particular:  $p$ -median y *Capacitated Facility Location*. Ambos problemas pertenecen a la clase NP-Hard, y por lo tanto representan un desafío en términos del desarrollo de algoritmos exactos. Ejemplos de algoritmos exactos propuestos recientemente en la literatura para *Location Problems* pueden verse en Fischetti, Ljubic & Sinnl (2016) [XXII] para Capacitated Facility Location Problem y Kramer, Iori & Vidal (2020) [XXIII] para el  $p$ -center problem. Guastaroba & Speranza (2016) [XXIV] proponen una heurística híbrida basada en Programación Lineal Entera para el Capacitated Facility Location Problem. Es importante remarcar que la contribución de este trabajo no está enfocada en proponer mejoras algorítmicas para estos problemas sino en la utilización de los mismos en un contexto particular de gestión. Sin embargo, desarrollos similares a los mencionados anteriormente podrían ser de gran utilidad práctica en etapas posteriores.

## Datos

En esta sección se busca informar al lector acerca de la información usada para los distintos análisis matemáticos ejecutados a lo largo de la tesis. La mayoría de esta información es de carácter público y la única base que no responde a ese criterio (base catastral de AGIP) fue despojada de todo tipo de contenido sensible, de manera de sólo utilizar latitudes y longitudes carentes de significado *per se*.

### Datos originales

#### Base de crímenes

A partir de datos abiertos brindados por la ciudad [XXV] se utilizan 4 bases de datos que detallan todos los eventos registrados en la CABA en el período que contempla desde el año 2016 al 2019. Los 4 archivos fueron compilados en una sola base maestra.

Los campos originales de esta base contemplan:

- **Id** (numeric): Número único que identifica al crimen en cuestión
- **Fecha** (date): Día, mes y año en el que ocurrió el hecho. Contempla 4 años enteros: 2016, 2017, 2018 y 2019.
- **Franja\_horaria** (numeric): Hora en la que ocurrió el hecho.
- **Tipo\_delito** (character): Robo (con violencia), Homicidio, Hurto (sin violencia) y Lesiones.
- **Subtipo\_delito** (character): Doloso, Siniestro vial, Robo y hurto automotores.
- **Comuna** (numeric): Del 1 al 15, representa las 15 comunas de CABA.
- **Barrio** (character): Los nombres de los 48 barrios porteños
- **Cantidad\_registrada** (numeric): La cantidad de crímenes que representa ese registro.
- **Lat** (numeric): Latitud del evento.
- **Long** (numeric): Longitud del evento.

A estos campos se le agregaron 4 más. La razón por la cual se realizó este pretratamiento de la base es porque luego estos campos serán utilizados para calcular métricas de interés en la subsección *Análisis preliminar* de la Sección *Análisis Exploratorio* de la presente tesis. Luego, los campos agregados son :

- **Día** (character): “lunes”, “martes”, “miércoles”, “jueves”, “viernes”, “sábado” o “domingo”.
- **¿Noche?** (character): Si la franja horaria va de 20 a 23 o de 0 a 6; “Si”. De otra manera “No”.
- **¿Fin de semana?** (character): Si es viernes, sábado o domingo; “Si”. De otra manera, “No”
- **Sigla\_alfa** (numeric): Contador de semanas, desde la primera semana del 2016 (0) hasta la última del 2019 (209).

En la operatoria, no se tienen en cuenta la semana 0 ni la 209 ya que no son semanas completas. También se eliminan del análisis los registros que figuran como siniestros viales. La lógica frente a esto es que son azarosos y sin dolo, por lo tanto no corresponde englobarlos dentro del

fenómeno de la inseguridad. Por último (y por obvias razones) se desestiman los registros que posean NAs en los campos de latitud/longitud.

En conclusión, de los 448541 registros originales de esta base, se trabaja con 447047 luego de este preprocesamiento.

### Base de comisarías

Esta base también forma parte de los datos abiertos que la ciudad brinda a todo aquel que desee accederlos. Posee 49 registros: 43 correspondientes a las comisarías actualmente en actividad, tanto vecinales como comunales, y 6 registros correspondientes a comisarías que están a cargo de hacienda. El hecho de que un edificio público quede a cargo de hacienda implica que no está en actividad por el momento, pero que sigue perteneciéndole a la CABA. En los análisis realizados se contemplan las 49 locaciones, independientemente de que estén en funcionamiento o no.

Los campos originales de esta base contemplan:

- **Id** (numeric): Número único que identifica a la comisaría en cuestión
- **Comuna** (numeric): Del 1 al 15, representa las 15 comunas de CABA.
- **Barrio** (character): Los nombres de los 48 barrios porteños
- **Lat** (numeric): Latitud de la ubicación de la comisaría.
- **Long** (numeric): Longitud de la ubicación de la comisaría.
- **Nombre** (character): El nombre de la comisaría
- **Calle** (character): La calle sobre la que se encuentra la comisaría
- **Altura** (numeric): Altura de la calle sobre la que se encuentra la comisaría.
- **Observaciones** (character): Comenta alguna particularidad en el estado de la comisaría en cuestión.

Los campos “Calle”, “Altura” y “Nombre” no se usan en el análisis.

### Base catastral AGIP

Esta base no es pública, fue facilitada por AGIP y se la vació de contenido de manera de que solo queden datos de latitud y longitud. La base original da cuenta del estado edilicio de cada uno de los registros y del tipo de vivienda de la cuál se trata. Para los fines de esta tesis, solo se necesitan los datos geográficos de estos registros (latitud, longitud, comuna y barrio), ya que fueron usados para simular potenciales ubicaciones de comisarías y patrulleros en los distintos análisis: lugares donde colocar patrulleros en el enfoque de urgencias y enfoque táctico; potenciales lugares donde reubicar una comisaría en el enfoque de reubicación de comisarías.

### Base de superficies

Sencilla base construida a mano que consta de 3 campos: nombre del barrio, comuna al que pertenece y superficie total del mismo (en km<sup>2</sup>). La suma de las superficies es 8 km<sup>2</sup> menor a la superficie total de la ciudad (203 km<sup>2</sup>) ya que no se contemplan las superficies de las reservas naturales (Reserva Natural Costanera Sur y Reserva Natural Costanera Norte) ni de las zonas portuarias.

### Base de población comunal

Consiste en una base pública brindada por el gobierno de la CABA [XXVI]. La misma contiene 15 hojas, cada una de estas hojas corresponde a un año transcurrido entre el 2006 y el 2020. En las mismas se encuentra contenida una tabla (la misma estructura para cada año) que consiste en los siguientes campos:

- **Comuna** (numeric): Del 1 al 15, representa las 15 comunas de CABA.
- **Población Total** (numeric): Cantidad total de personas (independientemente de su sexo) que habitan la comuna en cuestión.
- **Población Varón** (numeric): Cantidad total de varones que habitan la comuna en cuestión.
- **Población Mujer** (numeric): Cantidad total de mujeres que habitan la comuna en cuestión.
- **Superficie (km2)** (numeric): Superficie en km2 de cada barrio de la CABA contemplando la superficie de las reservas naturales y las zonas portuarias.
- **Densidad poblacional (hab/km2)** (numeric): Cantidad de habitantes por km2 correspondiente a cada barrio de la CABA.

Es importante notar que estos datos son proyecciones calculadas a partir de datos poblacionales recopilados de censos (siendo el último censo realizado en el país el correspondiente al año 2010).

### Base censal 2010

Datos recopilados del último censo nacional [XXVII]. Posee los mismos campos que la base de población comunal, con la salvedad de que el único año contemplado es el 2010 y que en esta base se desagregan las comunas en barrios

## Datos adicionales

### Base de facilities

A partir de la información geográfica de la base catastral y la base de comisarías se creó una base llamada *base de facilities*. La misma cuenta con 274 registros y 4 campos: Latitud, Longitud, Comuna y Barrio.

Los primeros 49 registros de esta base corresponden a las comisarías de la base de comisarías, mientras que los 225 registros restantes son un subconjunto de registros de la base catastral, tomados al azar mediante un algoritmo escrito en R. Este algoritmo toma 15 puntos al azar por comuna.

Estos 225 puntos representan locaciones donde potencialmente se puede instalar una comisaría o donde puede encontrarse un patrullero. Tal como se mencionó previamente y se estudiarán en los capítulos subsiguientes.

El nombre de esta base responde a que tanto en los enfoques de urgencia como táctico se cuenta tanto con comisarías como con patrullas a la hora de realizar el análisis. Se suelen englobar estas dos estructuras en una sola palabra: *facility*. Esta palabra deriva de los modelos de optimización tipo *facility location* de los que se hace uso en esta tesis.

### Base de crímenes agregados

Esta base sólo se utiliza en el análisis de relocalización de comisarías. Posee los mismos campos de la base de crímenes, pero se la crea con la finalidad de resumir de manera conveniente la información de todos los eventos ocurridos en el período contemplado en la base de eventos en una única instancia.

La motivación para la generación de esta información es que el análisis de relocalización de comisarías corresponde a una decisión estratégica, con efectos en el largo plazo. Por eso, buscamos condensar la información para que los resultados y el posterior análisis no sean impactados notoriamente por eventos particulares, la estacionalidad, entre otros efectos. Si bien nuestros datos son históricos y limitados, consideramos que tomar 4 años representa una muestra razonable como para realizar el análisis.

Para tal motivo se utiliza un algoritmo que crea una cuadrícula de 0,0027 grados de latitud por 0,0027 grados de longitud y promedia la latitud y la longitud de todos los crímenes que sucedieron dentro de ese cuadrado en el lapso de 4 años para crear un solo punto representativo de todo el período. La instancia final creada de esta manera contiene 2666 registros que corresponden a 2666 “ ubicaciones de crímenes promedio” en el lapso contemplado en esta tesis. Una semana común contiene entre 2000 y 3000 registros de crímenes así que 2666 es un número acorde.

### Base de población

Combinando la información de la base de población comunal y la base censal 2010 se crea una base cuyos campos son los siguientes:

- **Barrio** (character): Los nombres de los 48 barrios porteños.
- **Comuna** (numeric): Del 1 al 15, representa las 15 comunas de CABA.
- **Porcentaje\_población\_2010** (numeric): Número entre 0 y 1 que representa el porcentaje (de 0 a 100%) de población que representa un barrio en particular con respecto a la población total de la comuna a la cual pertenece.
- **Sup [km2] (numeric)**: Superficie en km2 de cada barrio de la CABA *sin contemplar* la superficie de las reservas naturales y las zonas portuarias.
- **Pob\_2019** (numeric): Porcentaje\_población\_2010 multiplicado por la proyección de cantidad de habitantes de la comuna en cuestión para el año 2019.
- **Pob\_2018** (numeric): Porcentaje\_población\_2010 multiplicado por la proyección de cantidad de habitantes de la comuna en cuestión para el año 2018.
- **Pob\_2017** (numeric): Porcentaje\_población\_2010 multiplicado por la proyección de cantidad de habitantes de la comuna en cuestión para el año 2017.
- **Pob\_2016** (numeric): Porcentaje\_población\_2010 multiplicado por la proyección de cantidad de habitantes de la comuna en cuestión para el año 2016.
- **Pob\_prom** (numeric): Promedio entre Pob\_2016, Pob\_2017, Pob\_2018 y Pob\_2019.
- **Densidad\_poblacional** (numeric): Pob\_prom sobre Sup [km2].

Es importante mencionar que para el armado de esta base (que será usada para el cálculo de indicadores en el capítulo siguiente) se *tomó como suposición* que el campo *Porcentaje\_población\_2010* de esta base se mantiene inmutable. En otras palabras, se está suponiendo que si en el año 2010 el 75% de la población de la comuna 3 habitaba en Balvanera y el otro 25% en San Cristóbal, en el año 2020 esos porcentajes se mantuvieron inmutables.

## Análisis exploratorio

Nuestro desarrollo comienza con un análisis exploratorio de los datos a tratar, a fin de una primera aproximación al problema. El mismo le fue implementado a la base de crímenes, y la intencionalidad fue la de buscar intuiciones y obtener un primer conjunto de conclusiones que pueda servir como punto de partida para los restantes análisis sobre el comportamiento de la criminalidad en la CABA.

Este análisis consta de 3 pilares:

- Análisis preliminar: El objetivo de esta acción es el de construir KPIs y tablas comparativas que nos permitan agregar y entender mejor la información. Este análisis fue implementado mediante varios scripts escritos en R.
- Creación de un tablero de Bussiness Inteligence (Bi): el mismo grafica los datos sobre un mapa y muestra métricas relevantes, todo conectado a un filtro interactivo [XXVIII]. El objetivo de esta acción es poder visualizar los datos y extraer métricas puntuales de manera rápida simulando lo que podría ser una herramienta destinada a un usuario final involucrado en la toma de decisión. Si bien en esta sección presentamos algunos gráficos obtenidos a partir de esta herramienta, el mismo se encuentra disponible para poder interactuar con los datos.
- Detalle de la creación de la base de crímenes agregados y el subsecuente mapa de calor de la criminalidad que a partir de ella surge.

Si bien (como ya se dijo en la introducción) el desarrollo de la tesis no contempla los siniestros viales como crímenes, en esta etapa preliminar *sí* se los tuvo en cuenta y se los estudió de manera diferenciada.

### Análisis preliminar

Luego de separar la base de crímenes en siniestros viales y crímenes comunes se dispuso a crear una serie de métricas. Las mismas se repiten para las 2 clases de incidentes:

- Cantidad anual de eventos y ascenso/descenso porcentual interanual de los mismos: cantidad de crímenes o siniestros viales (respectivamente) que suceden en determinado año y cantidad que suceden en el año siguiente. En que porcentaje esa cantidad aumentó o disminuyó de un año a otro.
- Tabla de doble entrada horario/barrio: Cada valor de esta tabla representa el porcentaje de ocurrencia y, por lo tanto, la probabilidad de que un evento (crimen y siniestro vial respectivamente) ocurra en ese horario y en ese barrio. Estas probabilidades se calcularon con el total de los datos recopilados durante 4 años. Ej: si la probabilidad de que un incidente vial ocurra en Balvanera a las 4 am es de 0,023% es porque se tomaron todos los siniestros viales ocurridos en Balvanera a las 4 am a lo largo de 4 años y se dividieron por todos los siniestros viales ocurridos en la ciudad en los últimos 4 años. A esta tabla de doble entrada no se la plasma directamente en el cuerpo de la tesis ya que es demasiado grande y presta a confusión, pero se la refiere en el análisis
- Cantidad de incidentes totales por km<sup>2</sup>: todos los crímenes sucedidos en un barrio durante los 4 años contemplados, divididos por la superficie total de dicho barrio.
- Proporción de cantidad de incidentes por día durante el fin de semana sobre cantidad de incidentes por día durante los días de semana: Para cada barrio se divide la cantidad

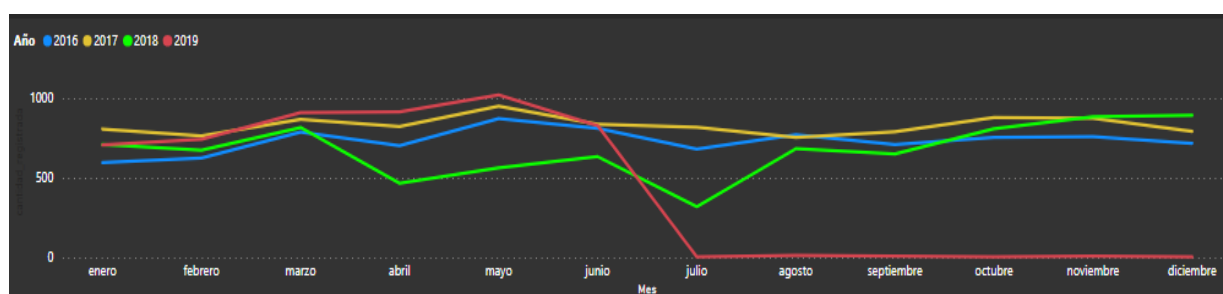
de crímenes sucedidos los viernes, sábados y domingos por la cantidad de crímenes ocurridos los lunes, martes, miércoles y jueves durante los 4 años contemplados.

- Proporción de cantidad de incidentes ocurridos durante la noche sobre los que ocurren durante el día: Para cada barrio se divide la cantidad de incidentes ocurridos entre las 20 hs y las 6 hs (noche) sobre los ocurridos entre las 7 hs y las 19 hs (día) durante los 4 años contemplados. Para clarificar, al cumplirse las 20 hs se pasa de día a noche y al cumplirse las 7 hs de noche a día.
- Cantidad de incidentes por persona: todos los crímenes sucedidos en un barrio durante los 4 años contemplados, divididos por el promedio de las proyecciones poblacionales de ese barrio entre los años 2016 y 2019.

### Análisis de siniestros viales

Lo primero que uno nota al analizar esta base es que a partir de Junio del año 2019 no se registran más siniestros viales, esto probablemente se deba a un error de carga y, por lo tanto, el verdadero análisis debe darse entre los años 2016,2017 y 2018.

Se observa que el crecimiento interanual de siniestros viales es significativo en el período 2016-2017 pero que se atenúa en lo correspondiente al 2017-2018. Además, en el año 2018 hay una recaída de cantidad de siniestros viales entre Marzo y Julio. En el *Gráfico 1*; el eje vertical representa la cantidad de siniestros viales, el horizontal el mes del año y cada recta un año distinto de los 4 contemplados.



*Gráfico 1 Evolución temporal de siniestros viales parametrizada por año en el período 2016-2019*

Año	Siniestros_viales	Dif_porcentual_interanual
2016	9036	----
2017	9991	10,57
2018	10209	2,18

*Tabla 1 Comparación interanual (sucesos totales y variación porcentual año a año) respecto a los siniestros viales en el período 2016-2019*

Con respecto a lo que concierne a la relación hora, barrio y probabilidad de sufrir un siniestro vial, se llegaron a las siguientes intuiciones a partir de la tabla de doble entrada barrio/horario:

- La hora más insegura son las 18 hs; 6,8 % de probabilidad de que un siniestro vial ocurra a esa hora.
- La hora más segura son las 4 hs; 0,9% de probabilidades de que un siniestro vial ocurra a esa hora.



- El barrio en el que es más probable que se produzca un siniestro vial es Palermo (6,6%)
- El barrio en que es menos probable que se produzca un siniestro vial es Coghlan (0,3%)
- La combinación más insegura es Balvanera a las 14 hs, con una probabilidad de 0,4865% de sufrir un siniestro vial a esa hora en ese lugar.

Los resultados son sumamente lógicos, las mayores probabilidades de sufrir un siniestro vial se dan en el intervalo que va de las 18 a las 20 hs (la hora en que las personas regresan de su jornada laboral), mientras más céntrico es el barrio más aumentan estas probabilidades. De las 20 a las 4 am las probabilidades decrecen, probablemente se deba a que la gente progresivamente deja de circular en ese horario.

Como era de esperar, los barrios céntricos son los que poseen más siniestros viales por km<sup>2</sup> mientras que los barrios más australes tienen las menores tasas; parece lógico, ya que se encuentran entre los menos densamente poblados.

Barrio	Siniestros_viales	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Siniestro_x_km <sup>2</sup>
Balvanera	2105	4,4	478,41
Montserrat	960	2,2	436,36
Constitución	868	2,1	413,33
San Cristóbal	828	2,1	394,28
San Nicolás	871	2,3	378,69

*Tabla 2 Cantidad de siniestros viales totales y por kilómetro cuadrado sucedidos en el período 2016-2019 para los 5 barrios con mayor cantidad de siniestros por kilómetro cuadrado*

Barrio	Siniestros_viales	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Siniestro_x_km <sup>2</sup>
Villa Soldati	401	8,6	46,63
Villa Riachuelo	219	4,1	53,41
Puerto Madero	119	2,1	56,67
Coghlan	108	1,3	83,08
Villa Lugano	748	9	83,11

*Tabla 3 Cantidad de siniestros viales totales y por kilómetro cuadrado sucedidos en el período 2016-2019 para los 5 barrios con menor cantidad de siniestros por kilómetro cuadrado*

El análisis que contempla la cantidad de siniestros viales los días de semana y los compara frente a los que ocurren los fines de semana se basa de una proporción que contempla la siguiente fórmula:

$$r_f = \frac{\text{Cantidad de siniestros viales fin de semana} / 3}{\text{Cantidad de siniestros viales día de semana} / 4}$$

Como se dijo antes, se divide a los días de fin de semana por 3 porque se contempla el viernes, el sábado y el domingo. Se divide a los días de semana por 4 porque se contemplan el resto de los días de la semana.

Los resultados parecen remarcar que las proporciones más altas los poseen los barrios periféricos del suroeste de la ciudad. Mientras que las proporciones más bajas no siguen un patrón definido, por lo menos no uno claramente identificable.

Barrio	Proporción
Liniers	1,02
Villa Soldati	1,01
Villa Riachuelo	1,00
Versalles	0,98
Villa Pueyrredón	0,97

*Tabla 4 Proporción de cantidad de siniestros promedio sucedidos durante el fin de semana sobre el promedio de los sucedidos en la semana para el período 2016-2019 para los 5 barrios con mayor proporción*

Barrio	Proporción
Parque Chas	0,55
Retiro	0,61
San Nicolás	0,62
Puerto Madero	0,63
Chacarita	0,66

*Tabla 5 Proporción de cantidad de siniestros promedio cometidos sucedidos durante el fin de semana sobre el promedio de los sucedidos en la semana para el período 2016-2019 para los 5 barrios con menor proporción*

Se analiza también la diferencia de comportamiento observable entre el día y la noche. La proporción noche/día (cantidad de siniestros ocurridos durante la noche frente a la cantidad que ocurre durante el día) es en general baja. Esto probablemente se debe a que las personas circulan mucho menos durante la noche. Se intuye que las proporciones más altas en este aspecto se dan en lugares donde la circulación está siempre por debajo de la media de la ciudad, independientemente de la hora (barrios reconocidamente poco transitados como Coghlan y Puerto Madero).

Barrio	Proporción
Coghlan	0,50
Villa Riachuelo	0,47
Puerto Madero	0,47
Monte Castro	0,47
Parque Avellaneda	0,46

*Tabla 6 Proporción de cantidad de siniestros promedio sucedidos durante la noche sobre el promedio de los sucedidos durante el día para el período 2016-2019 para los 5 barrios con mayor proporción*

Barrio	Proporción
Villa Devoto	0,25
Villa Santa Rita	0,27
Parque Chas	0,28
Nuñez	0,29
San Nicolás	0,29

*Tabla 7 Proporción de cantidad de siniestros promedio sucedidos durante la noche sobre el promedio de los sucedidos durante el día para el período 2016-2019 para los 5 barrios con menor proporción*

Por último, se realiza un análisis que contemple la dimensión poblacional de cada barrio, para esto se observa un indicador que será construido de la siguiente manera:

$$r_p = \frac{\text{Cantidad de siniestros ocurridos en 4 años}}{\text{Población promedio en 4 años}}$$

Lo que se puede observar es que los 2 barrios que presentan más siniestros por habitante pertenecen al microcentro, mientras que los 3 siguientes son Agronomía, Chacarita y Villa Real. Una intuición que podría desprenderse de esto es que la cantidad de siniestros por habitante se relaciona con los accesos del sur y el oeste de la ciudad: la Av. 9 de Julio (que atraviesa el microcentro) es la principal arteria que conduce al sur del conurbano bonaerense (Avellaneda, Au. Buenos Aires-La Plata). Los otros 3 barrios presentan una superficie habitable pequeña y tienen pocos habitantes fijos, sin embargo, poseen dentro de su territorio avenidas que desembocan hacia zona oeste: Av. Triunvirato (Chacarita), Av. Irigoyen y Av. Francisco Beiró (Villa Real) y Av. San Martín (Agronomía).

Con respecto a los barrios que encabezan el ranking de menor cantidad de siniestros viales por habitante, se trata de barrios clasificados usualmente como “residenciales”. Esto tiene lógica, ya que esta clasificación atañe a barrios que las personas eligen para vivir, pero no destacan por su movimiento o vida urbana.

Barrio	Métrica
San Nicolás	0,024
Montserrat	0,019
Chacarita	0,019
Villa Real	0,018
Agronomía	0,017

Tabla 8 Cantidad de siniestros viales registrados entre 2016 y 2019 sobre cantidad de habitantes promedio para los 5 barrios en los cuáles esta métrica fue mayor

Barrio	Métrica
Villa Lugano	0,005
Coghlan	0,005
Colegiales	0,006
Villa Urquiza	0,007
Villa del Parque	0,007

Tabla 9 Cantidad de siniestros viales registrados entre 2016 y 2019 sobre cantidad de habitantes promedio para los 5 barrios en los cuáles esta métrica fue menor

### Análisis de crímenes:

Se pretende en esta sección realizar un análisis análogo a lo hecho en la sección anterior. Sólo que ahora se tiene por protagonistas a los eventos delictivos sucedidos en CABA entre 2016 y 2019 (en lugar de los siniestros viales).

Se observa que la cantidad de crímenes sucedidos por año en la CABA fluctúa sobre un valor medio de 113460 crímenes al año. Hubo un descenso significativo del 2016 al 2017, el año en que se fundó la Policía de la Ciudad. En el *Gráfico 2*; el eje vertical representa la cantidad de crímenes, el horizontal el mes del año y cada recta un año distinto de los 4 contemplados.

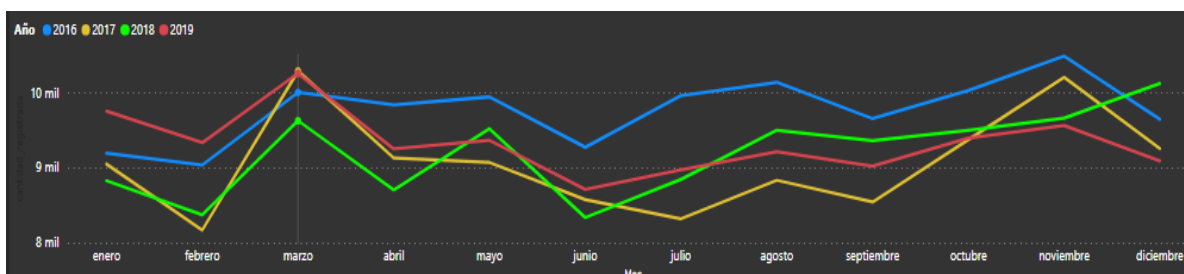


Gráfico 2 Evolución temporal de crímenes parametrizada por año en el período 2016-2019

Año	Siniestros_viales	Dif_porcentual_interanual
2016	117550	---
2017	110590	-5,92
2018	113534	2,66
2019	112167	-1,20

Tabla 10 Comparación interanual (sucesos totales y variación porcentual año a año) respecto a los crímenes en el período 2016-2019

Con respecto a lo que concierne a la relación hora, barrio y probabilidad de sufrir un crimen, se llegaron a las siguientes intuiciones:

- La hora más insegura son las 20 hs; 6,8 % de probabilidades de que un crimen ocurra a esa hora.
- La hora más segura son las 3 am; 1,45% de probabilidades que un crimen ocurra a esa hora.
- El barrio en el que es más probable que se produzca un crimen es Palermo (7,95% de probabilidad).
- El barrio en que es menos probable que se produzca un crimen es Puerto Madero (0,1% de probabilidad).
- La combinación más insegura es Palermo a las 20 hs, con una probabilidad de 0,57% de que un delito se cometa a esa hora en ese lugar.

Parece contraintuitivo que las 3 a.m sea la hora con menor probabilidad de que se produzca un crimen. Esto no implica necesariamente que sea la hora más *segura* en el sentido estricto de la palabra, si no que probablemente responde a que hay menos personas circulando por la calle. El hecho de que Puerto Madero sea el lugar con menor probabilidad es lógico teniendo en cuenta la escasa densidad poblacional y el factor que implica el uso de seguridad privada por parte de sus habitantes.

Los barrios que poseen mayor criminalidad por km<sup>2</sup> son aquellos que conforman el centro administrativo de la ciudad (aquellos que rodean la calle 9 de Julio). Los que poseen menos crímenes reportados por km<sup>2</sup> son aquellos barrios con menor densidad poblacional. Una posible conclusión es, entonces, que la densidad poblacional es un factor importante para determinar la actividad delictiva. Esto tiene sentido si tomamos en consideración que la mayoría de los crímenes reportados son hurtos (robos sin violencia, carteristas) y que los autores de esta clase de crímenes suelen buscar el amontonamiento de gente.

Barrio	Eventos	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Crimen_x_km <sup>2</sup>
San Nicolás	22540	2,3	9800,00
Balvanera	31644	4,4	7191,82
Constitución	12527	2,1	5965,24
San Telmo	6228	1,2	5190,00
Montserrat	11276	2,2	5125,45

Tabla 11 Cantidad de crímenes totales y por kilómetro cuadrado sucedidos en el período 2016-2019 para los 5 barrios con mayor cantidad de crímenes por kilómetro cuadrado

Barrio	Eventos	Superficie [km2]	Crimen_x_km2
Puerto Madero	538	2,1	256,19
Villa Riachuelo	2299	4,1	560,73
Villa Soldati	6756	8,6	785,58
Agronomía	1658	2,1	789,52
Paternal	2597	2,2	1180,45

Tabla 12 Cantidad de crímenes totales y por kilómetro cuadrado sucedidos en el período 2016-2019 para los 5 barrios con menor cantidad de crímenes por kilómetro cuadrado

Nuevamente se plantea la proporción que compara los fines de semana con los días de semana, salvo que esta vez se plantea para la criminalidad en lugar de para los siniestros viales:

$$r_f = \frac{\text{Cantidad de crímenes fin de semana} / 3}{\text{Cantidad de crímenes día de semana} / 4}$$

El resultado de este análisis es interesante: los barrios que ofrecen proporciones más altas de criminalidad el fin de semana comparados con los días de semana son barrios reconocidos por su actividad nocturna (San Telmo, Palermo y Puerto Madero).

Barrio	Proporción	Barrio	Proporción
San Telmo	1,27	Villa Soldati	0,77
Palermo	1,10	Coghlan	0,78
Puerto Madero	1,04	Barracas	0,79
Montserrat	1,02	Villa Riachuelo	0,79
Almagro	0,95	Parque Patricios	0,79

Tabla 13 Proporción de cantidad de crímenes promedio sucedidos durante el fin de semana sobre el promedio de los sucedidos en la semana para el período 2016-2019 para los 5 barrios con mayor proporción

Tabla 14 Proporción de cantidad de crímenes promedio sucedidos durante el fin de semana sobre el promedio de los sucedidos en la semana para el período 2016-2019 para los 5 barrios con menor proporción

Con respecto al análisis de la proporción diferencial de cantidad de crímenes de noche en comparación con el día no parece haber un factor determinante. Un posible denominador común es que los barrios que tienen mayor proporción de crímenes cometidos de noche sobre crímenes cometidos de día tienen una gran parte de su superficie ocupada por espacios no habitados: Saavedra (3 de los parques urbanos más grandes de la ciudad), Parque Chacabuco (Parque Chacabuco) y Mataderos (Mercado de Liniers). Por el contrario, los barrios de proporción baja están altamente urbanizados y no poseen grandes espacios inhabitados (con excepción de Puerto Madero). De todas formas, esto no permite inferir que estas sean las razones, y se requeriría realizar análisis más profundos a fin de identificar las causas.

Barrio	Proporción
Saavedra	0,86
Mataderos	0,81
Parque Chacabuco	0,81
Boedo	0,81
Villa Riachuelo	0,79

*Tabla 15 Proporción de cantidad de crímenes promedio sucedidos durante la noche sobre el promedio de los sucedidos durante el día para el período 2016-2019 para los 5 barrios con mayor proporción*

Barrio	Proporción
San Nicolás	0,35
Montserrat	0,40
Puerto Madero	0,40
Balvanera	0,43
Belgrano	0,46

*Tabla 16 Proporción de cantidad de crímenes promedio sucedidos durante la noche sobre el promedio de los sucedidos durante el día para el período 2016-2019 para los 5 barrios con menor proporción*

Para finalizar, se vuelve a contemplar la dimensión poblacional usando la misma métrica que en la subsección anterior pero adaptada a crímenes en lugar de siniestros viales. Luego:

$$r_p = \frac{\text{Cantidad de crímenes ocurridos en 4 años}}{\text{Población promedio en 4 años}}$$

Lo que se observa ahora es que los barrios donde ocurrieron mayor cantidad de crímenes por persona coinciden con los que conforman el centro de la ciudad.

Barrio	Proporción
San Nicolás	0,64
San Telmo	0,25
Constitución	0,23
Montserrat	0,23
Balvanera	0,22

*Tabla 17 Cantidad de crímenes registrados entre 2016 y 2019 sobre cantidad de habitantes promedio para los 5 barrios en los cuáles esta métrica fue mayor*

Barrio	Proporción
Puerto Madero	0,06
Villa Lugano	0,09
Villa Pueyrredón	0,10
Coghlan	0,10
Villa del Parque	0,10

*Tabla 18 Cantidad de siniestros viales registrados entre 2016 y 2019 sobre cantidad de habitantes promedio para los 5 barrios en los cuáles esta métrica fue menor*

## Tablero de Bi

Como parte del análisis exploratorio se creó un tablero de Bussiness Intelligence donde se volcaron todos los datos correspondientes a los eventos que ocurrieron entre el 2016 y el 2019 [XXVIII]. La motivación por la cual se ideó este tablero fue la de crear una herramienta que permita la rápida interpretación de los datos disponibles, dado el gran volumen de los mismos. Además, la interactividad de este tablero permite al usuario desagregar la información de

manera de analizar períodos de tiempo, zonas geográficas y tipos de delito a su voluntad (ej. saber que tantos homicidios ocurrieron en Balvanera entre el 3/6/2017 y el 4/5/2019).

### Hoja 1: Mapa interactivo

En el presente tablero se busca visualizar información geográfica de distinta índole. En particular, visualizamos la geolocalización de los distintos eventos ocurridos, incluyendo detalles del evento como fecha, hora, coordenadas y tipo de evento al posicionar el cursor sobre el marcador. Como parte de la visualización, el color indica el tipo de evento, a fin de tener una primera aproximación a esta dimensión del problema.

A fin de facilitar la exploración de los datos, se incluyeron los siguientes filtros:

- Un slicer que permite seleccionar el período de tiempo contemplado
- 6 filtros que permiten filtrar por:
  - Fecha
  - Hora
  - Barrio
  - Comuna
  - Tipo de crimen
  - Subtipo de crimen
- 6 tarjetas de resultados dependiendo lo que se filtre:
  - Cantidad de crímenes contemplados
  - Cantidad de siniestros viales contemplados
  - Cantidad de superficie contemplada
  - Número de crímenes por km<sup>2</sup>
  - Proporción de cantidad de crímenes noche sobre cantidad de crímenes día
  - Proporción de cantidad de crímenes fin de semana sobre cantidad de crímenes día de semana.

La visualización que brinda esta primera hoja del tablero (*Ilustración 1*) permite identificar una tendencia que se observará a lo largo del análisis: el crimen se concentra bordeando la Av. 9 de Julio hasta Av. Santa Fe, para luego bordear Av. Cabildo hasta el límite con la Provincia de Buenos Aires (en Nuñez). Por el contrario, en el Sur, el Centro (geográfico) y el Oeste de la ciudad, el crimen parece estar más disperso y no se nuclea alrededor de una calle en particular.

Otro aspecto que salta a la vista en esta visualización es lo que se comentó previamente: la mayoría de los crímenes son hurtos y robos.



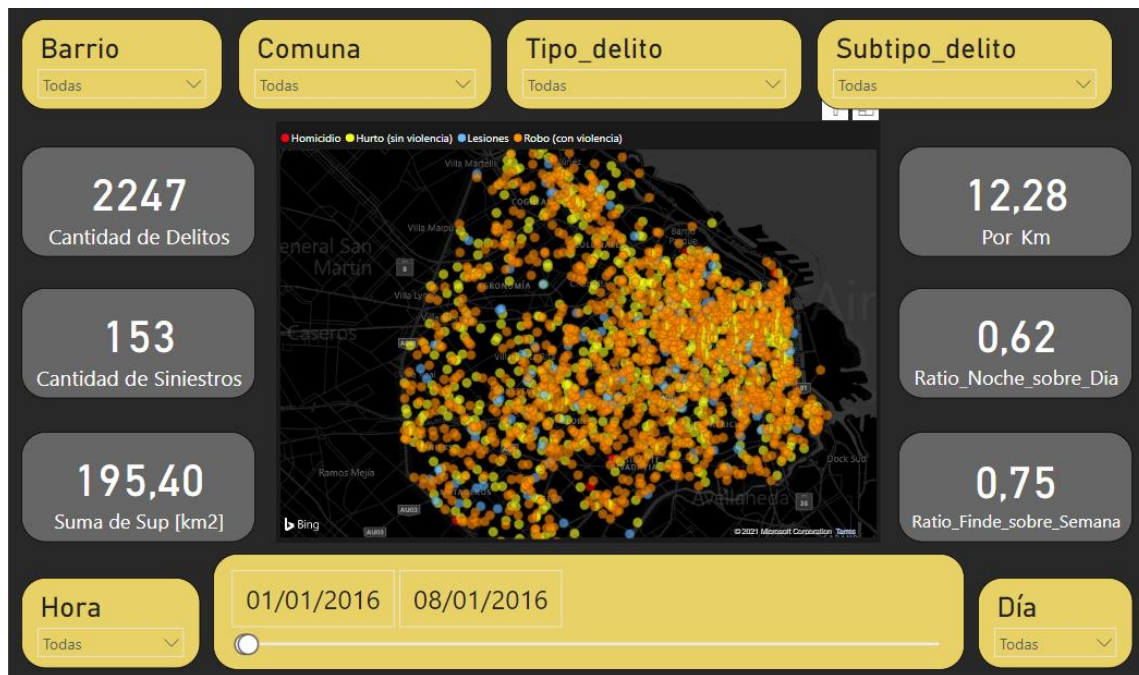


Ilustración 1 Primera hoja "Mapa Interactivo" del informe en Power Bi. Como se ve, la distribución y tipo de crímenes que figuran en el mapa corresponde a la 1ra semana del año 2016. Cada punto es un evento sucedido esa semana.

## Hoja 2: Análisis temporal

Esta hoja fue creada con el propósito de mostrar la evolución temporal de los incidentes (tanto crímenes como siniestros viales) a lo largo del período contemplado.

Consiste de:

- 6 filtros que permiten filtrar por:
  - Fecha
  - Hora
  - Barrio
  - Comuna
  - Tipo de crimen
  - Subtipo de crimen
- Un gráfico tipo serie temporal cuyo eje horizontal es el tiempo absoluto y el eje vertical es la cantidad de eventos.
- Un gráfico tipo serie temporal con 4 curvas paramétricas cuyo eje horizontal es el tiempo medido en meses y el eje vertical es la cantidad de eventos. Cada curva simboliza un año.

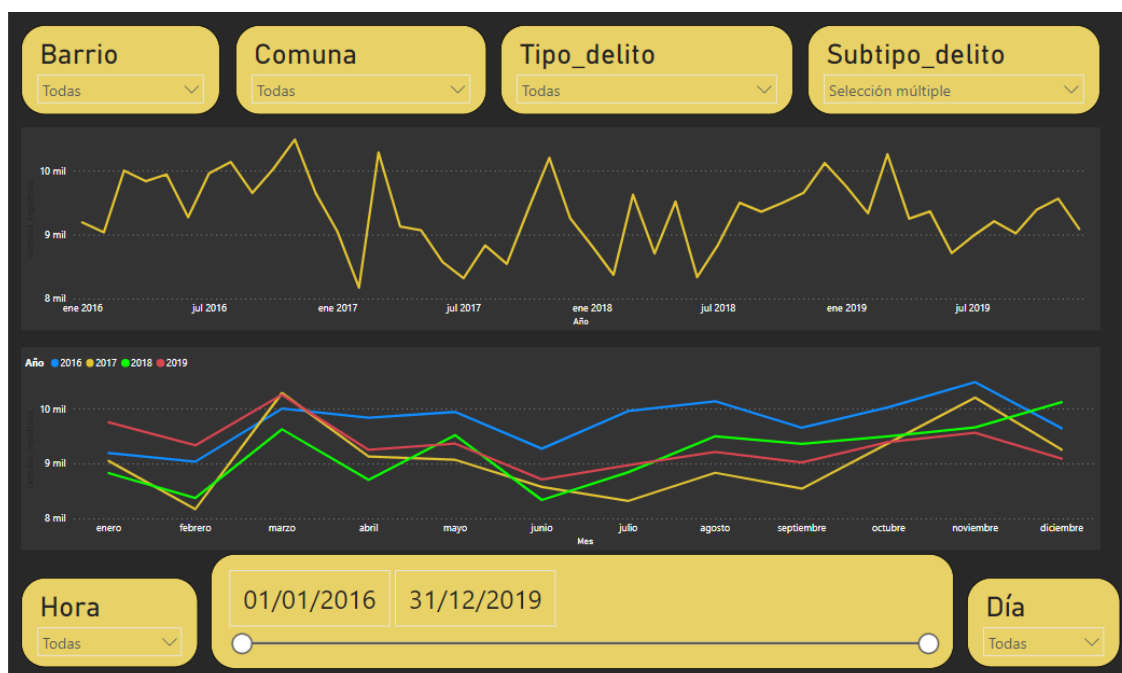


Ilustración 2 Segunda hoja del informe en Power Bi.

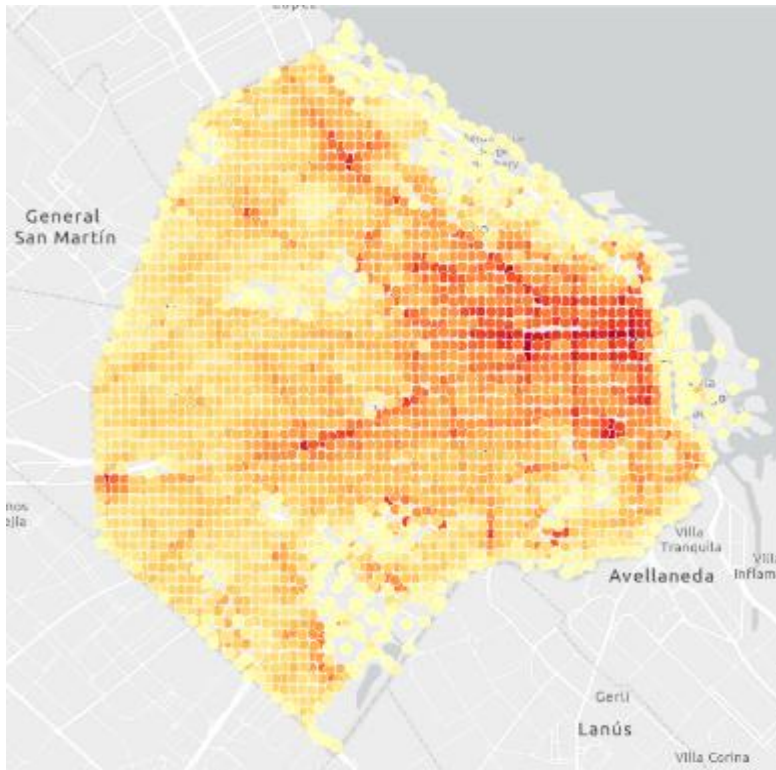
Esta hoja permite ahorrar líneas de código y tiempo de procesamiento a la hora de analizar tendencias específicas a lo largo del tiempo. Es especialmente útil para detectar anomalías: por ejemplo, ayudó a detectar rápidamente que en 2019 casi no hay registros de siniestros viales.

### Creación de la instancia agregada y generación del mapa de calor

Como se comentó antes, el enfoque de relocalización de comisarías se abordó mediante la creación de una única instancia agregada que contemple lo sucedido a través de los 4 años de análisis. El armado de la misma consiste en discretizar el territorio de la CABA en cuadrados de 0,0027 grados de longitud/latitud. Esto equivale a cuadrados de 300 m de lado, la superficie interior de los mismos está en el orden de magnitud de la superficie de seis manzanas de la ciudad. Dentro de cada uno de los cuadrados se calcula una coordenada que será el promedio de las coordenadas de los puntos de ocurrencia de todos los crímenes que sucedieron sobre esa superficie en los 4 años contemplados.

Esta coordenada promedio, a su vez, será la que se verá representada en la instancia. El color de la misma en el mapa de calor habla de cuántos crímenes fueron contemplados; por ejemplo: un punto amarillo claro en Coghlan significa el promedio de 20 coordenadas de crímenes que sucedieron dentro de ese cuadrado a lo largo de 4 años; un punto rojo en Constitución simboliza el promedio de 1988 coordenadas de crímenes que sucedieron dentro de ese cuadrado a lo largo de 4 años. El armado de esta base de crímenes agregados fue efectuado mediante la utilización de un algoritmo en lenguaje R.

En el siguiente mapa se puede visualizar dicha instancia:



*Ilustración 3 Cuadrícula de instancia agregada. Cada punto en este mapa es el promedio de todos los crímenes sucedidos en el transcurso de 4 años. Mientras más oscuro es el punto, mayor cantidad de crímenes componen ese promedio*

Para apreciar el detalle de cuadrícula que forman estos promedios de locaciones de crímenes, se realizará un zoom.



*Ilustración 4 Ilustración 3 ampliada*

Se puede ver que lo que está coloreado en el mapa no es el cuadrado entero, si no el punto promedio dentro del mismo.

Lo que estas ilustraciones dejan en evidencia es que el microcentro (Balvanera, San Nicolás, Montserrat, Retiro y Constitución) y Barrio Norte (Palermo y Recoleta) tienen una densidad de

crímenes por km2 mayor al del resto de la ciudad. Así como se pueden apreciar ciertos “spots” más oscuros que sus inmediaciones:

- Barrio 11-14
- Barrio Zavaleta
- Barrio 31
- Estación Constitución
- Obelisco/Calle Corrientes/Once
- Liniers (cercanía al Estadio Amalfitani).

Asimismo, es interesante ver como ciertas arterias de la ciudad concentran la densidad de hechos delictivos a medida que se recorre la ciudad de Este a Oeste: Av. Santa Fe, Av. Córdoba, Av. Corrientes y Av. Rivadavia respectivamente.

## Enfoque de resolución de urgencias

Una urgencia es una situación en la que los costos de solución pueden estar en un orden menor de importancia, donde lo primordial es solucionarla lo más rápido posible. Tampoco es lógico pretender “gestionar” una urgencia, cuando esta surge, deben utilizarse todos los recursos posibles para atenderla.

En este enfoque se modelan a todos los crímenes como urgencias, por lo tanto, ante la ocurrencia de un crimen, se debe asignar inmediatamente un patrullero que se dirija al lugar donde este ocurrió. Se deja fuera la noción de *optimización global*, lo acorde es hablar de un enfoque secuencial de estilo FIFO, donde en una situación se restringe la asignación al interior de la comuna y en la otra no. Por esto, lo que se responde en este análisis es que tanto mejora la performance de las *respuestas rápidas* cuando hay libertad de acción intercomunal. Es un análisis para la gestión operativa en el *corto plazo*.

Se contempló la posibilidad de tomar un enfoque tipo batch para este problema. El mismo consiste en no realizar ninguna asignación hasta que no transcurra un tiempo  $\tau$  (llamado tiempo de batch). Una vez transcurrido ese tiempo, se implementa un modelo de optimización que asigna los eventos que sucedieron hasta ese momento a los facilities con los que se cuenta, de manera de minimizar una función objetivo, en este caso se trataría de minimizar las distancias recorridas. Al estar implementándose una optimización, claramente una estrategia batch siempre dará mejores resultados (distancias totales menores) que un enfoque FIFO como el que se ejecuta aquí.

Pero este enfoque batch se descartó debido a que en promedio suceden 14 eventos por hora en toda la ciudad, por lo tanto, implicaría dejar estos eventos desatendidos por un período muy largo de tiempo ( $\tau$  muy grande) de manera de lograr una cantidad de eventos lo suficientemente alta para que tenga sentido implementar un modelo de optimización. Claramente, dejar desatendido un evento por varias horas atenta contra el espíritu de este enfoque: resolver una urgencia.

Esta misma justificación conlleva la elección de la semana como unidad temporal para la definición de una instancia. La cantidad de eventos ocurridos por semana fluctúa alrededor de los 2400; número acorde de eventos para fijar una instancia. Este criterio (semana como instancia) **se mantendrá en el resto de los análisis de la tesis**. Sólo que para el enfoque de relocalización de comisarías no se tomarán semanas verdaderas si no que se tomará la *semana agregada* que contempla todos los sucesos ocurridos en 4 años y los condensa en una semana ficticia.

También se contempló inicialmente llevar a cabo un modelo de p-median (como el usado para abordar la situación de relocalización de comisarías en el capítulo siguiente). La razón por la cual se abandonó este enfoque es porque en estos se anula la temporalidad de los sucesos, por el contrario, la heurística aquí planteada contempla la temporalidad ya que resuelve las asignaciones de manera secuencial (estando los sucesos ordenados cronológicamente).

Cabe aclarar que estas serie de simplificaciones necesarias para implementar esta heurística dejan aspectos sin contemplar: podría ocurrir que un patrullero (por ejemplo) atienda 14 crímenes en menos de una hora. Esto pasaría si 14 eventos ocurren de manera consecutiva y este patrullero es el más cercano a los mismos. Claramente tal comportamiento no es posible

en la realidad, pero en este modelo podría llegar a ocurrir ya que no se contempla el tiempo de ocupación ni el límite diario, sólo el límite semanal. La razón por la cuál se programa a la heurística para que siga este comportamiento es debido a que no se conoce con exactitud el protocolo de acción del patrullero a la hora de atender el crimen; al igual que tampoco hay información suficiente para estimar *tiempos de procesamiento*.

## Realidades, suposiciones, convenciones

Esta manera de abordar el problema representa una aproximación simplificada a como efectivamente se comportan las patrullas. Ante la ocurrencia de un crimen, la policía capta un aviso de alarma y la patrulla más cercana se acerca al lugar para detener la acción (si la misma se encuentra en curso) o para perseguir al victimario y asistir a la víctima (en caso de que el crimen ya se haya efectuado).

Como ya se dijo, cada semana representa una instancia. Cada instancia está formada por los puntos correspondientes a los lugares de ocurrencia de los crímenes sucedidos en esa semana, los puntos correspondientes a las 49 comisarías contempladas en la base de comisarías y los 225 puntos elegidos aleatoriamente (15 por comuna) tomados de la base catastral de AGIP, que simbolizan patrulleros. Entre instancia e instancia se regenera el 100% de la capacidad tanto de patrulleros como de comisarías. En este enfoque, tanto a las comisarías como a los patrulleros se los puede nombrar genéricamente como “facility”. También, los puntos fijos correspondientes a facilities se mantienen fijos entre instancias.

La razón por la cual se toman 15 patrulleros por comuna es porque 225 es un número acorde a los abastecimientos periódicos de automóviles por parte de la ciudad para este fin. Muchas veces estas flotas son donadas por las automotrices [XXIX],[XXX]. Por lo tanto, no es ilógico pensar que uno como tomador de decisión cuenta con esta cantidad de patrulleros para ubicar de manera óptima. **Este criterio se mantendrá a lo largo de los distintos enfoques.**

Se toma como convención que un patrullero puede atender 2 crímenes por día (14 crímenes por semana, 14 unidades de capacidad) y que una comisaría puede atender 300 crímenes por semana (300 unidades de capacidad). El criterio para estas convenciones es pesimista para los patrulleros y optimista para las comisarías. La lógica detrás de la alta capacidad asignada a las comisarías consiste en que las mismas son puntos logísticos dentro de la estructura policial, por lo tanto, no es desacertado pensar que contarán de un mayor volumen de recursos. Con respecto a la baja exigencia a la performance de los patrulleros, responde a que (por motivos de confidencialidad) no hay datos de performance de los mismos. Ante el desconocimiento, se prefiere subestimar que sobreestimar.

El hecho de que los puntos correspondientes a los patrulleros sean inamovibles entre instancia e instancia también es una simplificación. Pero es útil a los fines prácticos ya que, de otra manera, no sería posible realizar comparaciones entre instancias. Además, este hecho simplifica la implementación: tomar en cuenta un modelo de ruteo implicaría no sólo un esfuerzo computacional muy grande, sino que también requeriría información confidencial para la población civil (rutinas de patrullaje de la Policía de la Ciudad).

Se considera que un patrullero regresa instantáneamente a su punto de partida luego de atender un crimen. Se usa la *distancia Manhattan* [XXXI] para representar la distancia entre 2 puntos. Por otro lado, se usa la equivalencia aproximada de que 1 grado de latitud (o longitud)

equivalen a 111,12 km [XXXII]. Siendo  $lat_i$  y  $long_i$  la latitud y longitud del punto "i" (y análogamente lo mismo para el punto "j"); la distancia Manhattan entre el punto "i" y el "j" es:

$$d_{ij} = |lat_i - lat_j| + |long_i - long_j|$$

## Método

Se plantean dos contextos que afectan a las reglas a seguir para responder a un evento:

- **Benchmark:** a determinado crimen se le asigna el facility más cercano siempre y cuando el crimen haya sucedido en la misma comuna en la que se encuentra el facility y el mismo cuente con capacidad suficiente.
- **Flexible:** a determinado crimen se le asigna el facility (patrullero/comisaría) más cercano independientemente de las jurisdicciones comunales. Sólo se contempla la capacidad.

Para ambas políticas se implementa una heurística secuencial, sólo que la política benchmark contempla una doble restricción para la asignación del recurso, dado por la capacidad y la comuna mientras que en la política flexible se anula uno de estos 2 condicionales (el correspondiente a la restricción comunal). Siempre se parte de una base donde los crímenes están ordenados de manera secuencial desde el que ocurrió primero hasta el que ocurrió último.

### Nomenclatura y pseudocódigo

En primer lugar, se introducen algunas definiciones a fin de formalizar el problema. Dada la información de una semana, llamamos  $I$  a la base de crímenes, la cual asumimos se encuentra ordenada cronológicamente. Para modelar las comisarías y patrulleros,  $F$  denota la base de posibles locaciones (en este caso, todas disponibles) para los facilities. A modo de simplificar la lectura, se utilizará la letra  $i$  para denotar un crimen y  $j$  para facilities. Para cada facility  $j \in F$ ,  $Cap_j$  denota su capacidad, medida en cantidad unidades disponibles para toda la semana. A fin de representar los límites comunales, tanto para eventos en  $I$  como para facilities  $J$  identificamos la comuna a la que pertenece. Para ello, haciendo un mínimo abuso de notación, definimos  $Comue$  al identificador de la comuna correspondiente a  $e \in I \cup F$ . Finalmente, notamos con  $d_{ij}$  a la distancia del evento  $i \in I$  al facility  $j \in F$ .

Se muestra a continuación un pseudocódigo de alto nivel para la heurística de asignación.

### Pseudocódigo

1. **(Inicialización)** Definir  $asig_{ij} = 0$  para todo par  $i \in I$  y  $j \in F$ .
2. **(Asignación)** Para cada evento  $i \in I$  recorridos en orden cronológico:
  3. Sea  $k \in F$  el facility con  $Cap_k > 0$  que minimiza la distancia  $d_{ik}$ .
  4. Asignar el evento  $i$  al facility  $k$ , es decir,  $asig_{ik} = 1$ .
  5. Actualizar la capacidad,  $Cap_k = Cap_k - 1$
  6. Volver al punto 2. (pasar al siguiente evento).
7. **(Finalización)**. Retornar la asignación  $asig_{ij}$ .

A fin de incorporar las restricciones comunales, la heurística se modifica simplemente agregando en la línea 3. la condición adicional que  $Comu_i = Comu_k$ , indicando que para realizar la asignación la comuna del evento y del facility deben ser la misma.

Luego de ejecutar el algoritmo para cada una de las 208 instancias, se obtienen las asignaciones correspondientes para cada una de ellas para ambas políticas de atención. (Asigij). Tanto para la situación benchmark como para la situación nueva (416 asignaciones en total).

## Resultados

Cada uno de los 416 documentos que conforman las soluciones de este enfoque (416 asignaciones: 208 benchmark y 208 flexibles) posee campos de índole identitaria (ID, estado, semana, comuna del facility, semana), geográfica (latitud y longitud del facility) y operacional (distancia de asignación, capacidad del facility post-asignación).

Y en las 208 soluciones que corresponden a la política flexible (libre circulación) se agregan, además:

- Comuna en la que sucedió el crimen
- Campo que identifica con un “sí” si la asignación fue intercomunal y con un “no” si no lo fue
- Campo de “frontera”: se unen las 2 comunas (la del crimen y la del facility) para saber en qué frontera comunal se dio el intercambio de recursos

## Observaciones

Comparando la política benchmark frente a la política flexible, el hecho de eliminar límites comunales ahorró 26750,73 km de viaje en un lapso de 4 años. En otras palabras, un promedio de 128,6 km por semana.

Analizando las métricas que refieren a las distintas categorías (patrullero y comisaría) uno se encuentra con el siguiente escenario:

Métrica	Política benchmark	Política flexible
Capacidad usada promedio patrullero	5	5
Capacidad usada promedio comisaría	13	11
Cantidad promedio de patrulleros activados	166	170
Cantidad promedio de patrulleros que agotan su capacidad	35	32

Tabla 19 Métricas de interés para los 2 tipos de políticas adoptadas

Lo que se observa aquí es que el hecho de anular la restricción intercomunal implicó aliviar en promedio el trabajo tanto de comisarías (disminuyeron su utilización) como de patrulleros (en promedio, menos patrulleros agotaron su capacidad). La contraparte es que se activaron más patrulleros (lo cuál tiene sentido, ya que en este enfoque activar un patrullero no le representa un costo a la heurística). Es posible también que las diferencias no sean muy grandes porque la capacidad es grande. Habiendo dicho esto las diferencias serían las siguientes: el porcentaje de utilización de las comisarías bajó de un 4,33% a un 3,67%; la cantidad de la flota total activada pasó de ser el 73,77% del total a ser el 75% del total y la cantidad de patrulleros que agotaron su capacidad se redujo en un 8,5%.



Desde un punto de vista comunal se encontraron algunos comportamientos interesantes. La cantidad de crímenes atendidos por facilities de las comunas del oeste de la ciudad (7 y 9) baja (en proporción) estrepitosamente cuando se pasa de la política benchmark a la política flexible, mientras que la cantidad de crímenes atendidos con recursos de la comuna 10 sube. Se concluye entonces que la comuna 10 está absorbiendo los eventos de los que antes se ocupaba la 9 y la 7 respectivamente. Algo similar sucede con los crímenes atendidos por facilities pertenecientes a las comunas 3 y 4: cuando se pasa de la política benchmark a la flexible, ambas comunas atienden menos crímenes, pasando la comuna 2 a aumentar su actividad (absorbe esos eventos). Estos descubrimientos nos dan la pauta de que, a la hora de responder de manera secuencial, la libertad de acción intercomunal puede resultar especialmente interesante en el oeste y el centro de la ciudad.

En el *Gráfico 3* el eje vertical representa la distancia total recorrida en km y el horizontal la comuna. Las barras celestes simbolizan la política benchmark y las azules la flexible. En el *Gráfico 4* el eje vertical simboliza el porcentaje de aumento/descenso (siendo 1 el 100%) de la cantidad total de km por comuna cuando se pasa de la política benchmark a la flexible, el eje horizontal representa a las comunas en cuestión.

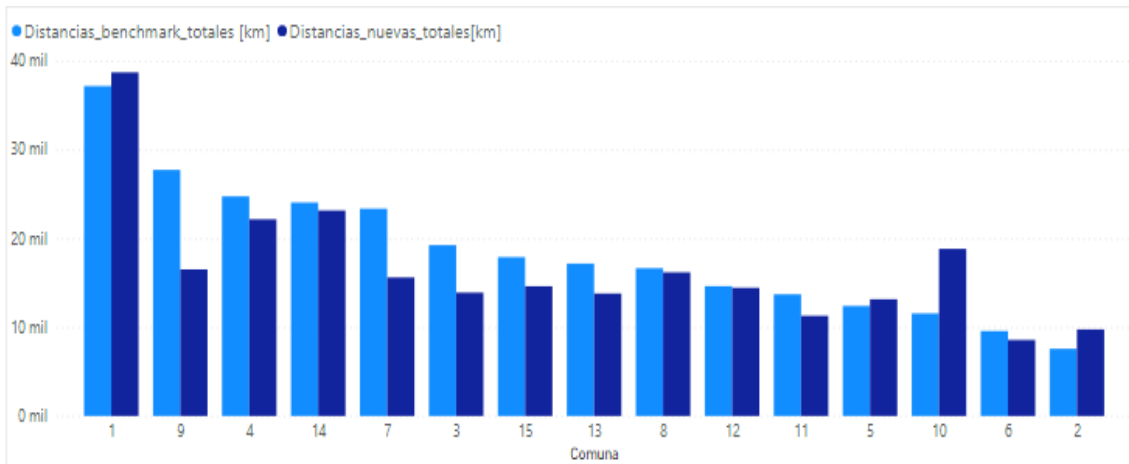


Gráfico 3 Distancias recorridas por los patrulleros en 4 años por comuna en situación benchmark (respetando límites comunales) y en situación nueva (sin respetarlos).

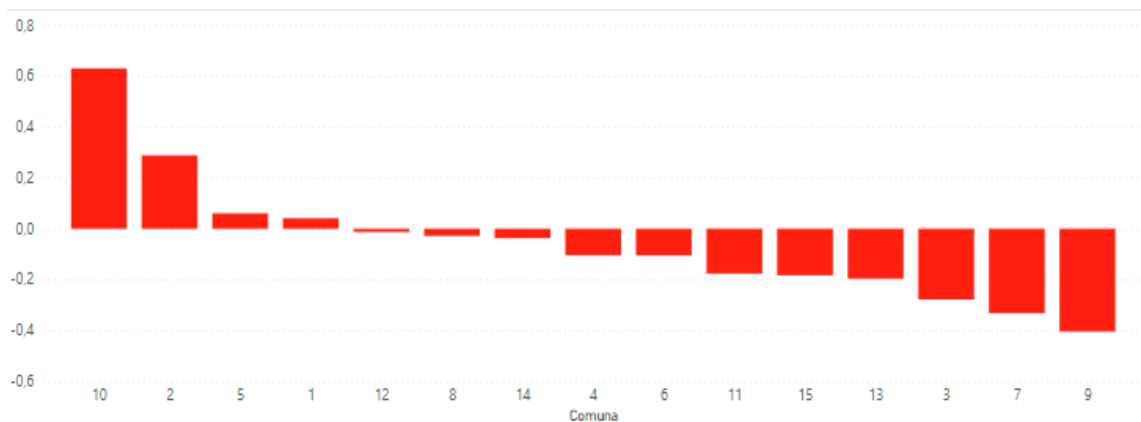


Gráfico 4 Aumento (o descenso) porcentual respecto a los km recorridos pre y post eliminación de la restricción (por comuna)

Desde un punto de vista semanal, las distancias totales oscilan sobre una constante, no tienen estacionalidades ni picos. En promedio la distancia total que implican estas asignaciones en la situación benchmark es 1333 km mientras que en la situación flexible se obtiene una media de 1204 km. Se mejora en (casi) un 10% la distancia total semanal.

Adentrándose un poco más en los crímenes de resolución intercomunal, se encuentra que dentro de este enfoque el 12,7% de los crímenes fueron asignados a facilities provenientes de otras comunas. Además, semanalmente 274 crímenes en promedio fueron asignados de manera intercomunal.

Para concluir esta sección, se muestra un análisis sobre las fronteras intercomunales más activas y las menos activas. El resultado se puede ver reflejado en la siguiente imagen:

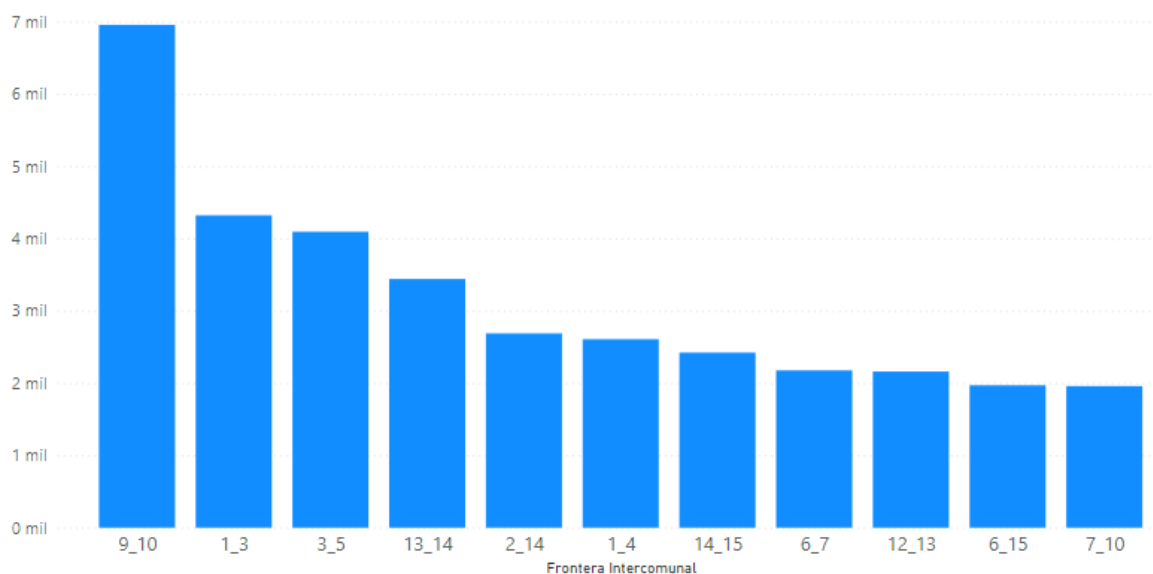


Gráfico 5 Cantidad de crímenes resueltos de manera intercomunal por frontera entre comunas

En este gráfico (*Gráfico 5*) el eje vertical representa la cantidad de crímenes y el eje horizontal (cada barra) representa un límite intercomunal. Por ejemplo, la barra más alta de este gráfico representa el límite entre la comuna 9 y la 10.

Vemos que las fronteras más activas son la 10-9 ( Floresta, Versalles, Mataderos, Parque Avellaneda), la 1-3 (Congreso, Once), la 3-5 (Almagro/Balvanera y Boedo/San Cristóbal) y la 13-14 (Bosques de Palermo, Palermo Hollywood, Colegiales) en ese orden. Todos estos lugares podrían sacarles especial provecho a la extinción de fronteras jurisdiccionales. Para más claridad se plasmará en el siguiente mapa:

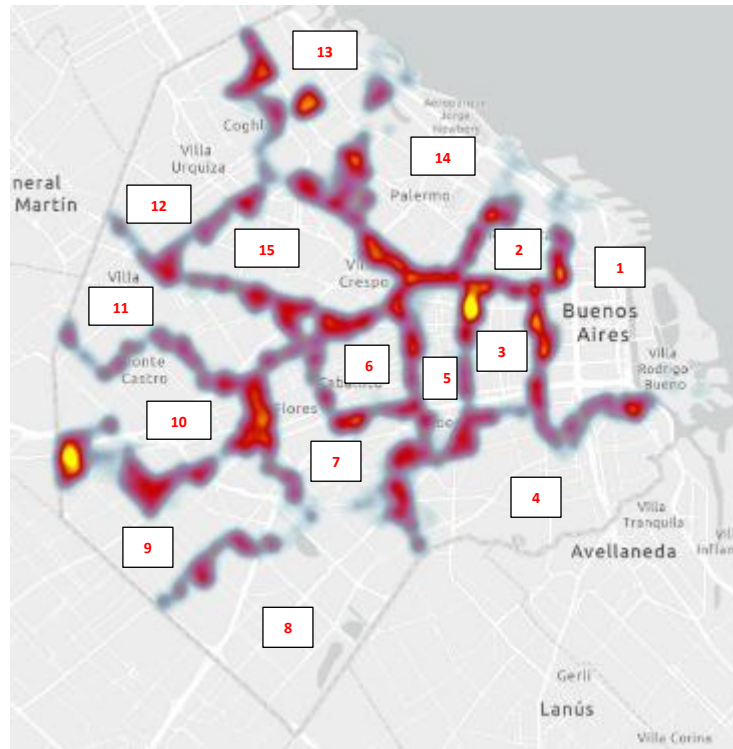


Ilustración 5 Mapa de calor de crímenes atendidos intercomunales a lo largo de 4 años. Escala azul-amarillo, mientras más amarillo mayor concentración de eventos.

En la *Ilustración 5* se puede apreciar un mapa de calor de la CABA. El mismo refleja la actividad intercomunal a lo largo de 4 años si se sigue la política flexible. Mientras más amarilla es una zona, mayor densidad de actividad intercomunal posee. Dicho de otra manera, mientras más amarilla un área, mayor cantidad de eventos atendidos intercomunales en esa área. Se agregan carteles con los números de las comunas para más claridad.

De esta ilustración se pueden extraer algunas intuiciones hasta ahora imperceptibles:

- **La densidad de eventos “afina” la zona de asignación intercomunal:** Uno puede inferir esto al comparar el comportamiento de la frontera 9-10 (suroeste) con las 1-3 (este) y la 3-5 (este). Estas 3 fronteras encabezan la lista de las 3 con más actividad intercomunal, sin embargo, las áreas de acción intercomunal correspondiente a las fronteras 1-3 y 3-5 son angostas (focalizadas sobre las calles Entre Ríos y Sánchez de Loria respectivamente) mientras que la correspondiente a la 9-10 es ancha. De hecho, gran parte del territorio de la comuna 9 figura pintado en el mapa. Esto quiere decir que crímenes relativamente “mediterráneos” fueron resueltos de manera intercomunal, mientras que en las fronteras del microcentro (donde la densidad de crímenes es mucho mayor que en el oeste) la acción intercomunal se lleva a cabo efectivamente sobre el límite entre comunas. La *Ilustración 6* detalla mejor esta intuición, en ella se puede ver a la izquierda la frontera 9-10 (Liniers) y a la derecha las fronteras 1-3 y 3-5 (microcentro).

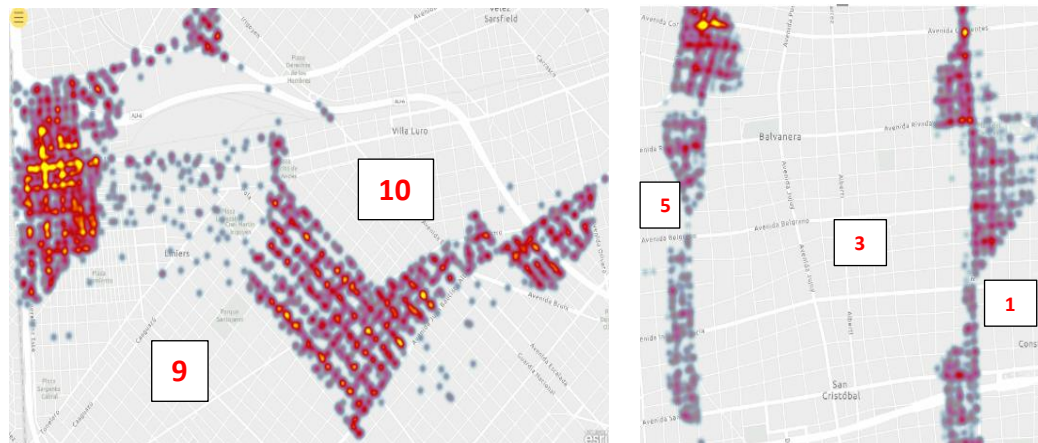


Ilustración 6 Detalle de la Ilustración 5 en la frontera 9-10 (izquierda) y la 1-3; 3-5 (derecha)

- **Palermo podría necesitar un emplazamiento policial:** Viendo el norte de la ciudad se puede apreciar que se usaron varios efectivos de la comuna 14 (Palermo) para cubrir crímenes de la comuna 13 (Belgrano) sucedidos “tierra adentro”. La principal intuición frente a esto (que será luego corroborada en el análisis de relocalización de comisarías) es que la zona de Palermo Soho posee una densidad de crímenes considerable pero no se encuentran emplazamientos policiales (comisarías) en sus cercanías (por lo menos ninguno que figure en la base de comisarías de la cual se nutre esta tesis). Debido a esto se genera un stress sobre los patrulleros pertenecientes a las comunas 15 y 13 que atienden crímenes pertenecientes a la comuna 14 (notar que estas fronteras se “ensanchan” hacia Palermo). Frente a este hecho los patrulleros de Belgrano agotan su capacidad y crímenes sucedidos en la lejanía de la frontera 13-14 son atendidos por patrulleros pertenecientes a la comuna 14.
- **La poca urbanización podría “pulverizar” la acción intercomunal:** Se observa que los puntos de convergencia entre fronteras (exceptuando la 14-13-15 donde ocurre el fenómeno del que se habla en el punto anterior) son puntos de alta densidad de actividad intercomunal donde el radio de acción compartido se limita a áreas reducidas (mirar por ejemplo la frontera 1-3-4; Constitución). Dentro de estas fronteras destaca a la vista la 7-8-4, en la cual la zona de acción intercomunal parece implicar un radio de acción mucho mayor. ¿Qué diferencia este límite intercomunal de los demás? Coincide con áreas de poca urbanización: Barrio 1-11-14 y Barrio Zavaleta hasta las cercanías con el Riachuelo. Para graficar esta idea, la Ilustración 7 muestra las fronteras intercomunales 2-3-5-6-14-15 y 7-9-10-11. Estas 2 fronteras múltiples son mucho más “nítidas” que la 3-4-5-7 donde el accionar se dispersa (Ilustración 8).



Ilustración 7 Detalle de la Ilustración 5 en la frontera múltiple 2-3-5-6-14-15 (izquierda) y la frontera múltiple 7-9-10-11 (derecha)

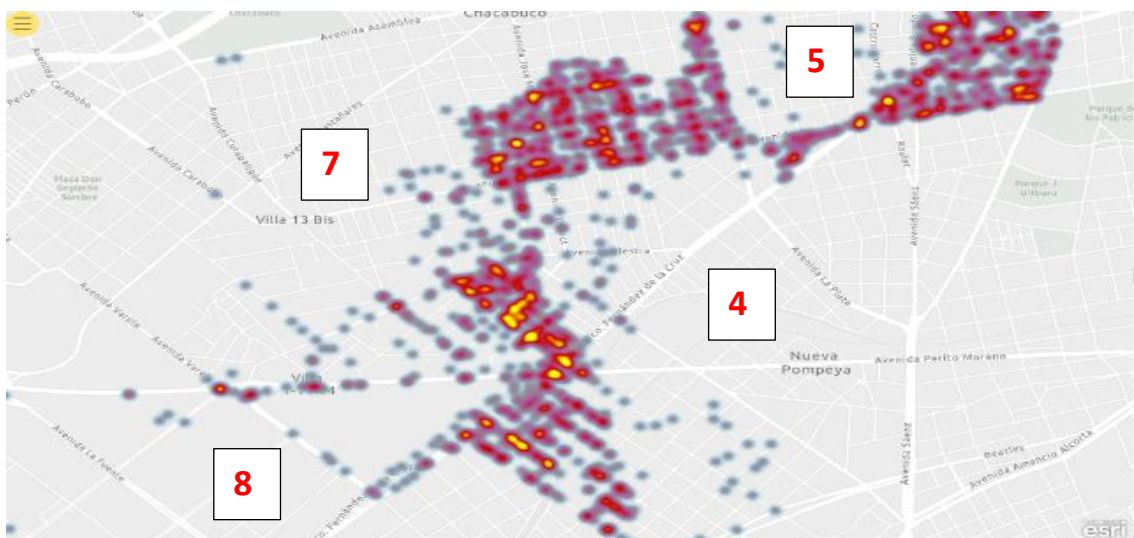


Ilustración 8 Detalle de la Ilustración 5 en la frontera múltiple 4-5-7-8

Por último, es interesante ver que en la *Ilustración 5* la zona de Liniers alrededor del estadio Amalfitani (frontera 9-10), la zona del Abasto (frontera 3-5) y la del Congreso (1-3) destacan por su gran concentración de crímenes. Por lo tanto se puede decir que este análisis sirvió para identificar exactamente los puntos calientes sobre las fronteras que se sabía de antemano (gracias al análisis anterior) que tenían más actividad intercomunal.

### Sobre las reales urgencias

Este enfoque fue abordado desde la postura intencional de tratar a absolutamente todos los crímenes dolosos como si fueran urgentes. Esta postura responde a como fue planteado el modelo: apenas un crimen ocurre debe ser atendido inmediatamente. La realidad es que no todos los crímenes dolosos poseen la misma gravedad, y por este motivo es lógico pensar que los más graves serán atendidos de manera más urgente por la fuerza policial.

La presente subsección pretende indagar un poco más sobre este aspecto. Para esto los crímenes serán clasificados en 2 grandes grupos: premeditados (graves) y no premeditados (leves).

Luego, se le aplicará el mismo método explicitado en la subsección *Método* del presente enfoque solamente a los crímenes considerados graves (y, por lo tanto, urgentes). La finalidad de esto es observar si la eliminación de la restricción comunal tiene efectos diferentes a los observados hasta ahora cuando sólo se contemplan crímenes graves.

La base de crímenes posee campos que permiten identificar la naturaleza de los sucesos en ella registrados, se divide a los crímenes (excluyendo a los siniestros automotores) en 3 grandes categorías: homicidios, robos violentos (automotores y simples) y hurtos sin violencia (automotores y simples). Se considerarán entonces graves a los homicidios y los robos violentos, mientras que los hurtos serán considerados delitos leves.

Habiendo hecho esta clasificación, y antes de aplicar el método propiamente dicho, se pueden apreciar algunas intuiciones que los datos arrojan:

- El 60% de los crímenes sucedidos en el período contemplado en la tesis se pueden clasificar en la categoría de graves, siendo el restante 40% delitos leves no premeditados (hurtos). Los homicidios representan sólo un 0,11% del total de crímenes.
- Se calculó una métrica bautizada “rgrave” que consta de una proporción entre delitos graves y leves:

$$r_{grave} = \frac{\text{Cantidad de crímenes graves ocurridos en 4 años}}{\text{Cantidad de crímenes graves ocurridos en 4 años}}$$

Se encontró que los barrios en los cuáles esta proporción es mayor son los usualmente clasificados de “inseguros” (resultado lógico), mientras que los barrios en los cuáles esta proporción es menor responden a 2 perfiles: microcentro y el noroeste residencial. Una probable explicación es que el noroeste residencial posee poca actividad delictiva y en el microcentro se llevan a cabo muchos hurtos (delitos leves).

- Se realizó un mapa de calor específicamente de *homicidios*. En el mismo se pueden apreciar como zonas “calientes” a:
  - Barrio 1-11-14
  - Barrio Los Piletos
  - Barrio Zavaleta
  - Constitución
  - Once

Barrio	Grave/Leve
Constitución	2,81
Villa Soldati	2,68
Nueva Pompeya	2,63
Parque Chacabuco	2,52
Barracas	2,34

Tabla 20 Cantidad de crímenes graves ocurridos entre el 2016 y el 2019 sobre cantidad de crímenes leves ocurridos en el mismo períodos para los 5 barrios donde esta métrica obtuvo valores más altos

Barrio	Grave/Leve
San Nicolás	0,74
Montserrat	0,93
Parque Chas	1,07
Villa Pueyrredón	1,16
Villa Devoto	1,21

Tabla 21 Cantidad de crímenes graves ocurridos entre el 2016 y el 2019 sobre cantidad de crímenes leves ocurridos en el mismo períodos para los 5 barrios donde esta métrica obtuvo valores más bajos

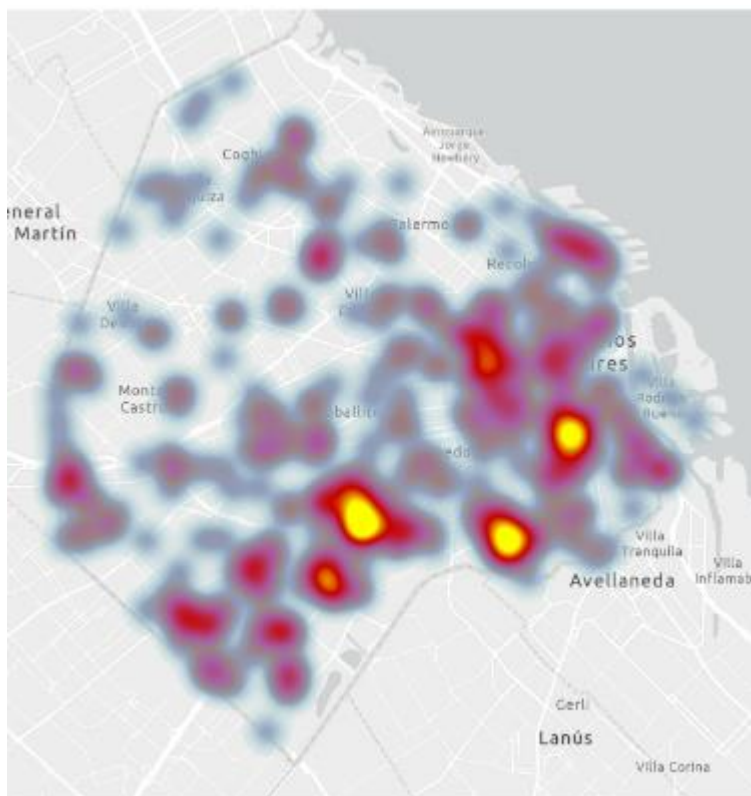


Ilustración 9 Mapa de calor para los homicidios cometidos entre 2016 y 2019

El análisis secuencial aplicado a esta nueva base que contempla solo delitos graves arroja resultados que difieren muy poco de aquellos encontrados cuando se toma en consideración a todos los crímenes independientemente de su gravedad. Al igual que en aquel primer análisis, las métricas correspondientes a la situación benchmark son muy similares a las correspondientes a la situación flexible. Con respecto al análisis intercomunal, las mismas fronteras siguen ocupando los primeros puestos.

Métrica	Política benchmark	Política flexible
Capacidad usada promedio patrullero	4	4
Capacidad usada promedio comisaría	6	6
Cantidad promedio de patrulleros activados	153	158
Cantidad promedio de patrulleros que agotan su capacidad	10	8

Tabla 22 Métricas de interés para los 2 tipos de políticas adoptadas cuando sólo se consideran delitos de gravedad

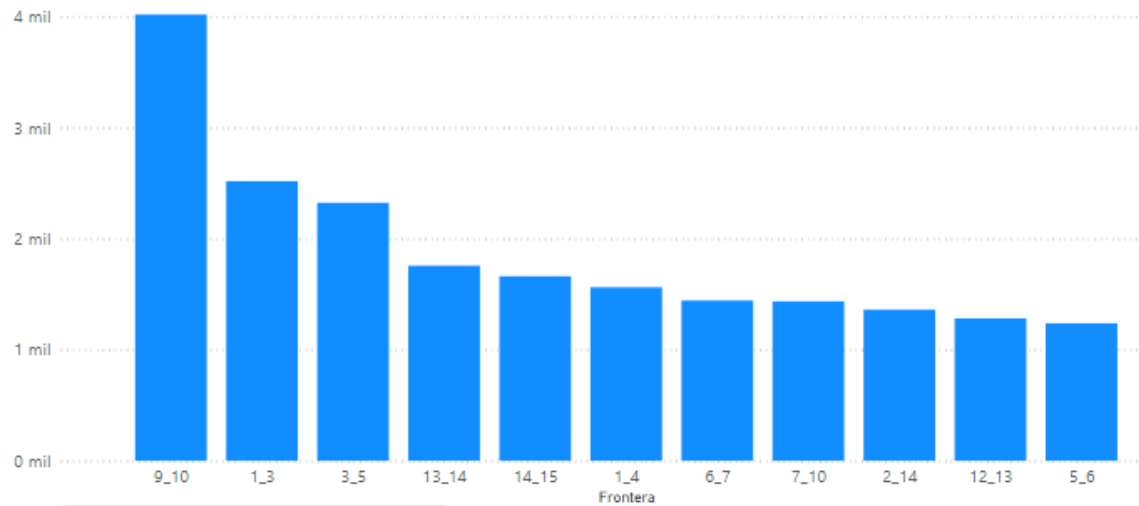


Gráfico 6 Cantidad de crímenes resueltos de manera intercomunal por frontera entre comunas sólo para los delitos catalogados como graves.



## Enfoque de relocalización de comisarías

Las comisarías de la CABA fueron emplazadas durante el transcurso del siglo pasado. Teniendo en cuenta que es relativamente nueva la tendencia de que empresas y gobiernos tomen decisiones basándose en datos, es probable que el emplazamiento de las mismas haya respondido a otro tipo de criterios. A su vez, la estructura y la dinámica de la ciudad también ha sufrido numerosos cambios. En este análisis nos planteamos una situación hipotética en la que tenemos la oportunidad de “refundar” las 49 comisarías de la ciudad, buscando analizar el potencial de mejora en métricas de performance cuando se tiene la oportunidad de ubicar las comisarías en lugares nuevos.

Dicho así, se analizarán 4 situaciones:

- **Benchmark:** performance de las 49 comisarías originales cuando deben cumplir los límites comunales.
- **Originales libres:** performance de las 49 comisarías originales cuando se les da libertad de acción intercomunal.
- **Relocalización restringida:** performance de 49 comisarías elegidas bajo un criterio de optimización de la distancia a recorrer. Se respetan los límites comunales
- **Relocalización total:** performance de 49 comisarías elegidas bajo un criterio de optimización de la distancia a recorrer. Cualquier comisaría puede atender cualquier crimen, independientemente de en qué comuna hayan sucedido.

El benchmark se compara frente a la situación *originales libres*, analizando el comportamiento comunal de cada enfoque (cuánto cubre cada comuna, cuántos eventos son atendidos intercomunamente cuando termina la restricción comunal). Se lleva a cabo una comparación análoga entre el enfoque de relocalización total y el de relocalización restringida.

Cabe aclarar que si bien es una de las 4 situaciones contempladas, la instancia benchmark no es una instancia que se necesite resolver mediante un modelo de optimización, simplemente se computan las métricas deseadas sobre la solución que representa el emplazamiento de las comisarías en la actualidad.

La motivación para este análisis consiste en la exploración del uso de modelos de optimización para la toma de una decisión que fue implementada hace poco tiempo. Luego de pronunciarse los decretos 639 y 640 se resolvió eliminar algunas comisarías y relocalizar otras; el Mapa del Delito y las cámaras de seguridad de la ciudad (entre otros dispositivos) participaron de esa decisión de cierre de unidades y posterior relocalización. Lo que no se aclara en la información recopilada, se supone que por una cuestión de confidencialidad o porque simplemente no se dio a conocer de manera masiva, es qué clase de técnicas matemáticas usaron para llevar a cabo dicha decisión, dando lugar a la posibilidad de que se hayan usado los datos de manera descriptiva.

Es interesante notar que los resultados de este análisis coincidieron con lo que la policía *sí dio a conocer*: las zonas a reforzar son el oeste y el sur de la ciudad. Aunque este análisis (como se verá más adelante en la sección resultados) también vislumbra otras áreas donde potencialmente se podría reforzar la presencia policial.

Las distintas situaciones que plantea este enfoque son comparables entre sí ya que entre los 4 modelos hay dos aspectos que se mantienen: la instancia (cantidad y ubicación de eventos,

crímenes) y la cantidad de comisarías a localizar ( $p$  en el modelo  $p$ -median, siempre 49). Si no fuese así, los resultados no se podrían comparar entre sí.

## Realidades, suposiciones, convenciones

A diferencia del enfoque anterior, ya no se diferencian los puntos correspondientes a la base de facilities entre comisarías y patrulleros. En el presente enfoque, consideramos que todos los puntos de la base de facilities (274 puntos formados por las 49 comisarías reales que posee la CABA y 15 puntos aleatorios por comuna) son puntos factibles para instalar una comisaría.

En este análisis no se contará con 208 instancias como en el análisis anterior (una semana no equivaldrá a una instancia) si no que se usará la instancia agregada.

Se resolverá la asignación de cada crimen a un facility (comisaría) emulando al paper de Chow [XVII], mediante un modelo de  $p$ -median. Estos son modelos de optimización que implican resolver asignaciones minimizando o maximizando una magnitud (y obedeciendo ciertas restricciones). En nuestro caso, se buscará minimizar la distancia total de la asignación de crímenes a comisarías.

El modelo asume que la capacidad de las comisarías no es un limitante, y puede considerarse infinita. Dicho de otra manera, una sola comisaría podría encargarse de todos los crímenes de la ciudad según este modelo. Además, se supone que todos los patrulleros parten siempre desde una comisaría. Estas suposiciones serían poco realistas si este fuera un enfoque que apunta a la operatoria en el día a día, pero no es el caso. Este análisis servirá más bien para identificar y visualizar “hot spots” [XXXIII], asimismo para saber que tan bien están emplazadas las comisarías actualmente, entendiendo por “buena ubicación” a una comisaría que está ubicada en las zonas donde hay mayor criminalidad.

En relación a las métricas, se mantiene el tipo de longitud (Manhattan) y la equivalencia grado/kilómetro ( $111,12 \text{ km} = 1^\circ$ ) usados en el análisis anterior.

## Modelo

Se plantea un modelo de optimización tipo  $p$ -median. Estos modelos son del tipo PLE y, como se dijo ya en la introducción, suelen ser usados para emplazar estructuras cuando el único factor a contemplar en la función objetivo es la distancia de asignación.

Consideramos un conjunto  $I = \{1, \dots, m\}$  de crímenes o eventos, así como también un conjunto  $J = \{1, \dots, n\}$  de posibles locaciones para las comisarías. La distancia a recorrer por un patrullero que atiende el evento  $i \in I$  saliendo desde la comisaría  $j \in J$  la denotamos como  $d_{ij}$ . A fin de imponer las condiciones respecto a los límites comunales, dado un evento  $i \in I$  denotamos con  $\text{Comui}$  a la comuna donde ocurre. Análogamente,  $\text{Comuj}$  será la comuna correspondiente a la locación  $j \in J$ .

Con respecto a las variables, se cuenta con 2: por un lado  $y_j$ , la cuál es una variable dicotómica que toma el valor de 1 en caso de que una comisaría esté abierta o 0 en el caso de que esté cerrada. Por otro lado se cuenta con la variable  $x_{ij}$ , la misma también es dicotómica tomando un valor de 1 cuando la comisaría “ $j$ ” es asignada al evento “ $i$ ” o 0 en caso contrario.

### **Función Objetivo:**

$$\text{Min } (\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} dij * x_{ij})$$

### **Restricciones:**

- A.  $\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I$
- B.  $y_j \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I$
- C.  $x_{ij} \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I \text{ y } \forall j \in J$
- D.  $x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I \text{ y } \forall j \in J$
- E.  $\sum_{j \in J} y_j = 49 \quad \forall i \in I$

¿Qué significan estas restricciones? *A* implica que a cada crimen se le asignará solo una comisaría. *B* y *C* hablan de la condición de las variables (dicotómicas). *D* implica que sólo a las comisarías abiertas se les puede asignar eventos y *E* habla de la cantidad de comisarías que deben ser abiertas (49).

Así planteado el modelo, lo que se resuelve es la situación de relocalización. Si lo que se desea es resolver la situación de relocalización restringida, se debe aplicar un preprocesamiento a las variables  $x_{ij}$ , sometiéndolas al condicional  $Com_{ui} = Com_{uj}$  y asignándoles el valor de 0 a las variables  $x_{ij}$  que no lo cumplan.

Al resolver las situaciones benchmark y *originales libres* se debe incorporar otra restricción. La misma básicamente implica que las 49 primeras comisarías (las originales) estarán abiertas. Benchmark se diferencia de *originales libres* porque incorpora el mismo recurso que diferencia relocalización de relocalización restringida (asignarle el valor de 0 a los  $x_{ij}$  que no cumplan el condicional  $Com_{ui} = Com_{uj}$ ). La restricción en cuestión es:

$$y_j = 1 \quad \forall j \in \{1; 2; 3; \dots; 49\}$$

Para efectivamente resolver estos modelos de optimización se recurrirá al software Cplex. El mismo es un software desarrollado por IBM y que tiene por principal funcionalidad la resolución de modelos de optimización de la más diversa índole.

El resultado de todo este análisis son 4 sets de asignaciones. Las mismas serán analizadas en la sección siguiente.

## Resultados

A diferencia del enfoque anterior, en este las asignaciones no se guían por una heurística de resolución. Las mismas serán aquí formadas a partir de la resolución de un modelo de optimización (p-median). Mirándolo así, se esperarían distancias de asignación mucho menores en comparación con el enfoque anterior; pero no se debe olvidar que en el enfoque anterior se podían usar los 274 puntos correspondientes a la base de facilities; y aquí solo se pueden usar 49.

Así como el enfoque anterior daba a entender qué tanto mejor se puede atender una urgencia borrando los límites jurisdiccionales; en esta sección lo que se aborda es que tan bien se puede  *cubrir el territorio*  al realizar la misma acción.

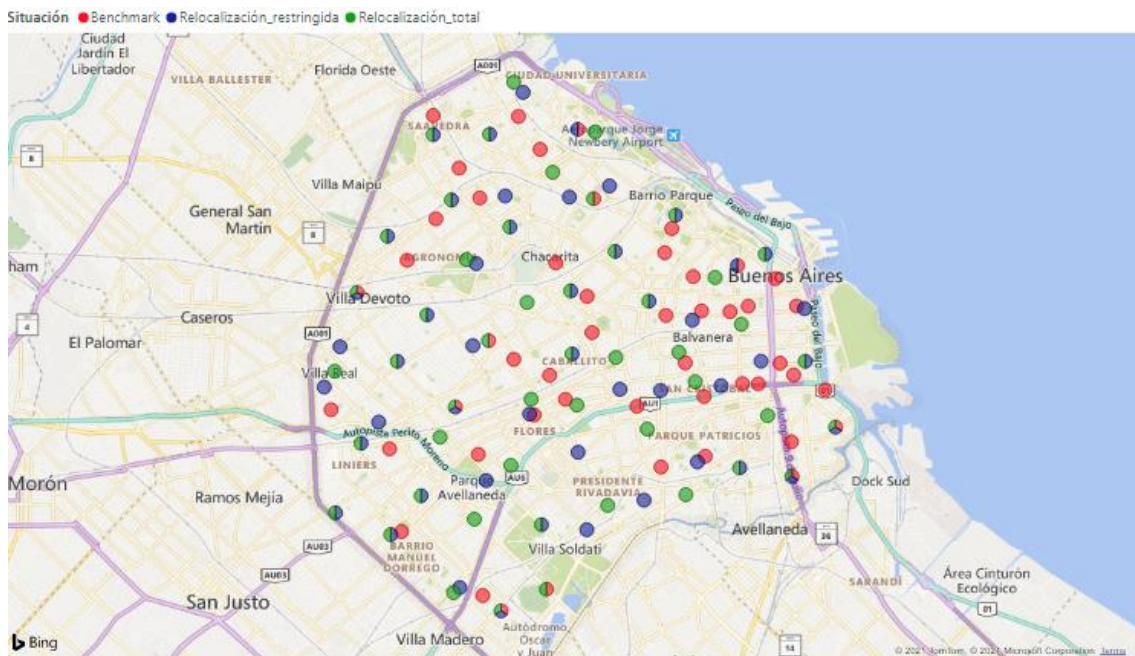
Estos resultados se analizarán mediante un script escrito en lenguaje R, que calculará KPIs a los que se dotará luego de sentido.

### Observaciones generales

El siguiente mapa condensa la información de las soluciones obtenidas en los diferentes contextos, localizadas sobre el mapa de la ciudad para poder tener una primera aproximación visual respecto a su distribución geográfica:

- Comisarías originales (rojo)
- Comisarías emplazadas óptimamente respetando límites comunales: **relocalización restringida** (azul)
- Comisarías emplazadas óptimamente sin ninguna restricción: **relocalización total** (verde)

Cuando un punto presenta más de un color, significa que cumple más de un criterio. Por ejemplo; verde y rojo significa que es una comisaría original y que, además, fue uno de los puntos seleccionados al emplazar las comisarías de manera óptima y sin respetar límites intercomunales. Los puntos rojos (comisarías originales) son comunes a 2 enfoques de los 4 presentados: benchmark y originales libres.



*Ilustración 10 Comisarías originales (rojas) comisarías seleccionadas bajo el criterio de relocalización restringida (azul) y total (verde).*

Lo que se puede notar en este mapa es que, de las 49 comisarías actuales de la ciudad, solo 10 responden a alguno de los dos criterios de optimización aquí planteados y, dentro de esos 10, solo 8 responden al criterio de relocalización total (sin restricción comunal).

Casos excepcionales son las comisarías 4C (La Boca), 4D (Barracas), 8C (Villa Lugano), 11B (Villa Devoto) y 10A (Floresta) que responden a los 3 criterios: existen y están óptimamente ubicadas desde un punto de vista comunal y total.

De las 49 locaciones seleccionadas bajo el criterio de relocalización total, 25 responden también al criterio de relocalización restringida (51%). Es decir, 25 comparten colores azul y verde. Lo que llama la atención es que muchos de estos puntos de doble coincidencia están en zonas de la ciudad muy alejadas de cualquier comisaría existente. Un efecto parecido se da

cuando una locación seleccionada dentro del criterio de relocalización total (punto verde) se encuentra muy cercana a un punto seleccionado dentro del criterio de relocalización restringida (punto azul) pero muy alejados de los puntos rojos. Este análisis podría indicar que en todas estas zonas podría ser relevante reconsiderar el emplazamiento de una estructura policial. Para enumerar algunos ejemplos:

- Norte de Nuñez (en las cercanías del estadio de Defensores de Belgrano)
- Zona entre la Estación Villa Pueyrredón y la Avenida General Paz
- Agronomía
- Plaza Aristóbulo del Valle
- Límite CABA-Santos Lugares
- Plaza Alfredo Palacios
- Barrio Los Piletones
- Estación Soldati
- Pompeya (zona entre Barrio 11-14 y Barrio Zavaleta)
- Palermo Soho (Plaza Serrano)

En el siguiente gráfico (*Gráfico 7*) se compara la cantidad de comisarías por comuna dependiendo del enfoque (originales, relocalización restringida y relocalización total). Se utiliza el mismo código de colores que en la *Ilustración 6*. El eje vertical representa la cantidad de comisarías y el horizontal de que comuna se trata. Cada barra es la cantidad de comisarías asignada a la comuna X bajo un modelo Y (representado por su color).

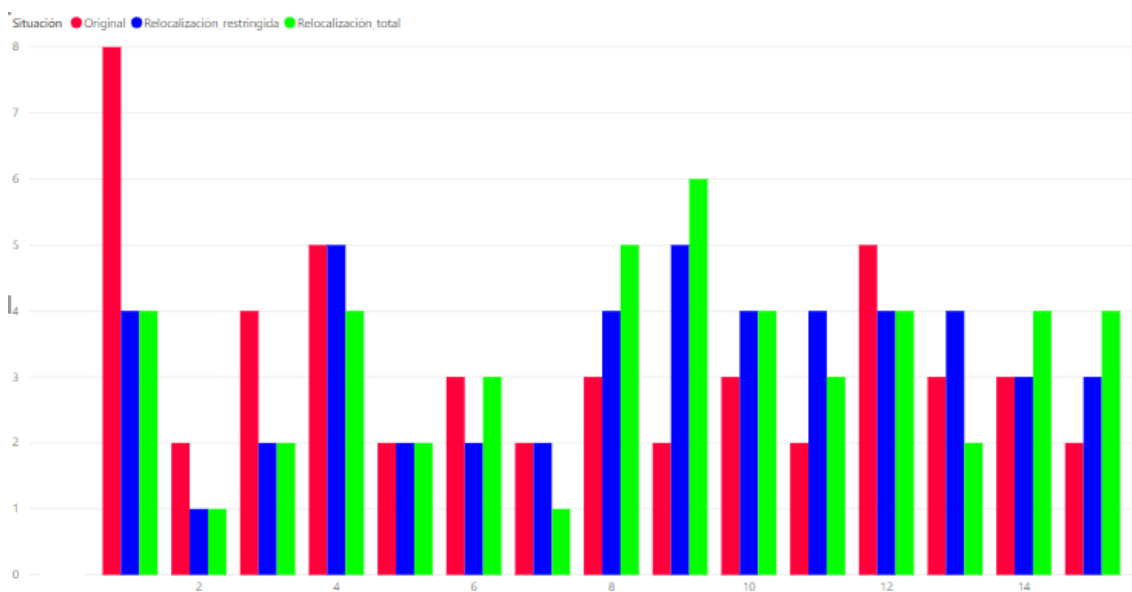


Gráfico 7 Cantidad de comisarías por comuna para cada situación.

Lo que se percibe en este gráfico es que las comunas del centro y microcentro de la ciudad (1,2,3 y 4) están superpobladas de comisarías mientras que las del sur y las del oeste (9,8,11,10) están subpobladas. Frente a este hecho aparente, no hay que olvidar que estos resultados derivan de un modelo de p-mediana. El mismo no contempla capacidades y, por lo tanto, ignora la cantidad de delitos que se cometen en el microcentro en comparación con el resto de la ciudad. Además, la instancia agregada de la que partimos no captura bien este hecho, que en una semana promedio hay mucho más crímenes en el microcentro que en el resto de la ciudad, debido a que está compuesta de un punto (*crimen promedio*) por cada cuadrado de 300 m independientemente de que uno se encuentre en un lugar de alta densidad de crímenes o en

un lugar de baja densidad de crímenes. La conclusión a la que se debería llegar viendo este gráfico no es que la comuna 1 tiene “demasiadas” comisarías (esta gran cantidad de comisarías en el lugar se compensa con la gran actividad delictiva que allí aflora); si no más bien la misma conclusión a la que se llegó en el análisis hecho hasta ahora: que *el sur y el oeste de la ciudad poseen muchas zonas que están muy alejadas del radio de acción de las comisarías tal como están emplazadas hoy en día.*

Un caso excepcional es Palermo Soho (y su frontera con Villa Crespo) , esta zona queda en el medio de los radios de acción de 4 comisarías distintas ( 15A, 15B, 14A y 14B) pero, a la vez, muy alejado de cada una de ellas. Además, es una zona de alta circulación de personas (actividad comercial y nocturna). Los modelos hasta aquí considerados sostienen que en esta zona debería emplazarse de manera óptima alguna unidad policial adicional.

### **Observaciones comparativas**

Se comenzará analizando las diferencias entre las distancias obtenidas mediante los 4 modelos propuestos en esta sección. En la *Tabla 23*, cada columna representa una situación distinta y en ella se explicitarán métricas comparativas para cada una de las situaciones de este enfoque: la distancia total recorrida por todos los patrulleros, la mínima y máxima cantidad de crímenes atendidos por una comisaría y la mediana de cantidad de crímenes atendidos por las comisarías.

	<b>Benchmark</b>	<b>Originales Libres</b>	<b>Relocalización restringida</b>	<b>Relocalización total</b>
Distancia total [km]	4639,50	3592,64	3615,47	3007,93
Mínima ocupación	6	18	31	34
Máxima ocupación	162	107	80	95
Mediana	49	53	56	51

*Tabla 23 Métricas comparativas para cada situación*

Como se puede ver en la *Tabla 23*, las distancias totales de asignación correspondientes a este análisis (que involucra una sola instancia agregada) son mucho mayores a la media de las distancias semanales a las que concluimos en el enfoque de resolución de la urgencia (1333 km semanales para la situación benchmark y 1204 km semanales para la situación flexible). La razón de esto es que en el enfoque anterior, se podían usar con libertad las 274 locaciones de las que disponemos en la base de facilities, mientras que en este enfoque sólo se pueden realizar todas las asignaciones con 49 comisarías.

Como era de esperar, quitar la restricción intercomunal siempre mejora la distancia total, mejorándose en un 22,56% cuando las comisarías están fijas y corresponden a las que efectivamente existen y un 16,8% en el caso de que se deje libertad de optimización. Los órdenes de mejora son comparables; *se mejora alrededor de un 20% la distancia de respuesta cuando se anulan los límites comunales.* Por último, cabe remarcar que si se compara el benchmark frente a la situación de relocalización total; las mejoras son de un 36%. Este es un porcentaje nada despreciable y podría ser un indicio para alentar potenciales relocalizaciones en el futuro.

En lo que a distribución de la ocupación respecta, menor cantidad de restricciones implicará mayor uniformidad en la ocupación de las comisarías. Esta idea es reforzada con el uso de *Gráfico 8*. En este gráfico, el eje horizontal representa cada una de las 49 comisarías

seleccionadas en cada modelo, ordenadas de mayor a menor en cuanto a cantidad de crímenes atendidos, mientras que el eje vertical representa, efectivamente, la cantidad de crímenes atendidos. Vemos que mientras menos restrictivo es el modelo más parecido es el nivel de ocupación entre comisarías (las curvas correspondientes a los modelos de relocalización tienen menos pendiente que las correspondientes a los modelos con comisarías fijas, así como las curvas que representan a los modelos con libertad intercomunal tienen menos pendiente que aquellas que representan modelos con restricción intercomunal).

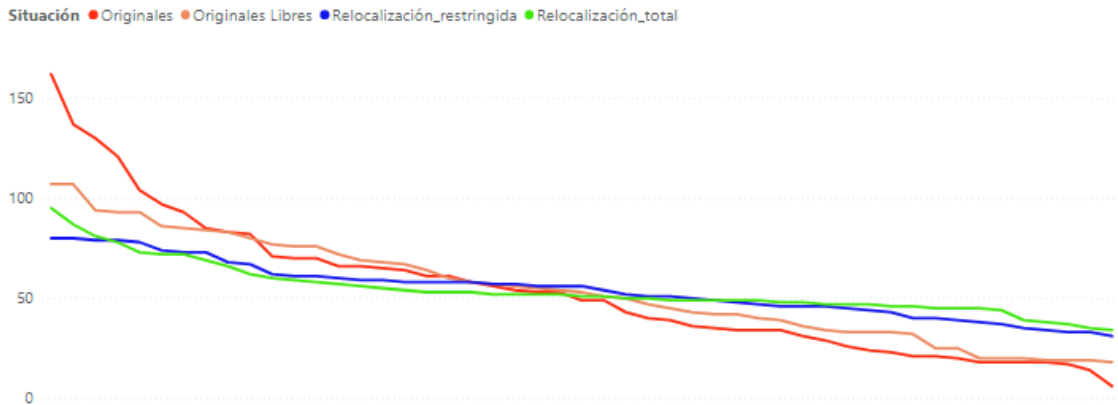


Gráfico 8 Cantidad de crímenes de los que se ocupa cada una de las 49 comisarías para los 4 modelos: Benchmark (rojo), Originales libres (rosa), relocalización restringida (azul) y relocalización total (verde).

En la presente ilustración (10) se compara la situación *originales* contra la situación *originales libres*. Mientras más grandes los puntos, más crímenes les fueron asignados durante la optimización (en otras palabras, mientras más grandes más área cubren). El color rojo corresponde a las asignaciones benchmark y el verde a las asignaciones originales libres. A modo de ejemplo: si originalmente una comisaría cubría 60 crímenes y luego de la flexibilización cubre 30, lo que se verá es un círculo grande cubierto mayormente de rojo y en menor medida de verde. Su tamaño responde al mayor resultado obtenido (60). Visualizando:

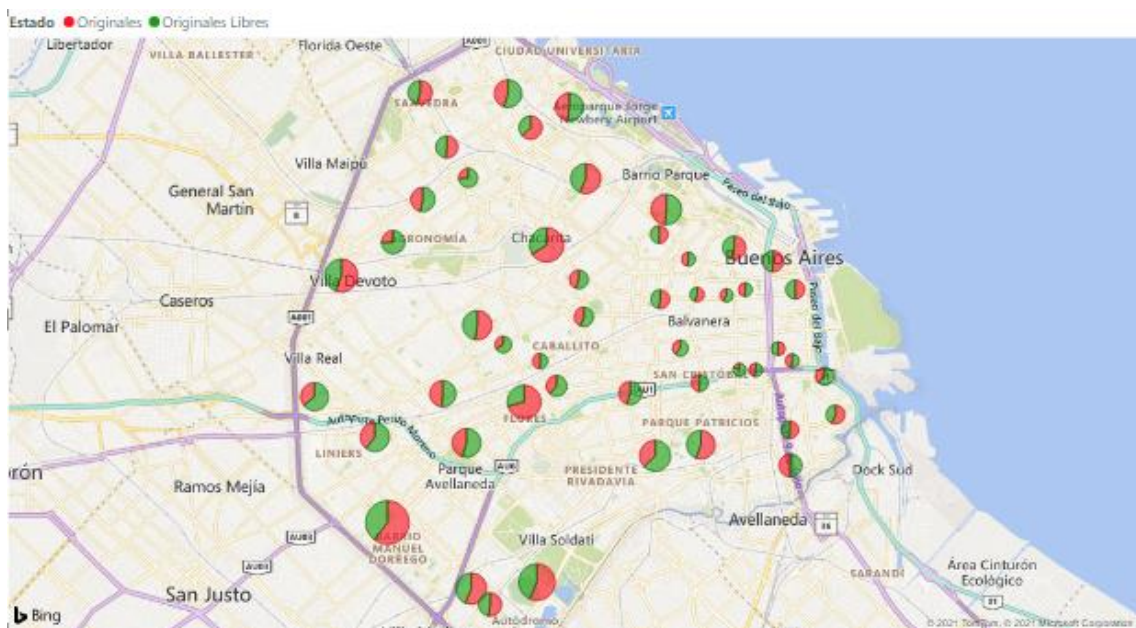


Ilustración 11 Distribución geográfica de las comisarías en situación *originales* y *originales libres*. Mientras más grande el punto más crímenes tiene asignada la locación (más área cubre)

Vemos que los puntos con mayor porción roja sufrieron un “alivio” luego de que se flexibilizara la restricción comunal, así como aquellos de mayoría verde vieron incrementada su actividad. Esto se debe a que, independientemente de la situación, la cantidad de eventos son los mismos; por lo tanto, si una comisaría atiende una menor cantidad de crímenes, es porque se los está “transfiriendo” a otra. A simple vista:

- Las comisarías 10B y 10C (dos comisarías de la comuna 10) aliviaron a la 9A (comisaría de la comuna 9).
- La 6B y 4B (comisarías de las comunas 4 y 6 respectivamente) aliviaron a la 7A (comisaría de la comuna 7).
- La 12B y 11B (comisarías de las comunas 11 y 12 respectivamente) aliviaron a la 15A (comisaría de la comuna 15).

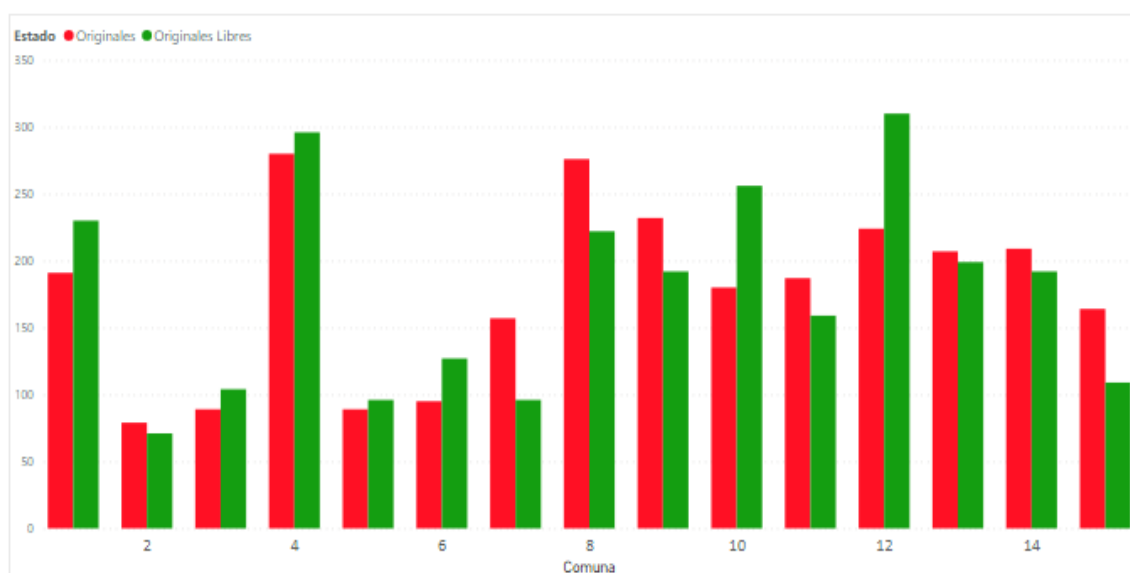


Gráfico 9 Cantidad de crímenes atendidos (superficie cubierta) por comuna en situación pre y post eliminación de la restricción comunal para las comisarías originales

En el Gráfico 9 el eje vertical representa la cantidad de crímenes atendidos y el horizontal a las comunas. Las barras rojas representan la cantidad atendida por esa comuna en la situación benchmark y las barras verdes en la situación “originales libres”.

Las comunas que post-flexibilización atendieron menos crímenes (9,8,13,14,11,15,7 y 2) se pueden interpretar como comunas que estaban abarcando mucho territorio y luego de relajar la restricción comunal “repartieron” mejor estas asignaciones.

El 24% de las asignaciones en esta comparación (benchmark vs originales libres) resultaron ser intercomunales. El análisis de fronteras mostró lo siguiente:



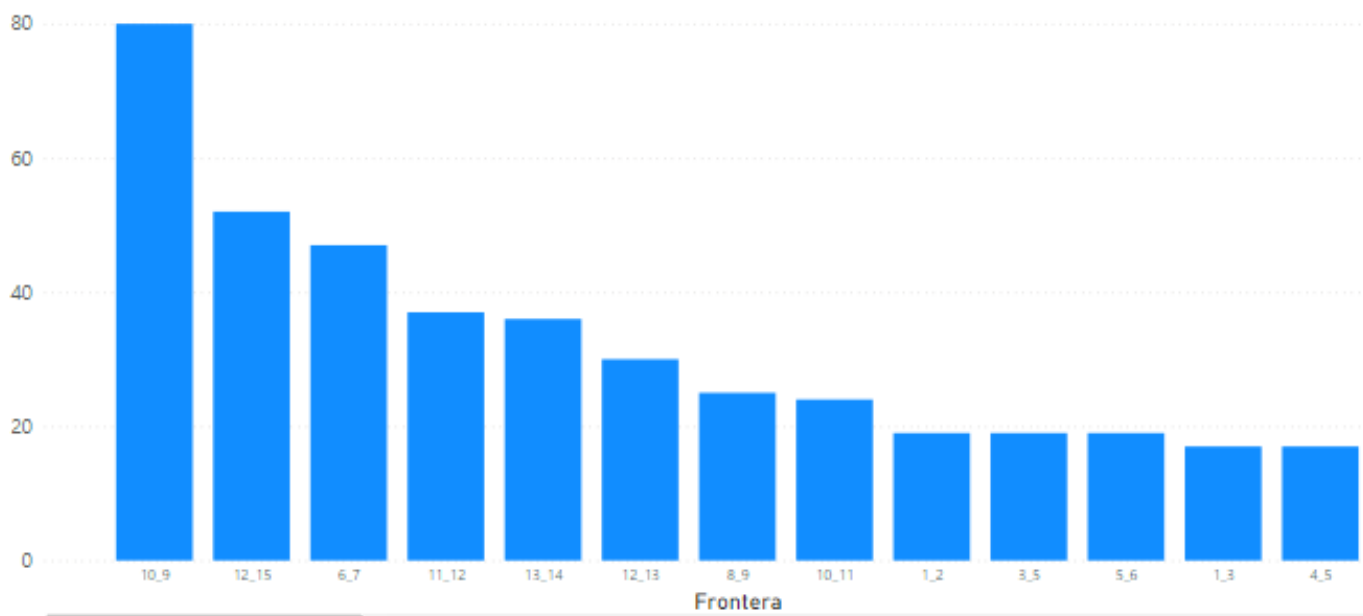


Gráfico 10 Cantidad de crímenes atendidos (superficie compartida) por frontera intercomunal para las comisarías originales

En este gráfico (*Gráfico 10*) el eje vertical representa la cantidad de crímenes y el eje horizontal (cada barra) representa un límite intercomunal.

Se puede apreciar que (al igual que en el enfoque de atención a las urgencias) la frontera más atareada es la correspondiente a las comunas 10-9. Le siguen la 12-15 y la 6-7 (a diferencia del enfoque de urgencias, en el cual la frontera 9-10 es seguida de fronteras intercomunales del microcentro). En otras palabras, la frontera 10-9 es la que más se beneficia al relajar la restricción intercomunal tanto cuando se trata de atender urgencias como cuando se trata de cubrir territorio; pero en cuanto a las siguientes, el intercambio centro/norte (12-15) y centro/sur (6-7) saca más provecho a la hora del cubrimiento del territorio y el intercambio en las fronteras del microcentro (3-5 y 1-3) a la hora de la atención de urgencias.

Comparando la situación ya no de comisarías originales y estáticas si no la relocalización de las mismas; se observa la siguiente distribución geográfica:

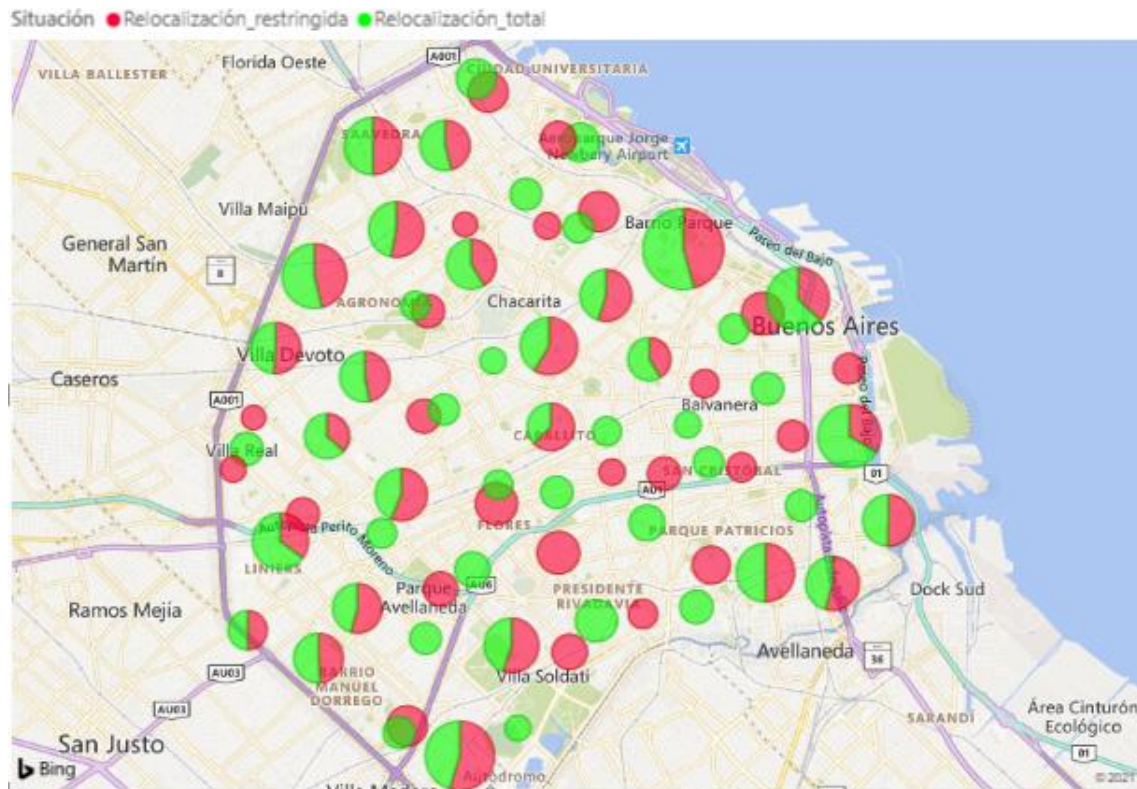


Ilustración 12 Distribución geográfica de las comisarias seleccionadas por el modelo de optimización en situación pre y post anulación de la restricción comunal. Mientras más grande el punto más crímenes tiene asignada la locación (más área cubre)

De manera de cuantificar la información mostrada en este mapa, se replica el gráfico realizado al analizar las comisarias originales bajo las 2 situaciones planteadas:

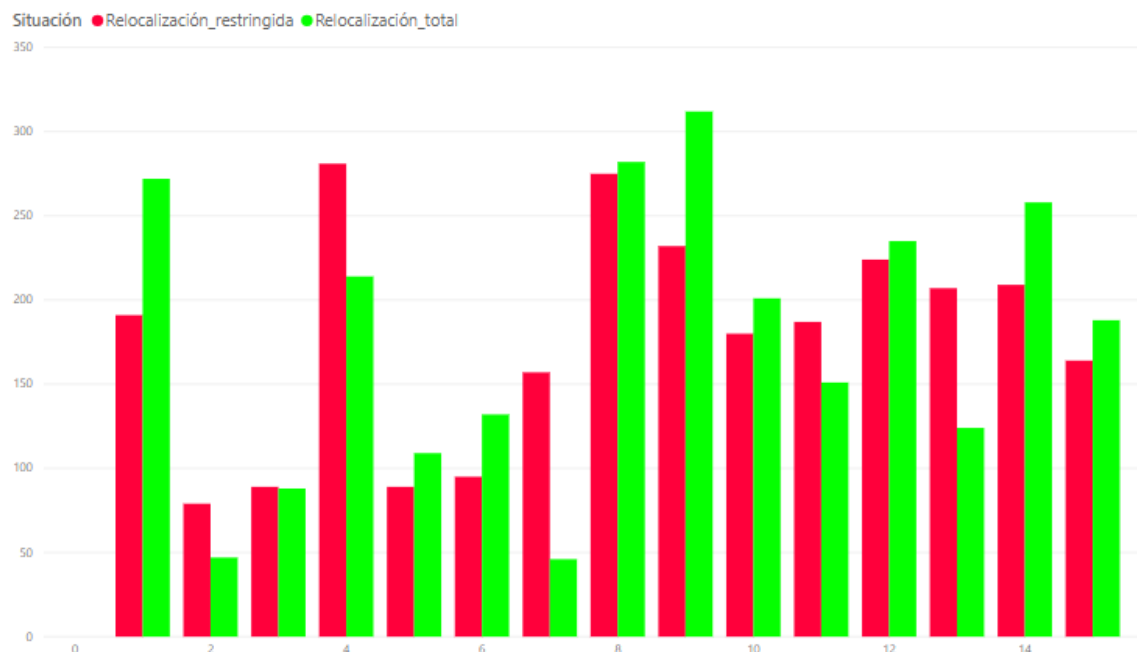


Gráfico 11 Cantidad de crímenes atendidos (superficie cubierta) por comuna en situación pre y post eliminación de la restricción comunal para las comisarias seleccionadas por la optimización

En el Gráfico 11 el eje vertical representa la cantidad de crímenes atendidos y el horizontal a las comunas. Las barras rojas representan la cantidad atendida por esa comuna en la situación

de *relocalización restringida*, mientras que las verdes simbolizan a la situación de *relocalización total*.

Se ve aquí que las comunas 7 y 4 aliviaron su situación post- restricción (la restricción comunal las obligaba a cubrir mucho territorio, al eliminarse, ese territorio fue cubierto por las comunas 9,6 y 1). Otra comuna que alivió mucho su carga fue la 13, transfiriéndole esta carga a las comunas vecinas (12,14 y 15).

Se analiza por último la relocalización sin restricción comunal. En ella el 24,56% de los crímenes se asignan intercomunales. Un porcentaje aún más alto que en el caso de las comisarías originales. Como se puede observar, también en la situación de relocalización el oeste de la ciudad toma protagonismo, siendo las fronteras 9-10; 7-9; 8-9 y 10-11 muy activas en cuanto a actividad intercomunal. Continuando con el fenómeno comentado en el párrafo anterior, la frontera “ganadora” fue la 13-14; corroborando que la comuna 14 fue responsable del “alivio” de la comuna 13.

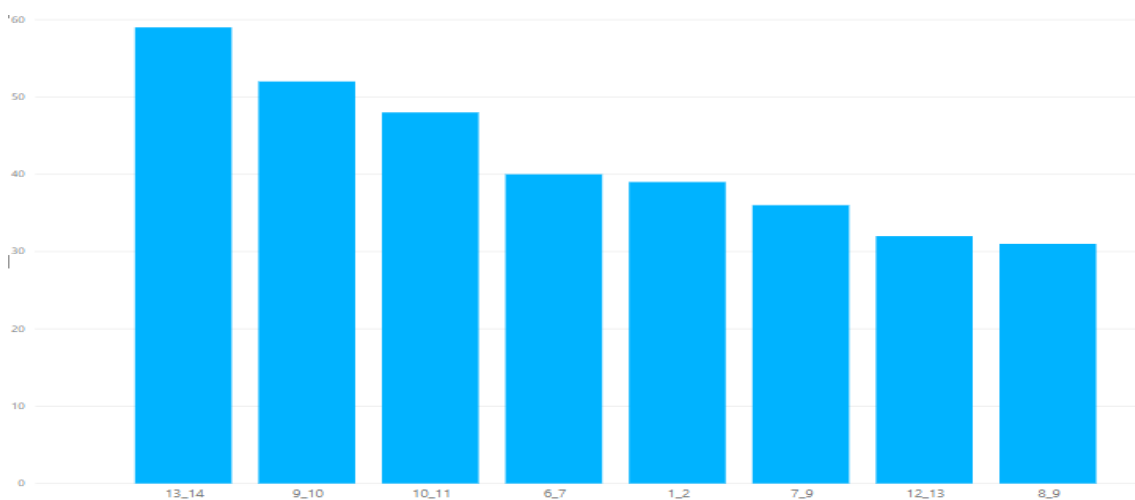


Gráfico 12 Cantidad de crímenes atendidos (superficie compartida) por frontera intercomunal para las comisarías seleccionadas mediante optimización

En este gráfico (*Gráfico 12*) el eje vertical representa la cantidad de crímenes y el eje horizontal (cada barra) representa un límite intercomunal.

Es importante comentar que el análisis concerniente a relocalización total sin contemplar barreras *no llegó a la optimización total*; se cerró el cálculo frente a un porcentaje de gap alcanzado de 2,64% luego de una hora y media de procesamiento. Esto significa una incertidumbre  $\pm 79,4$  km en la distancia total calculada. La razón por la cuál se tomó esta medida involucra a los tiempos de procesamiento: previamente a la prueba final, antes de haber definido los parámetros del modelo, se ejecutaron resoluciones del mismo modelo con distintos parámetros a modo de prueba. Estas pruebas arrojaron tiempos de cómputo enormes y sin mejoras de gap, llegando a una situación estanca entre los 3% y 0,5% de gap.

## Experimento: Cambio de performance de modelos de relocalización dependiendo de la cantidad de comisarías

Esta subsección tiene como motivación responder un interrogante concreto: que tanto varían las distancias totales de asignación y la ocupación por comisaría a medida de que aumentan las comisarías totales en la ciudad. En los 4 enfoques anteriores se consideraron 49 comisarías, este análisis repetirá los últimos 2 enfoques (relocalización restringida y relocalización total) pero variando de diez en diez la cantidad de comisarías a localizar, partiendo de 20 comisarías y hasta llegar a las 200.

La razón por la cuál no se parte de las 10 comisarías es porque el enfoque de relocalización restringida requiere por lo menos una comisaría por comuna, y en la CABA hay 15 comunas. Los enfoques de relocalización restringida (al igual que lo visto durante el enfoque anterior) se resuelven casi automáticamente (100 segundos o menos) y con un gap final de 0% mientras que los enfoques de relocalización total disminuyen su gap final y su tiempo de resolución a medida que se aumenta la cantidad de comisarías habilitadas.

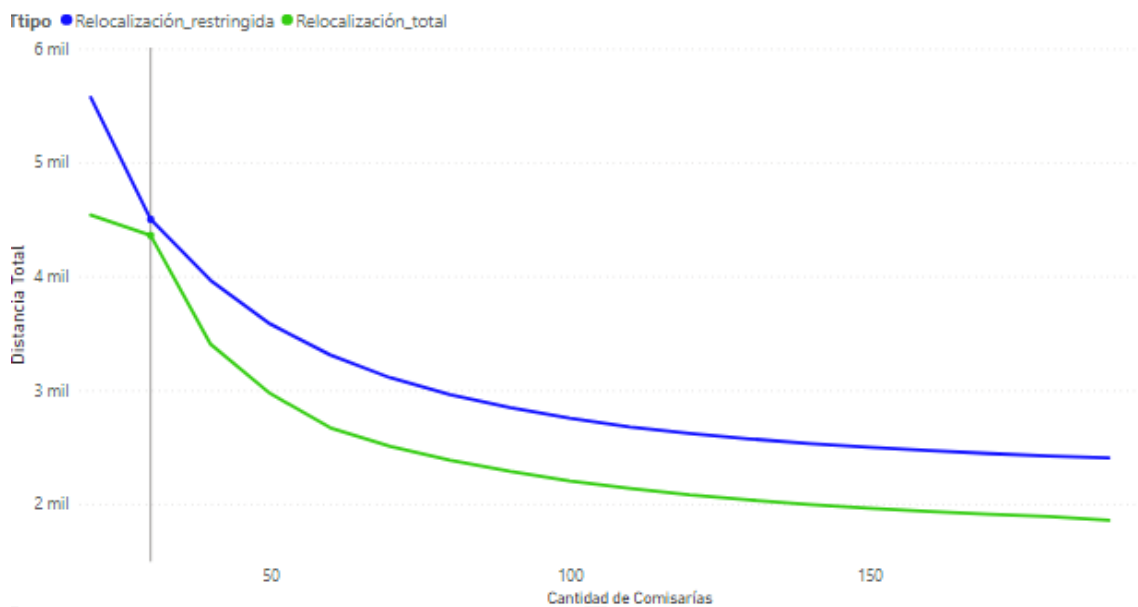


Gráfico 13 Distancias totales recorridas a medida de que aumenta el número de comisarías, contemplando los modelos de relocalización restringida (azul) y total (verde).

Vemos que en el *Gráfico 13* se da lo que se esperaba: las distancias totales disminuyen a medida que se habilitan más comisarías y las distancias correspondientes a relocalización total son siempre menores a las distancias de relocalización restringida. El eje vertical de este gráfico representa la cantidad total de km recorridos y el eje horizontal la cantidad de comisarías abiertas; la línea azul representa los resultados logrados con el enfoque de relocalización restringida y la verde el logro con el enfoque de relocalización total. Ambas tendencias tienen en común que su punto de inflexión se da a partir de las 50 comisarías aproximadamente, a partir de allí tienden paulatinamente a una constante. Esto es un indicio de que *podría ser estratégicamente adecuado que haya sólo 49 comisarías en la ciudad, no habiendo necesidad de inaugurar ninguna, simplemente reubicarlas.*

En este gráfico también se muestra que, cuando hay alrededor de 30 comisarías abiertas es casi la misma cantidad de distancia la que se recorre entre configuraciones. Esto puede coincidir con que al ejecutar el modelo de relocalización total a esta cantidad de comisarías se obtuvo el gap anómalo de 16,57% (demasiada incertidumbre). Esto explicaría también porque el pasaje de 20 a 30 unidades no representa para este análisis la caída de pendiente más pronunciada. Esto se puede explicar en los siguientes gráficos que dan cuenta de qué manera evolucionaron el gap y el tiempo de procesamiento respectivamente a medida que se fueron agregando comisarías. Luego:



Gráfico 14 Tiempo de ejecución, en segundos, requerido por el modelo en segundos a medida que aumenta la cantidad de comisarías.



Gráfico 15 Porcentaje de gap al cual se cortó el cálculo a medida que aumenta la cantidad de comisarías.

Para realizar este análisis se implementó un doble criterio de corte: el modelo cesa su cálculo al alcanzar un valor entre 0,05% y 0% de gap o cuando ya lleva una hora y media de análisis. Estas decisiones responden a un criterio empírico y de observación: antes de comenzar con el análisis propiamente dicho se realizaron pruebas y se concluyó que la mayoría de las instancias se resolvían antes de ese tiempo; siendo las “problemáticas” las que ralentizan su resolución entre el 5% y el 0,05% de gap.

Se ve que a partir de las 80 comisarías el tiempo de procesamiento pasa de la hora y media a los 5 minutos (con un outlier a las 110 comisarías). Con respecto al gap, se ve el outlier a las 30 comisarías (16,5%) pero (también) a las 80 comisarías este valor cae a los órdenes que van del 0,5 al 0%.

Para finalizar este análisis se presenta este último gráfico. En el se puede ver que, a partir de las 30 comisarías, a medida de que se van abriendo más, van también disminuyendo la cantidad de crímenes atendidos de manera intercomunal. La intuición frente a esto es que, *al haber más recursos por comuna, las mismas necesitan en menor medida de los recursos de las vecinas*. El

eje vertical de este gráfico representa la cantidad de crímenes atendidos intercomunalmente y el eje horizontal la cantidad de comisarías abiertas.

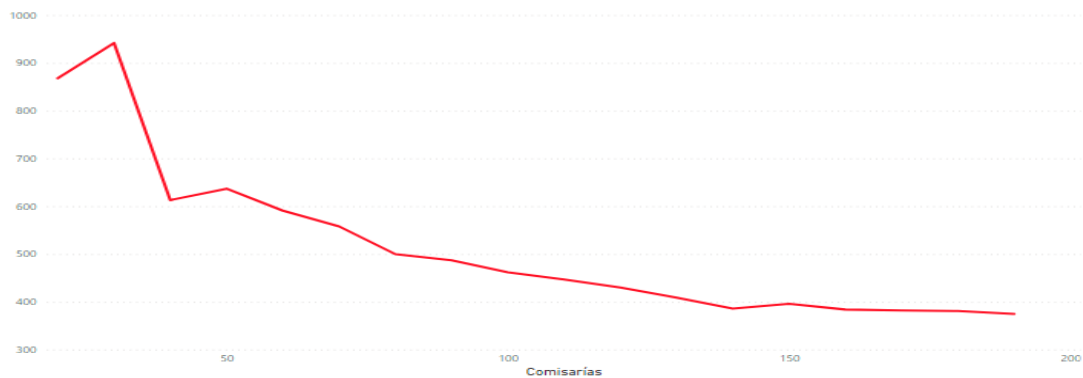


Gráfico 16 Cantidad de crímenes atendidos de manera intercomunal a medida que aumenta el número de comisarías

Al exhibir tanto en el Gráfico 16 como en el Gráfico 13 se contempla el hecho de que no es lógica una situación donde se tienen 200 comisarías en la ciudad. Se extendió el análisis hasta estos valores para mostrar gráficamente que, a partir de las 120 comisarías aproximadamente, el comportamiento de ambos gráficos se vuelve asintótico.

### Propuesta y trabajo a futuro: no sólo importan las distancias

Como todo modelo, los implementados en la presente subsección son simplificaciones de la realidad. Al establecer que cada comisaría tiene capacidad infinita y que la función objetivo consiste en minimizar las *distancias* entre comisaría y delito, lo que se está evaluando es que tan bien se cubre el territorio.

Ahora bien, en las situaciones de relocalización total y relocalización restringida se está asumiendo implícitamente que la minimización de la distancia comisaría/delito es la única magnitud que debe considerarse a la hora de proponer la relocalización de una comisaría. Esto claramente no es verdad. Pensando rápidamente (y a riesgo de dejar de lado muchas) se pueden pensar en 2 magnitudes a considerar:

- Costo de cambio: cuán inoportuno es para el usuario (vecino) el hecho de que una comisaría sea relocalizada.
- Costo de localización: que tan caro le resulta a la CABA ubicar una comisaría en el lugar que el modelo indica.

Para empezar, si quisiéramos contemplar estas cuestiones lo conveniente sería adoptar un modelo de *facility location*, dejando de lado el modelo *p-median*. Estos modelos, a grandes rasgos, tienen funciones objetivo con la siguiente estructura:

$$\text{Min} (C * \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} dij * x_{ij} + \sum_{j \in J} F_j * y_j)$$

En las cuáles el primer término representa el costo variable (en nuestro caso las distancias entre comisaría y delito) y el segundo término representa el costo fijo de abrir una comisaría.

$C$  es una constante de conversión dinero/distancia mientras que  $F_j$  tiene unidades monetarias.

¿Cuál es el problema de este enfoque? Básicamente, determinar el valor de  $F_j$ . Este será 0 para el caso de comisarías que ya existen; pero en el caso de que hablemos de relocalización, este costo fijo (si seguimos la lógica explicitada en párrafos anteriores), estará constituido por 2 términos:

$$F_j = \alpha_j + \beta_j$$

Siendo  $\alpha_j$  el costo de cambio y  $\beta_j$  el costo de localización de una comisaría  $j$ .

El costo de localización estará asociado con valores cuantificables como por ejemplo el valor del m<sup>2</sup> en la zona donde se pretende instalar la comisaría y cuántos edificios públicos a cargo del Gobierno de la CABA hay en su cercanía. Si en ese spot ya existe un edificio perteneciente a la ciudad, el costo de relocalización será menor, ya que caso contrario la ciudad debería comprar el espacio que ese punto simboliza. No es lo mismo comprar un terreno en el centro de la CABA que en Barrio Norte. Los precios pueden llegar a variar mucho.

El principal factor que complica el cálculo de este potencial  $F_j$  es  $\alpha_j$ , ya que este es un parámetro sumamente subjetivo. ¿Qué tanto incomodaría a la población que una comisaría X deje de existir y se reinaugure en una locación Y? ¿De qué manera se podría traducir este sentimiento de incomodidad en un valor monetario? Claramente son preguntas interesantes para un trabajo a futuro, pero que escapan al alcance de la presente tesis.

## Enfoque táctico

Hasta ahora los enfoques aquí abordados no han incluido conceptos económicos/financieros en su desarrollo. En otras palabras, no se ha hablado, todavía, de dinero. La principal razón es que el primer análisis implica manejar la respuesta de la urgencia: la prioridad es llegar lo más rápido posible al lugar, sin priorizar el gasto; y el segundo análisis no responde a intereses operativos o de gestión, si no más bien investiga un escenario hipotético que nos permite llegar a conclusiones acerca de que tan bien distribuidas geográficamente están las comisarías de la ciudad.

En este tercer (y último análisis) al que llamaremos enfoque táctico, precisamente esta magnitud será la introducida: cuánto dinero y tiempo se puede ahorrar si se deja que cualquier patrullero/comisaría actúe sobre cualquier jurisdicción (comuna). Es el enfoque más operativo de los aquí abordados (a pesar de que no se considera la temporalidad de los eventos) ya que modela de manera simple (pero lógica) la realidad. Este enfoque contempla no sólo la distancia (tiempo) de viajes si no también los costos fijos que implican comprar y mantener una patrulla.

El factor económico en este análisis es en realidad la manera de conectar las dos principales magnitudes cuando se habla de táctica en este tipo de problemas: distancias de asignación y costos de apertura. Lo que se busca más allá del ahorro monetario *exacto*, que está condicionado por varios parámetros que fueron estimados con información acotada, es saber de qué manera le conviene a la Policía de la Ciudad distribuir sus recursos en el territorio. Es por esto que este enfoque contempla tanto comisarías como patrulleros (facility).

Las comisarías serán las correspondientes a las 49 originales, mientras que los 225 puntos restantes de la base de facilities serán potenciales puntos donde activar un patrullero. Tanto las comisarías como los patrulleros pueden abrirse o cerrarse, el modelo así lo contempla. También se contempla el hecho de que cada estructura posee su propia capacidad y costo fijo de apertura.

Se analizarán 3 situaciones diferentes, en cada una de ellas las comisarías están fijas, no se someten a relocalización. Luego:

- **Benchmark:** Se contempla la restricción de que el facility que acude al lugar de un crimen debe encontrarse en la misma comuna en donde se cometió dicho crimen. Sin importar si ese facility se trata de un patrullero o una comisaría.
- **Patrulleros flexibles:** Cualquier patrullero puede acudir a cualquier comuna. El único requisito es que el crimen atendido se encuentre a menos de una distancia  $T$  del crimen.  $T$  será definida como  $0,03^\circ$  (3,33 km) por una cuestión netamente operativa: en los 2 enfoques anteriores la mayoría de las distancias de asignación varía entre los  $0,005^\circ$  y los  $0,02^\circ$ ; por lo tanto  $0,03^\circ$  implicaría una distancia anómalamente alta. Lo que se pretende evitar con esta regla son asignaciones que impliquen realizar grandes viajes con tal de ahorrar los costos fijos de apertura. Las comisarías deben cumplir esta restricción y además deben seguir cumpliendo la restricción comunal (no pueden atender crímenes fuera de su comisaría).
- **Flexible total:** cualquier tipo de facility puede atender cualquier evento siempre y cuando este se encuentre a menos de una distancia  $T$  del facility.  $T$  se define de la misma manera que en “patrulleros flexibles”.



Uno se puede preguntar porque no se aplica la restricción de viaje mínimo de 3,33 km para la situación benchmark; la respuesta es porque el hecho de estar limitado comunalmente ya implica una restricción geográfica.

### Realidades, suposiciones, convenciones

El primer enfoque incluyó los conceptos de patrullero y de comisaría, en el segundo se consideró que todos los registros de la base de facilities son comisarías, en este enfoque se retoma la noción del primero: habrá 2 tipos de facilities; comisarías y patrulleros (y se podrá referir a ellos de manera genérica como “facilities”). Al igual que en el primer enfoque, de las 274 posibles locaciones, las primeras 49 corresponderán a las comisarías ya existentes de la ciudad (que esta vez tendrán la posibilidad de encontrarse tanto “abiertas” como “cerradas”) y las otras 225 locaciones serán potenciales lugares donde colocar patrulleros (que, análogamente, podrán figurar tanto “abiertos” como “cerrados” depende de lo que determine el modelo. Como se ve, en ningún momento este análisis implica la reubicación de una comisaría, los puntos de las comisarías corresponden a los 49 originales y el resto de los 225 puntos de la base de facilities quedan reservados para potenciales patrulleros.

Se retoma a la noción de instancia del primer enfoque: cada semana es una instancia. Pero esta vez (por una cuestión de tiempos de procesamiento) no se tomarán las 208 semanas completas de las que se dispone. Si no que se tomarán simplemente *las 11 últimas semanas del 2019*. Esta decisión responde al hecho de que, debido al modelo adoptado, la resolución de este demora una cantidad considerable de tiempo.

A continuación se presenta el enfoque utilizado para el problema, que corresponde al modelo clásico de *facility location*, se deberá contar con capacidades y con costos fijos. Los costos fijos son los costos que uno asume cuando se abre un facility, por el solo hecho de abrirlo: en nuestro caso sería comprar un patrullero, mantenerlo y dotarlo de recursos humanos que lo manejen. Luego, siendo:

- $Fj$  =Costo fijo semanal de un patrullero “j”.
- $Cp$  =Costo promedio de un patrullero. Se consigue promediando los precios 0 km de todos los modelos de auto que conforman la flota de la policía.
- $vu$  =Vida útil promedio de un auto estimada. [XXXIV]
- $Sal$  =Salario mensual de un policía de la policía de la ciudad.
- $Cv$  = Costo de viaje por kilómetro recorrido.

Se define el costo fijo de la siguiente manera:

$$Fj = \frac{Cp}{vu * 52} + \frac{0,1 * Cp}{vu * 52} + \frac{4}{4} * Sal = \frac{1,1Cp}{vu * 52} + Sal$$

Tanto el cálculo del  $Cp$  como del  $Cv$  están detallados en el *Anexo 2*.  $Cv$  se aproximó a 0,0965 USD/km,  $Cp$  a 26229,85 USD y  $Fj$  a 272,00 USD.

La capacidad se definirá con el mismo criterio pesimista que se decidió en el primer enfoque: un patrullero se puede encargar de 2 delitos al día (14 por semana). Se deja la primera ecuación sin simplificar para explicar término a término que contempla el parámetro  $Fj$ . El primer término es el costo de adquisición promediado semana a semana durante la vida útil del automovil, el segundo término es el costo de mantenimiento promediado semana a semana durante la vida útil del automóvil y el tercer término es el costo semanal en salarios (4 policías por patrullero, 2

durante el día y 2 turno noche). Como se ve en la fórmula, se simplificó a 52 la cantidad de semanas en un año y a 4 la cantidad de semanas en un mes.

Respecto a la capacidad y los costos fijos de las comisarías, se plantean 2 cuestiones:

1. Intentar desde un punto de vista de la capacidad de que sea capaz (en una semana cualquiera) cubrir toda (o la mayoría) de los crímenes usando comisarías. Es por esto que se decide que la **capacidad de las comisarías sea de 50 eventos** (a diferencia de los patrulleros, que mantienen la capacidad de 14 que les fue dada en el primer enfoque).
2. Desde un punto de vista de costos se toma a la comisaría como un conjunto de patrulleros. En otras palabras, si el costo fijo de habilitar un patrullero es de 272 USD; el de abrir una comisaría será 971 USD ( $272 \cdot 50 / 14$ ). Este enfoque se debe a que, objetivamente, las comisarías ya están abiertas (costo 0) y al hecho de que no es la comisaría como edificio la que atiende un crimen; si no un patrullero que parte de una comisaría. Habiendo dicho esto, "abrir una comisaría" debe ser interpretado como dotar a esta con una cierta capacidad de acción. Profundizando un poco más en este aspecto, lo que se está evaluando es la conveniencia de concentrar policías en puntos determinados frente a la conveniencias de tenerlos dispersos en el territorio.

Se podrá notar también que, en la función objetivo, multiplicando a la distancia facility-crimen, se encuentra la constante  $C_V$ ; esta constante es el costo de viaje por km. Básicamente es el precio de la gasolina al momento de escribir la presente tesis ( $[\$/\text{Lt}]$ ) multiplicado por la inversa del rendimiento del auto ( $[\text{Lt}/\text{m}]$ )

Se considera que un patrullero regresa instantáneamente a su punto de partida luego de atender un crimen. Se mantiene el tipo de longitud (Manhattan) y la equivalencia grado/kilómetro ( $111,12 \text{ km} = 1^\circ$ ) usados en el análisis anterior. Al igual que en el resto de los modelos, se considera la distancia de ida desde un facility hasta una escena del crimen; no de ida y vuelta.

## Modelo

Se plantea un modelo de optimización tipo *facility location*. Como se dijo ya en la introducción, estos modelos suelen ser usados para localizar estructuras con funcionalidades logísticas ya que contempla en su estructura el concepto de capacidad, así como el concepto de costo de apertura.

Se mantiene la nomenclatura usada en el modelo correspondiente al enfoque de relocalización de comisarías (tanto para parámetros como para variables). Este enfoque no agrega variables nuevas, pero sí incorpora nuevos parámetros: se le llamará  $C_v$  al costo de 1 km de viaje;  $F_j$  al costo fijo semanal que implica abrir un facility (comprar, mantener y equipar un patrullero) y  $Cap_j$  a la capacidad de un facility "j".

### **Función Objetivo:**

$$\text{Min } (\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} d_{ij} * x_{ij} * C_v + \sum_{j \in J} F_j * y_j)$$

Se ve que la función objetivo implica minimizar el costo monetario, correspondiendo el primer término a los costos variables (costo de viaje) y el segundo al costo fijo (costo de habilitar un patrullero/comisaría una semana).

### Restricciones:

- A.  $\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I$
- B.  $y_j \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I$
- C.  $x_{ij} \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I \text{ y } \forall j \in J$
- D.  $x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I \text{ y } \forall j \in J$
- E.  $\sum_{i \in I} x_{ij} \leq \text{Cap}_j * y_j \quad \forall j \in J$

¿Qué significan estas restricciones? *A* implica que a cada crimen se le asignará solo a un facility. *B* y *C* hablan de la condición de las variables (dicotómicas). *D* implica que sólo a los facilities “abiertos” se les puede asignar eventos y *E* es una restricción de capacidad que implica que no se le puede asignar a un facility más eventos que los que su capacidad permite (14 semanal).

- Si lo que se desea es resolver la situación **benchmark**, se debe aplicar un preprocesamiento a las variables  $x_{ij}$ , sometiéndolas al condicional  $Com_{ui} = Com_{uj}$  y asignándoles el valor de 0 a las variables  $x_{ij}$  que no lo cumplan.
- Si se quiere resolver la situación **flexible total**, se debe aplicar un preprocesamiento a las variables  $x_{ij}$ , sometiéndolas al condicional  $d_{ij} \leq 3,33$  y asignándoles el valor de 0 a las variables  $x_{ij}$  que no lo cumplan.
- Para el caso de **patrulleros flexibles** el preprocesamiento consiste en continuar con el condicional que asigna un valor de 0 a los  $x_{ij}$  mayores a 3,33 km pero se agrega también un doble condicional que asigna un valor de 0 a los  $x_{ij}$  para los cuales se cumple  $Com_{ui} = Com_{uj}$  y además  $j \leq 49$ . En otras palabras, se imposibilitan (también) las asignaciones intercomunales de comisarías (tal como la situación requiere).

Al igual que en el enfoque anterior (relocalización de comisarías) se recurre a Cplex para resolver este modelo y se usan los mismos scripts. La diferencia es que ahora se consideran las ecuaciones correspondientes a capacidades y costos fijos. El *Anexo 3* clarifica esta cuestión.

### Resultados

En este último enfoque se vuelve a contemplar la situación en que es válido abrir hasta 274 facilities, pero las asignaciones crimen-facility están guiadas por un modelo de optimización que contempla en su función objetivo no sólo la distancia (monetizada) si no también la cantidad de facilities abiertos. Esta relación de compromiso es la razón por la cuál no se puede prever de antemano si las distancias resultantes de estas asignaciones serán mayores o menores que las correspondientes al primer enfoque. Si sólo se optimizara la distancia monetizada, claramente las distancias totales serían menores; pero el efecto de abrir un facility es inversamente proporcional en relación a la función objetivo.

Con respecto a las soluciones; se cuenta con 33 asignaciones: 11 para cada una de las 3 situaciones contempladas. Estas 11 asignaciones corresponden a los eventos sucedidos en las últimas 11 semanas de 2019.

Asimismo, todas estas instancias fueron resueltas con un doble *criterio de corte*: el cálculo se interrumpe cuando ocurre alguno de estos 2 eventos:

- Se alcanza un gap de 0,5%
- Se llega a los 40 minutos de cálculo

La razón por la cuál se acudió a este doble criterio de corte es porque el cálculo de este problema se suele enlentecer de manera genérica cuando se alcanza entre un 5 %y un 0,25% de gap; llegando a varias horas de procesamiento sólo para variar unas milésimas en el gap. Se consideró que 0,5% de incertidumbre en el resultado es aceptable como calidad y más de 40 minutos de procesamiento no es admisible (tope de 20 hs de procesamiento).

Lo que se encontró es que en el enfoque benchmark todas las soluciones fueron truncadas a los 40 minutos y con un gap promedio de 1,76% ; en la solución flexible total el gap promedio de corte fue de 0,2% y el tiempo promedio de procesamiento fue de 4,81 minutos; por último, en el enfoque de patrulleros flexibles el gap promedio fue de 0,22% y el tiempo promedio de procesamiento fue de 3,62 minutos. Los valores exactos se los puede encontrar en el *Anexo 4*.

Lo que se busca en esta sección es brindar un enfoque simplificado de como resolver el interrogante de la tesis no desde un punto de vista de la inmediatez (enfoque 1) si no pensando en la gestión a largo plazo. El uso de una magnitud económica no tiene como principal objetivo ofrecer un panorama sobre el real ahorro (ya que muchas magnitudes son estimadas y seguro hay factores que se desconocen), sino más bien ser la manera de vincular la distancia de viaje con el hecho de abrir o no un facility.

### Observaciones

Se comienza el análisis con métricas comparativas promedio entre los 3 enfoques contemplados. En la siguiente tabla se podrán ver reflejadas:

	<b>Benchmark</b>	<b>Patrulleros flexibles</b>	<b>Flexible total</b>
Delitos resueltos intercomunalmente	0	310	332
% Delitos resueltos intercomunalmente	0	14,37%	15,36%
%Delitos intercomunales resueltos por patrulleros	0	100%	88,28%
Facilities totales	115	132	130
Comisarías	17	9	10
Patrulleros	98	124	121

*Tabla 24 Promedios semanales de las métricas complementarias a la distancia y el dinero total*

Observando la *Tabla 24* ya se puede comenzar a intuir lo que se verá al continuar con el análisis: *no hay una gran diferencia entre los resultados del análisis flexible total y el análisis de patrulleros flexibles.*

Otro aspecto fácilmente observable es que el hecho de eliminar la restricción intercomunal parece tener como resultado una *menor utilización de las comisarías como unidades de acción.*

Con respecto a las dos principales métricas (distancia y dinero) se las analizará en más detalle:

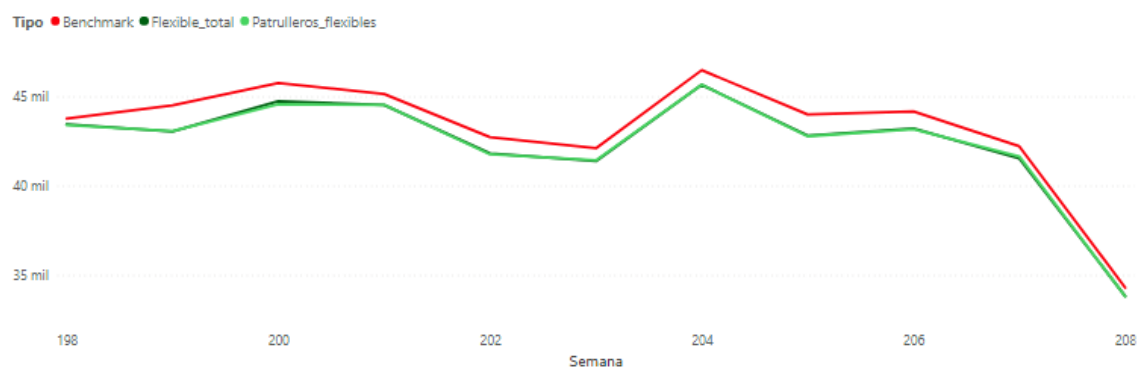


Gráfico 17 Dinero tota [USD] (función objetivo) durante las últimas 10 semanas del 2019 para los 3 enfoques: Benchmark (rojo), Flexible total (verde oscuro) y patrulleros flexibles (verde claro)

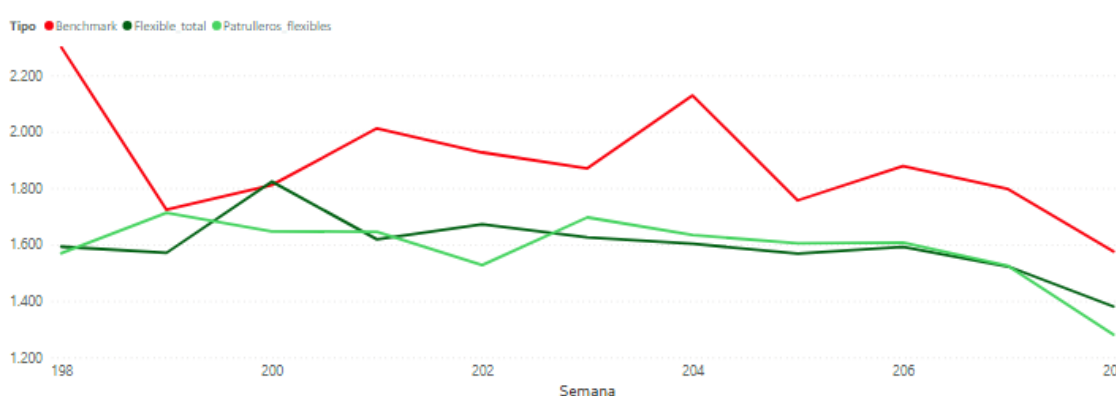


Gráfico 18 Distancia total [km] durante las últimas 10 semanas del 2019 para los 3 enfoques: Benchmark (rojo), Flexible total (verde oscuro) y patrulleros flexibles (verde claro)

En el Gráfico 17 el eje vertical simboliza la cantidad de dinero invertido por semana mientras que en el Gráfico 18 representa la cantidad de km recorridos por semana. En ambos gráficos el eje horizontal representa a las últimas 10 semanas del 2019 y el código de colores representa a las 3 situaciones analizadas en este enfoque.

Como se puede apreciar, se ratifica lo dicho más arriba: los enfoques flexible total y patrulleros flexibles son casi indistinguibles en lo que a dinero respecta y ambos fluctúan sobre la misma constante en materia de distancia. La real diferencia se da entre estos 2 enfoques y el benchmark: la distancia total benchmark oscila sobre una constante mayor y, con respecto al dinero, hay una clara reducción del dinero total cuando se pasa de la situación benchmark a las otras dos. Cuantificando estas observaciones:

	Benchmark	Patrulleros flexibles	Flexible total
Distancia [km]	1889,22	1597,39	1586,43
Dinero [USD]	43193,61	42359,61	42344,73

Tabla 25 Promedios semanales de las métricas distancia [km] y dinero total [USD]

Se ve que cuando se pasa de la situación benchmark a la situación de patrulleros flexibles; el dinero total semanal promedio se reduce en un 1,92% mientras que cuando se pasa de la

situación de patrulleros flexibles a la situación flexible total la reducción es del 0,035%. Estos porcentajes en lo que a distancia respecta son 15,44% y 0,68%.

A modo de clarificación, el hecho de que tanto en el gráfico concerniente al dinero como en el de distancia total las curvas caigan abruptamente en la última semana responde es que esta registra (considerablemente) menos crímenes que el promedio de las 9 anteriores (1730 vs 2100 en promedio)

Es interesante ver el comportamiento de estos análisis desde un punto de vista intercomunal y geográfico, emulando los gráficos realizados en las secciones anteriores:

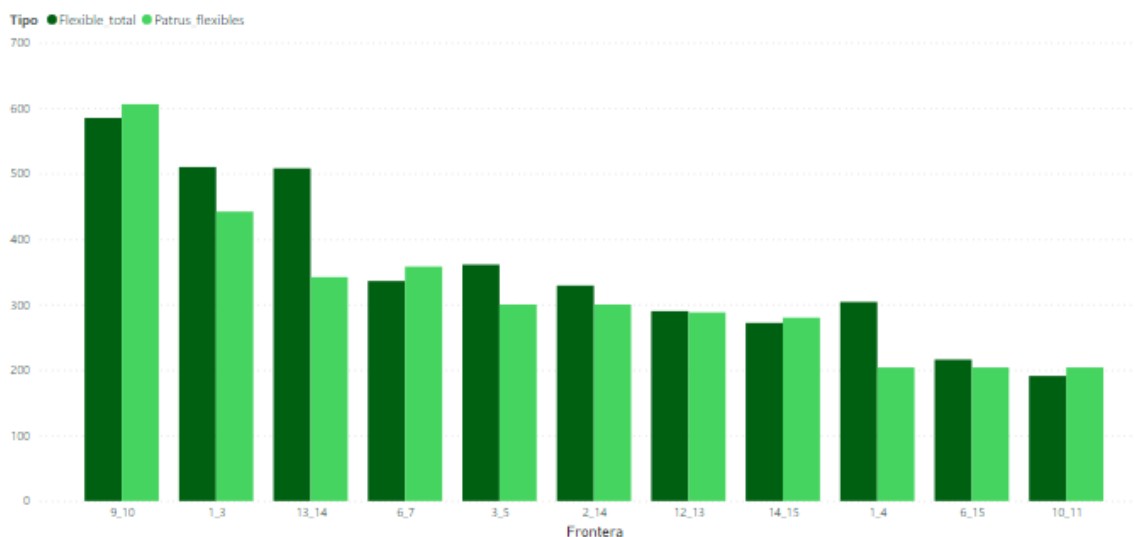


Gráfico 19 Cantidad de crímenes atendidos intercomunales por frontera, durante las últimas 10 semanas del 2019 para los 2 enfoques: Flexible total (verde oscuro) y patrulleros flexibles (verde claro)

En este gráfico (Gráfico 19) el eje vertical representa la cantidad de crímenes y el eje horizontal (cada barra) representa un límite intercomunal. Una barra verde oscura representa una cantidad de crímenes atendidos en el límite intercomunal dado en la situación flexible total. Una barra verde claro representa lo mismo para la situación de patrulleros flexibles.

Nuevamente las fronteras protagonistas a la hora de hablar de actividad intercomunal son la 9-10; la 1-3 y la 13-14 (correspondientes al suroeste, microcentro y centro-norte de la ciudad). Lo que se nota también es que las zonas que les sacan un real provecho al hecho de que las comisarías puedan actuar intercomunales son la 13-14 (límite Belgrano-Palermo) y la 1-4 (Constitución-San Telmo-Barracas).

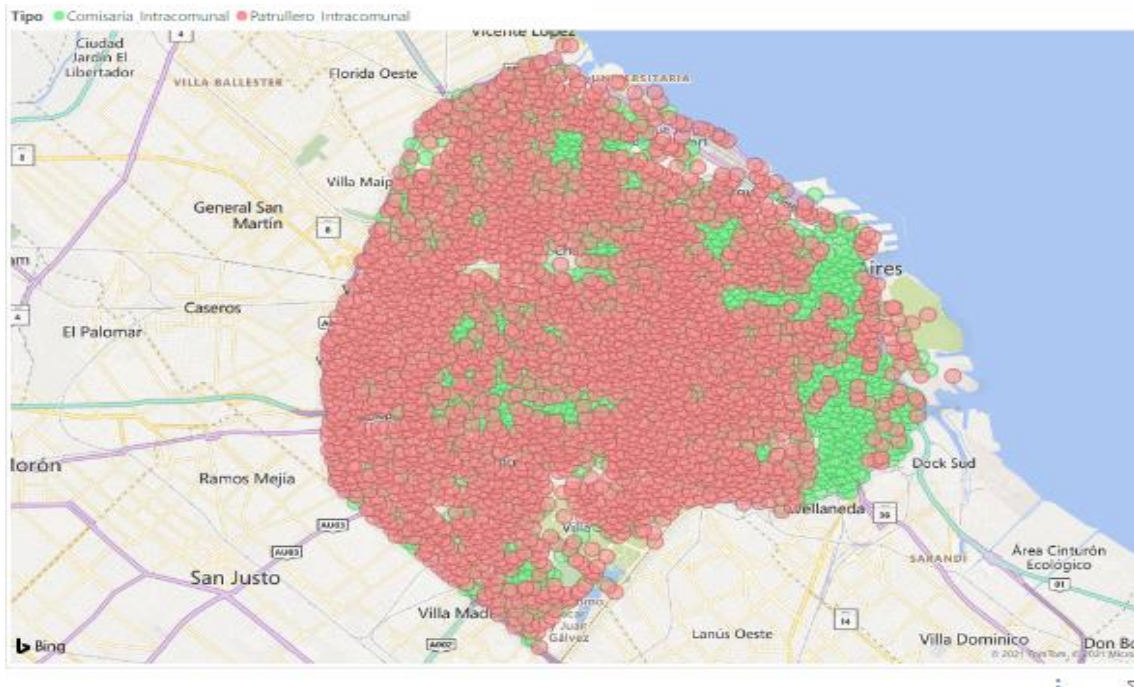


Ilustración 13 Distribución geográfica de los crímenes cometidos durante las últimas 11 semanas del 2019. Este mapa refleja la situación benchmark: los puntos verde claro son los crímenes resueltos de manera intracomunal por comisarías y los rojos claro simbolizan los crímenes resueltos de manera intracomunal por patrulleros

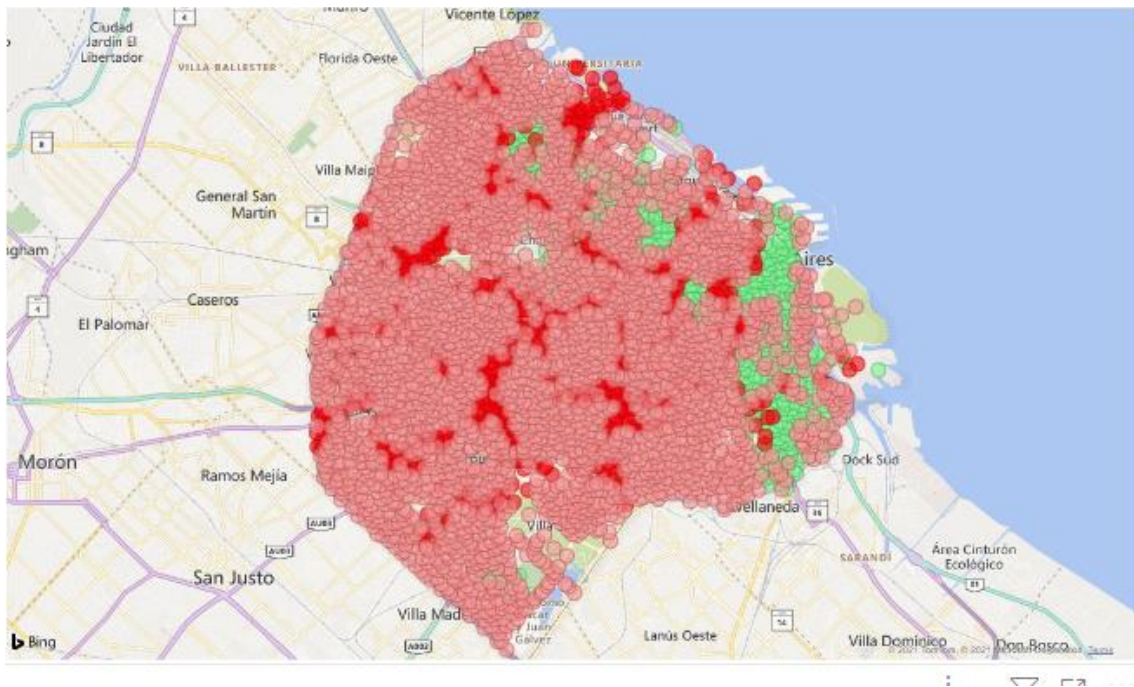
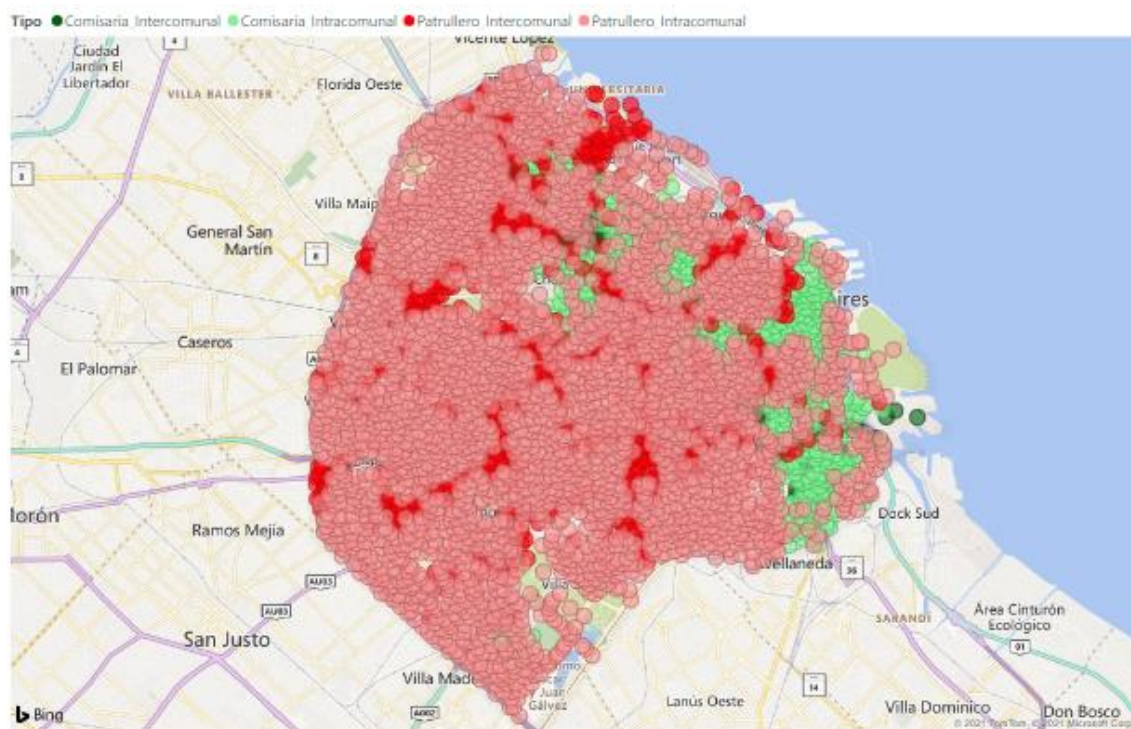


Ilustración 14 Distribución geográfica de los crímenes cometidos durante las últimas 11 semanas del 2019. Este mapa refleja la situación de patrulleros flexibles: los puntos verde claro son los crímenes resueltos de manera intracomunal por comisarías, los rojos claro simbolizan los crímenes resueltos de manera intracomunal por patrulleros y los rojos oscuros representan los crímenes resueltos de manera intercomunal por patrulleros.



*Ilustración 15 Distribución geográfica de los crímenes cometidos durante las últimas 11 semanas del 2019. Este mapa refleja la situación de patrulleros flexibles: los puntos verde claro son los crímenes resueltos de manera intracomunal por comisarías, los rojos claro simbolizan los crímenes resueltos de manera intracomunal por patrulleros, los rojos oscuros representan los crímenes resueltos de manera intercomunal por patrulleros y los verdes oscuros simbolizan los crímenes resueltos de manera intercomunal por patrulleros*

Estos 3 últimos mapas son de utilidad ya que sirven para acotar todavía más la precisión geográfica de las zonas con alta actividad intercomunal:

- Dentro de la frecuentemente citada frontera 9-10, el punto de más actividad intercomunal es la zona que limita con ciudadela (en las cercanías del Estadio Amalfitani). Esto ya se podía vislumbrar en el mapa de calor realizado en la sección de análisis exploratorio
- Dentro de la frontera 1-3; la zona del congreso
- Dentro de la frontera 13-14; la zona de Aeroparque/Costa Salguero/Belgrano Chico

Se ve también que la diferencia entre la frontera 13/14 que se observa en el gráfico 19 se debe a la acción de la comisaría 14B. La misma corresponde a la comuna 14 (Palermo) y se encuentra en Cabildo 232, en la zona de Las Cañitas.

Las zonas donde más crímenes fueron resueltos mediante el uso de comisarías coinciden con lo observado en la etapa de análisis preliminar como las zonas de mayor densidad de crímenes: bordeando 9 de Julio (comisaría 4D y todas las pertenecientes a la comuna 1) y luego Santa Fe/Cabildo (2A,2B,14A,14B,13 y 13C). Dejando de lado las nociones de “comisaría” y “patrullero”; estas zonas verdes involucran lugares donde es más conveniente manejar estructuras de alta capacidad (comisaría, puestos, tropilla, etc.). Por otro lado, las zonas cubiertas de rojo (resto de la ciudad) implican que lo óptimo es lidiar con estructuras más pequeñas (patrullero, motos, dúos, garitas, etc).

Como conclusión de este análisis se pudo ver que casi no hay diferencias entre el enfoque de patrulleros flexibles y el de flexibilidad total; así como también resaltó que la principal diferencia



entre el benchmark y los otros 2 enfoques fue que los enfoques con libertad intercomunal suponen abrir más patrulleros y usar menos comisarías. Si se lo analiza, ambas observaciones se pueden resumir en un solo enunciado: permitir actividad intercomunal implica restarle protagonismo a la comisaría. Esto es algo interesante, ya que va en concordancia con los objetivos del gobierno de la CABA: lograr una “policía de cercanía”; sacarle protagonismo a las comisarías y focalizarse en la policía de a pie.

## Discusión y potencialidad del análisis

Es importante no cerrar este enfoque sin antes discutir los pormenores de las decisiones tomadas en torno al modelo. De alguna manera esta subsección es una justificación que intenta echar luz acerca de la lógica que subyace detrás de estas decisiones (y que ayudan a entender mejor los resultados).

Cómo se dijo antes, el hecho de abrir una comisaría no significa literalmente “abrir” (lo que implicaría que el resto están cerradas). El hecho de abrir una comisaría implica más bien dotar a la misma con capacidad de acción (patrulleros). Esto responde también a como se estructuró el gasto fijo de “abrir” una comisaría (como el de comprar un conjunto de patrulleros) y a como es que una comisaría actúa frente a un evento (claramente no es la comisaría la que acude a un evento, es un patrullero que sale de la misma). Para redondear: *el hecho de tener 17, 10 o 9 comisarías abiertas no implica que el resto de las 49 están cerradas, si no que no se les está dando un rol activo, pueden permanecer abiertas para toma de denuncias y cuestiones administrativas.*

Este resultado tiene su riqueza, lo que está diciendo en realidad es que, según como está planteado este problema, son necesarios pocos nodos de concentración de recursos policiales en la ciudad en comparación con los que efectivamente existen. Si el rol de la policía se limitara a la acción de acudir a un crimen, según lo planteado, se necesitarían menos comisarías. La realidad es que esto no es así; el hecho de lograr la cercanía con el vecino (objetivo gubernamental) implica también que el ciudadano tenga cerca de su vivienda comisarías a las cuáles acudir en caso de tener que presentar denuncias o solicitar ayuda. En otras palabras, si bien el enfoque de cercanía con el vecino implica valorizar el enfoque operativo en detrimento del administrativo, uno no puede olvidarse totalmente de que las comisarías también son centros administrativos. Este aspecto del accionar policial no fue cubierto en ningún momento en la tesis, este trabajo observa sólo la función operativa de la fuerza.

Habiendo dicho esto, también se contempló la posibilidad de modelar las comisarías con costo fijo 0 o con el condicional de que todas estén siempre abiertas. Estas opciones se desestimaron por una cuestión matemática: frente a un facility de costo 0 o frente a un facility que si o si debe estar abierto, el modelo saturará estas estructuras ya que no le significan un costo adverso en la función objetivo. Dicho de otra forma, estas maneras de enfrentar el problema hubieran supuesto que prácticamente todos los crímenes serían atendidos por comisarías y una fracción mínima por patrulleros.

Frente a la problemática anterior una posible solución hubiese sido bajar la capacidad de las comisarías, pero se les asignó esa capacidad con un motivo, la idea fue poder cubrir en promedio todos los crímenes con comisarías (y así asegurarse que nunca se llegará a una infactibilidad en la resolución del modelo por falta de capacidad). Para dotar este enfoque de realismo y poder

Pablo J. Piccoli Bornia

contemplar nuevamente el uso de estas opciones, *se debería conocer fehacientemente la capacidad semanal de patrulleros y comisarías (o una manera más precisa de estimarlas).*

## Puntos en común entre enfoques e implicancias en la gestión

Antes de dar por finalizado el trabajo, es importante mencionar características comunes a los 3 enfoques y que resultaron de sumo interés:

- En los 3 enfoques, entre un 12% y un 20% de las asignaciones se dan de manera intercomunal. En otras palabras, entre un 12% y un 20% de los crímenes sucedidos en la CABA se atenderían de manera óptima si se dejase a la policía actuar con independencia geográfica. Esto es un indicio de que todavía hay mucho trabajo por hacer al respecto.
- En los 3 enfoques hubo 3 fronteras intercomunales que se destacaron por su participación y las 3 pertenecen a regiones diferentes dentro de la ciudad: 9-10 (Oeste); 13-14 (Barrio Norte) y 1-3 (Microcentro). Esto es un indicio de que el problema tiene una cierta “riqueza” por explotar; no se limita sólo a un punto de la ciudad.

Otro aspecto para destacar es que el enfoque de *cercanía con el vecino surgió naturalmente* cuando se llevaron a cabo modelos de optimización. El hecho de optimizar guió el análisis a estas conclusiones:

- Poblar de estructuras policiales el oeste y el sur de la ciudad (relocalización de comisarías).
- Priorizar el uso de patrulleros por sobre comisarías como unidades de acción (enfoque táctico).

Ambas conclusiones a las que también llegó el Gobierno de la CABA por sus propios medios.

Se pueden realizar algunas reflexiones acerca de lo que se podría haber hecho si se hubiera contado con información más precisa. Algunos ejemplos:

- De haber tenido un desagregado exacto de cuántos recursos maneja cada comisaría y que tipo de recursos son, se podría haber refinado más el modelo de facility location. Pudiéndose haber planteado más categorías que solo patrullero y comisaría: moto, garita, policía montada, etc. Los modelos planteados podrían generalizarse para contemplar estas cuestiones.
- De haber contado con cronogramas de patrullaje, y asumiendo las complejidades que eso implica, se podría haber intentado un problema de ruteo.
- De haber tenido información sobre el despliegue territorial habitual, no hubiese sido necesario tomar puntos aleatorios de la base de AGIP para poder contar con potenciales “puntos de colocación de patrulleros”.
- Se podría haber contemplado la naturaleza administrativa y burocrática de la policía, simulando la llegada de denuncias a las comisarías y acoplado este comportamiento a la función objetivo del modelo de facility location. Esto hubiese significado también un cambio en la estructura de las instancias. Pero no se cuentan con datos sobre cómo se desarrolla esta actividad en la ciudad: cantidad de denuncias por día, desagregadas en temática y por comisaría. Tampoco se tienen datos de los “clientes” de esta acción (domicilios de las personas que realizan estas denuncias).

- De contarse con encuestas de opinión, el enfoque de relocalización de comisarías podría haberse visto enriquecido por criterios de optimización que van más allá de la distancia crimen/comisaría; abarcando también el costo de relocalización y el costo de cambio. Tal como fue discutido en la subsección *Propuesta y trabajo a futuro: no sólo importan las distancias*.
- Por último, lo más simple de implementar y entender; se podría haber planteado exactamente lo mismo pero con parámetros más precisos: capacidades y costos fijos certeros. Promedios en lugar de estimaciones.

A pesar de haber llevado a cabo los análisis con información acotada, los mismos son instrumentos valiosos a la hora de la gestión ya que sirven para:

- Ratificar matemáticamente (desde un enfoque de optimización) decisiones que el Gobierno está tomando en este momento (reforzar el oeste y el sur, más protagonismo a los patrulleros).
- Mostrar insights que tal vez escaparon al análisis que en su momento el Gobierno hizo (mejorar la cobertura de Palermo Soho, frontera Belgrano-Palermo).
- Contemplar la idea de eliminar jurisdicciones, tener una primera idea al respecto. Tal vez eliminarlas parcialmente, o simular su ausencia creando entidades de autoridad intercomunal que actúen de manera localizada en ciertas fronteras.

### Causalidad entre ocurrencia de un crimen y cercanía a un facility: una oportunidad de extensión

Todos los enfoques de la presente tesis se desarrollaron ignorando la causalidad entre la cercanía de una comisaría/estructura policial y el lugar en el que se comete un ilícito. Es decir, en todos los enfoques se ignoró la posibilidad (muy probable) de que la ocurrencia de un crimen en un lugar determinado sea función (entre otras cosas) de su cercanía a una comisaría. Una manera de cubrir este aspecto sería plantear modelos donde se reemplace conceptualmente la distancia entre facility y crimen por una función de probabilidad que prediga que tan probable es que un crimen ocurra en un punto “i” dada cierta configuración territorial de estructuras policiales.

Por ejemplo, podría plantearse un modelo cuya función objetivo tenga este aspecto:

$$\text{Min} (\sum_{j \in J} y_j * \sum_{i \in I} C * P(\text{lati}, \text{longi}, \text{latj}, \text{longj}) + \sum_{j \in J} F_j * y_j)$$

Siendo  $y_j$  una variable dicotómica que tome el valor de 0 cuando en el punto  $j$  no se emplace ningún facility y 1 cuando sí y  $F_j$  el costo fijo de emplazar dicho facility.  $P(\text{lati}, \text{longi}, \text{latj}, \text{longj})$  simboliza una función de probabilidad que predice la probabilidad de que suceda un crimen en el punto “i” dado que un facility está localizado en el punto “j” y cuyos valores de entrada sean las coordenadas de dichos puntos; por último  $C$  simboliza una constante que monetiza dicha probabilidad.

Para poder modelizar de esta forma se necesitarían previamente una serie de puntos donde se puedan emplazar facilities y una serie de puntos donde potencialmente puede ocurrir un crimen. En nuestro caso se podría usar la base de facilities que se usó en la presente tesis y, para

modelizar potenciales lugares donde pueden ocurrir crímenes se podría cuadricular la ciudad, de manera similar a lo que se hizo en el enfoque de relocalización de comisarías.

¿Cuál es el “problema” con este enfoque? Básicamente modelizar  $P(lati, longi, latj, longj)$  y estimar un valor para  $C$  exceden el trabajo de esta tesis, pero representan un enfoque muy interesante a ser investigado. Modelizar  $P(lati, longi, latj, longj)$  implicaría implementar técnicas de Machine Learning sobre la base de crímenes usada a lo largo de esta tesis y luego refinar el modelo hallado. Complementariamente, encontrar un valor para  $C$  implicaría un trabajo de investigación profundo ya que se debería contestar una pregunta altamente subjetiva: **¿cuánto vale monetariamente reducir la probabilidad de que ocurra un crimen?**

Otro posible enfoque podría ser el siguiente. Primero, se formula una división de la región geográfica en áreas más pequeñas, similar a la realizada en la sección de relocalización de comisarías. Para cada una de estas zonas, se asume que la cantidad de crímenes se modela como una función *constante a trozos* que depende de la cantidad de comisarías cercanas, con alguna definición de "cercanía" conocida a priori. Por ejemplo, comisarías dentro de un radio o de la comuna, dependiendo de las hipótesis establecidas. Luego, se podría formular un modelo de Facility Location más general donde la demanda de una subzona (i.e., cantidad de crímenes) depende de la cantidad de comisarías "cercanas", que en el fondo depende de la solución elegida.

En ambos enfoques existe la particularidad de que las funciones que modelan el crimen en función de la ubicación de las comisarías dependen de la solución. Esto puede llegar a complicar aún más el análisis, aunque sigue siendo factible.

## Conclusión

Luego de todo lo visto a lo largo del trabajo, se pueden extraer una serie de conclusiones de manera de englobar lo abordado. Para ser más preciso, de todos los enfoques se puede extraer una conclusión importante y, además, se le suma una conclusión común a todos los enfoques.

Del análisis de respuesta ante la urgencia se desprenden intuiciones acerca de cómo la densidad de eventos repercute en el accionar intercomunal. Complementariamente, el trabajo muestra que del análisis de relocalización de comisarías se puede obtener la conclusión de que hay ciertos spots geográficos en la CABA que no están adecuadamente cubiertos y en los cuales es buena idea emplazar algún tipo de destacamento policial. Dentro de ellos destacan Palermo Soho y Liniers (cercanía al Estadio Amalfitani). Ya que estos puntos reflejan además una *alta densidad de crímenes por km<sup>2</sup>*, tal como se pudo ver en el mapa de calor elaborado en la sección de análisis preliminar.

Además, dentro del enfoque de relocalización de comisarías se llevó a cabo un experimento que insinuó que la ciudad posee un número acorde de comisarías para su territorio. Por lo tanto una solución óptima (desde un punto totalmente teórico) que implique cubrir de mejor manera el territorio, no requeriría de la inauguración de más comisarías; si no más bien de una mejor localización de las mismas.

Con respecto al análisis de ubicación de patrulleros, se llegó a que se puede llevar a cabo un ahorro de un 1,92% en USD cuando se eliminan las barreras intercomunales; así como también un ahorro del 15% en la distancia total recorrida. Más allá de eso, lo más interesante de este análisis es ver como el hecho de flexibilizar la restricción intercomunal le resta protagonismo a las comisarías y se lo da a los patrulleros; estando esto en línea con los objetivos de la ciudad.

Queda todavía mucho por indagar sobre esta temática. Los próximos pasos lógicos a este análisis y el trabajo futuro incluirían un refinamiento del enfoque táctico; haciendo hincapié en aproximar lo más posible los parámetros a la realidad, de manera de poder conocer el real ahorro monetario que la anulación de esta restricción podría acarrear. Además, se impone un análisis minuciosos acerca de cuál es el costo burocrático que implica una potencial eliminación del concepto *jurisdicción* dentro de una fuerza policial (costo de entrenamiento a los efectivos para que dejen atrás el viejo esquema, costo de reconfigurar el sistema de toma de denuncias, etc.).

Propongo además (como dije en la sección anterior) que el costo burocrático se acople a la función objetivo de lo que ya se planteó. Y que sea un factor que justifique la apertura (o no) de comisarías en zonas donde, si sólo se presta atención al criterio operativo, no debería haber ninguna.

Si bien la CABA ya ha tomado las decisiones pertinentes con respecto a la relocalización de comisarías, las fronteras interjurisdiccionales y el nuevo accionar de la policía; la fuerza policial ha demostrado en estos años recientes un dinamismo y un cambio vertiginoso. Por lo tanto, es factible pensar que los cambios en la estructura (geográfica) policial de la ciudad pueden seguir realizándose y que bibliografías como la presente tesis pueden servir para nutrir estas futuras decisiones de rigor matemático.

## Bibliografía

- [I]: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-4-34-155>
- [II]: <https://www.conclusion.com.ar/info-general/inseguridad-en-tiempos-de-pandemia-la-principal-preocupacion-de-los-argentinos/08/2020/>
- [III]: <https://www.buenosaires.gov.ar/noticias/sistema-integral-seguridad>
- [IV]: <https://mapa.seguridadciudad.gob.ar/>
- [V]: <https://www.buenosaires.gov.ar/noticias/nuevo-sistema-de-comisarias-policia-de-la-ciudad>
- [VI]: <http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley5688.html>
- [VII]: <https://boletinoficial.buenosaires.gov.ar/normativaba/norma/pdf/450119>
- [VIII]: <https://boletinoficial.buenosaires.gov.ar/normativaba/norma/419263>
- [IX]: <http://www2.cedom.gov.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley1777.html>
- [X]: <http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley2650.html>
- [XI]: [https://www.clarin.com/policiales/cambios-policia-ciudad-reducen-cantidad-comisarias\\_0\\_H1IVuUEfX.html](https://www.clarin.com/policiales/cambios-policia-ciudad-reducen-cantidad-comisarias_0_H1IVuUEfX.html)
- [XII]: <https://boletinoficial.buenosaires.gov.ar/normativaba/norma/410608>
- [XIII]: <https://mpfciudad.gob.ar/institucional/fiscalias>
- [XIV]: <https://www.bancomundial.org/es/country/argentina/overview>
- [XV]: <https://www.cronista.com/economia-politica/Quita-de-coparticipacion-la-Ciudad-ya-perdio-6600-millones-y-espera-que-defina-la-Corte-20201110-0059.html>
- [XVI]: Adler, N., Shalom Hakkert, A., Kornbluth, J., Raviv, T. & Sher, M. (2013). *Location-allocation models for traffic police patrol vehicles on an interurban network*. Springer Science+Business Media New York 2013
- [XVII]: Chow, A.H.F, Cheung, C.Y & Yoon, H.T. (2015). *Optimization of Police Facility Locationing*. Transportation Research Record 2528
- [XVIII]: Durán, G., Giormenti, M., Guajardo, M., Pinto, P.M., Rey, P.A. & Stier-Moses, N.E. (2017). *Improving Access to Voting with Optimized Matchings*. CONICET Argentina
- [XIX]: Klose, A., Drexler, A. (2003). *Facility location models for distribution system design*
- [XX]: Daskin, M.S. *Network and Discrete Location Models, Algorithms, and Applications* (2013)
- [XXI]: Laporte, G., Nickel, S. & Saldanha da Gama (2013). *F. Location Science*. Springer.
- [XXII]: Fischetti, M, Ljubić, I., Sinnl, M. (2016). *Redesigning Benders Decomposition for Large-Scale Facility Location*. Management Science 63 (7) 2146-2162.

[XXIII]: Kramer, R., Iori, M., Vidal, T. (2020). *Mathematical Models and Search Algorithms for the Capacitated  $p$ -Center Problem*. INFORMS Journal on Computing 32 (2) 444-460.

[XXIV]: Guastaroba, G., Speranza, M.G. (2014). *A heuristic for BILP problems: The Single Source Capacitated Facility Location Problem*. European Journal of Operational Research, Volume 238 (2), 438-450.

[XXV]: <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/delitos>

[XXVI]: <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/estructura-poblacion>

[XXVII]: <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=28011>

[XXVIII]:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDc0YjY1Y2ltMmU1NS00YWQzLTg3YzMtMWEzZGYxNGI4NzczIiwidCI6IjZnc0NzJlTgwMDQtNDY0OC04NDU2LWJkOTY4N2FmYTE1MCIslmMiOjR9&pageName=ReportSectionb66a31f2e9604b62c29c>

[XXIX]: <https://autoblog.com.ar/2020/05/29/los-nuevos-patrulleros-chevrolet-de-la-policia-portena/>

[XXX]: <https://www.buenosaires.gob.ar/jefedegobierno/noticias/rodriguez-larreta-y-santilli-sobre-los-150-moviles-nuevos-de-la-policia-de>

[XXXI]: [https://es.wikipedia.org/wiki/Geometr%C3%ADa\\_del\\_taxista](https://es.wikipedia.org/wiki/Geometr%C3%ADa_del_taxista)

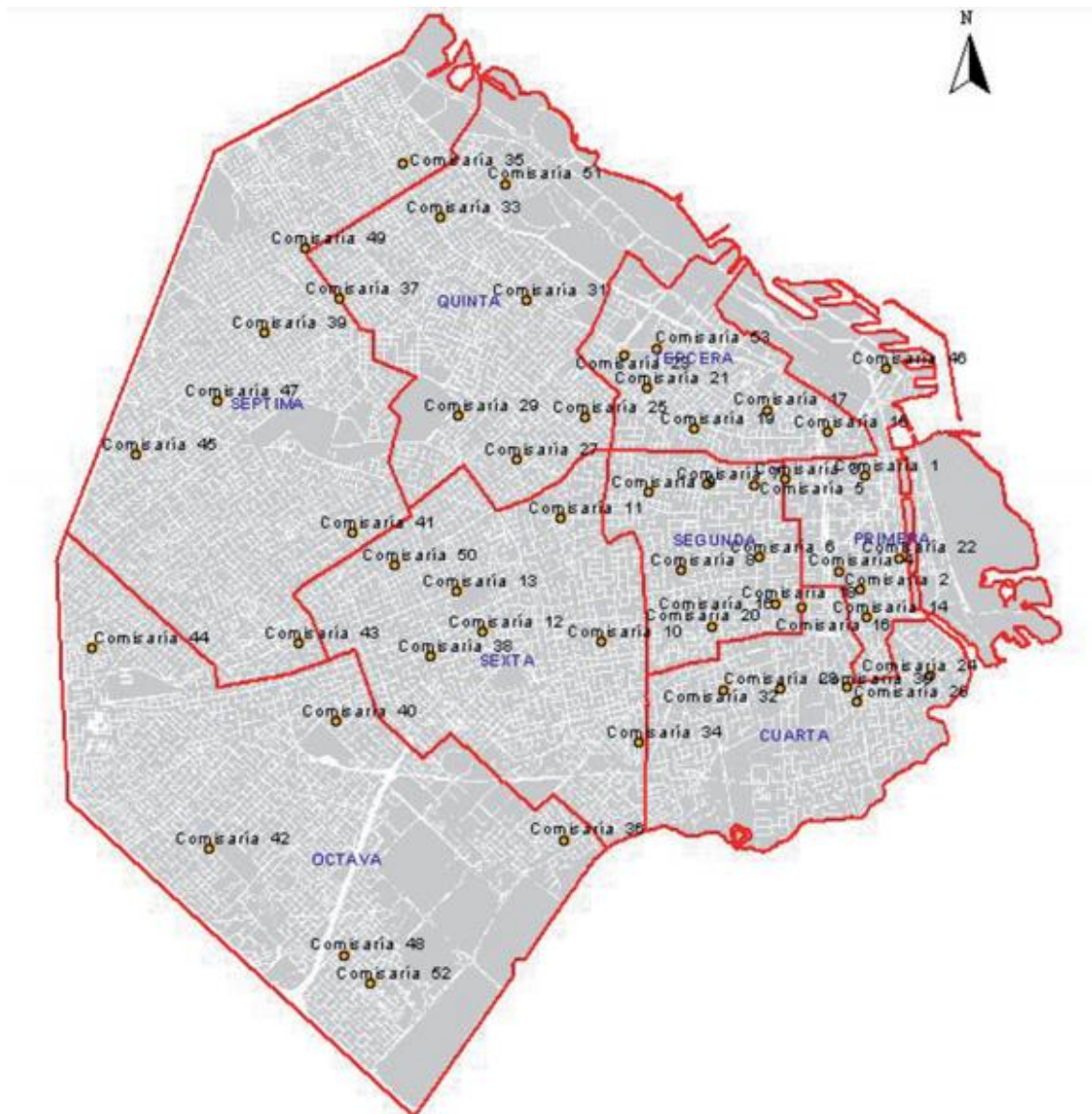
[XXXII]: <https://es.wikipedia.org/wiki/Latitud>

[XXXIII]: U.S. Department of Justice (2005). *Mapping Crime: Understanding Hot Spots*

[XXXIV]: [https://en.wikipedia.org/wiki/Car\\_longevity#cite\\_note-5](https://en.wikipedia.org/wiki/Car_longevity#cite_note-5)



## Anexo 1: Mapa de antiguas seccionales policiales



## Anexo 2: Estimaciones del enfoque táctico

Tipos de auto que usa la policía	Precios (0 km)*	Cantidad de litros por 100 km	Fuente 1	Fuente 2	Comentarios
Ford Focus EXE <sup>11</sup>	?	10,7	*	<a href="http://www.cars.com.ar">http://www.cars.com.ar</a>	
Peugeot 408 <sup>12</sup>	2409000	5,7	<a href="https://www.autocosmos.com.ar">https://www.autocosmos.com.ar</a>	<a href="https://autoblog.com.ar">https://autoblog.com.ar</a>	
Citroën C4 Lounge	2307133	11,8	<a href="https://www.autocosmos.com.ar">https://www.autocosmos.com.ar</a>	<a href="https://autoblog.com.ar">https://autoblog.com.ar</a>	
Chevrolet Meriva	700000	?	<a href="https://www.chevroletroycan.com.ar">https://www.chevroletroycan.com.ar</a>	*	Sólo usados, fuera de circulación
Ford Ranger <sup>13</sup>	3826000	11,3	<a href="http://www.ford.com.ar">http://www.ford.com.ar</a>	<a href="http://www.placervial.com">http://www.placervial.com</a>	Precio promedio de los sugeridos para todas las gamas
Toyota Hilux	3676069	9,8	<a href="https://www.autocosmos.com.ar">https://www.autocosmos.com.ar</a>	<a href="https://motorgiga.com">https://motorgiga.com</a>	Precio promedio de los sugeridos para todas las gamas
Promedio	2583640,4	9,86			
Promedio en USD	26229,85178				

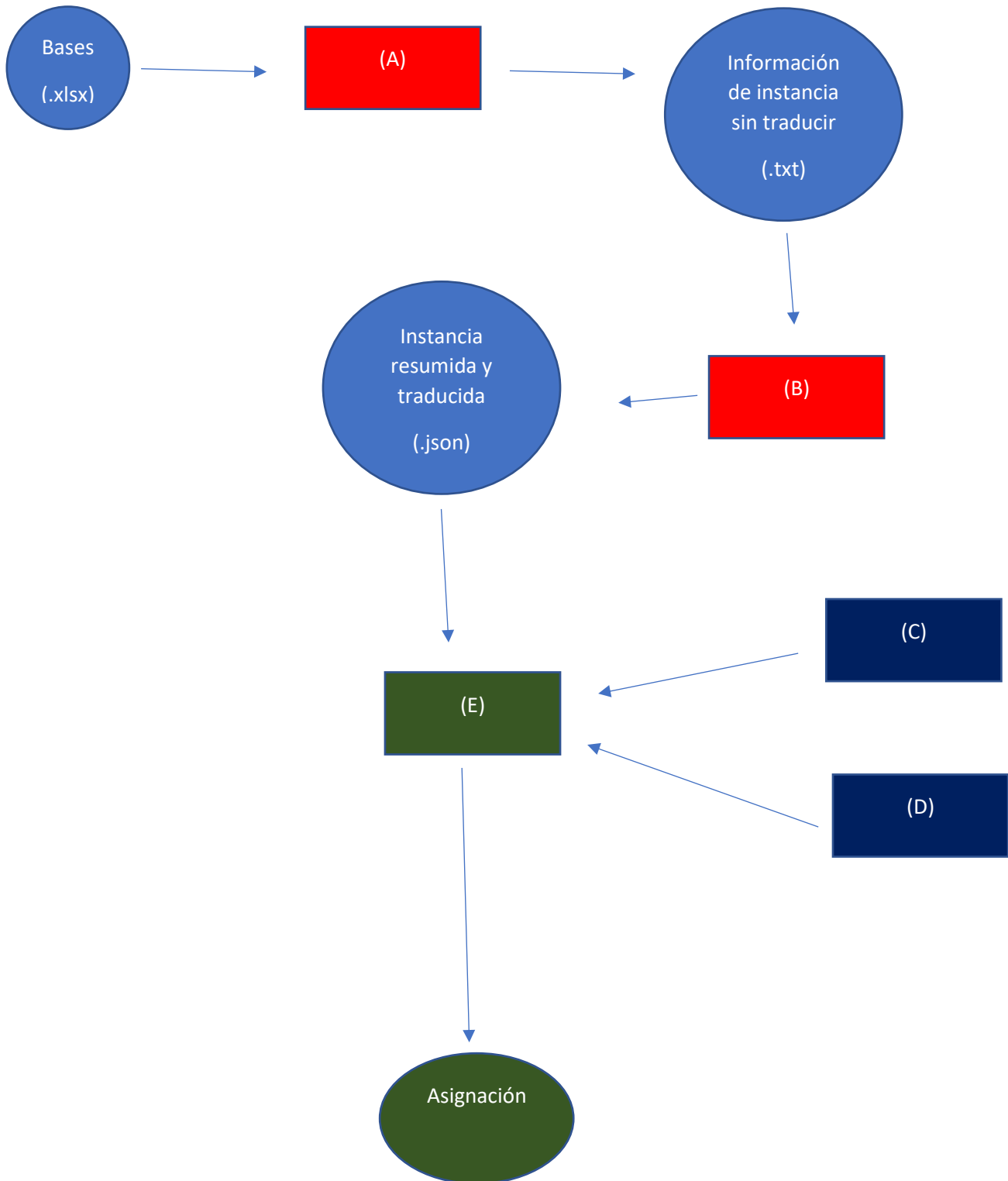
\* Precios en ARS el 30/4/2021

Sueldo mensual de un policía de la ciudad [ARS] **	[USD oficial]	Fuente
92735	941,4720812	<a href="https://www.glassdoor.com.ar">https://www.glassdoor.com.ar</a>

Fi [USD] 272,3588369  
 Ci [USD] 10,73730336

\*Ci que figura fue calculado por grado de latitud/longitud. El usado en los modelos debe ser dividido por 111,12 (su equivalencia en km).

### Anexo 3: Flujo de trabajo para los enfoques táctico y de relocalización de comisarías



**Creador de instancias (A):** script escrito en R y ejecutado en R Studio. Toma las bases, calcula (o setea) los valores de los parámetros (número de comuna, matriz de distancias, capacidades, costos fijos, etc.) y transcribe la información pertinente en varios archivos txt.

**Traductor de instancias (B):** script escrito en Python y ejecutado en Spyder Anaconda. Toma los archivos creados por el creador de instancias y los traduce en otros archivos .txt que tienen el formato adecuado para ser procesados por el script que convierte a las instancias en una clase.

**Script creador de clases instancia y resultado (C):** script escrito en Python y ejecutado en Spyder Anaconda. Su finalidad es crear la clase "Instancia" y la clase "Solución". Estas clases serán invocadas por el script principal a la hora de resolver el modelo.

o La clase Instancia define:

- Parámetros propios de una instancia en un problema de Facility Location (pudiendo ser para p-median también, simplemente obviando capacidades y costos fijos se puede pasar de un tipo de instancia a la otra).
- Funciones internas que permiten leer el archivo generado por el traductor de instancias e incorporar su información en los parámetros mencionados en el ítem de arriba

o La clase solución define:

- Asignaciones
- Facilities abiertas vs cerradas
- Funciones internas que permite transcribir estas soluciones en un archivo .json

**Script Solver (D):** script escrito en Python y ejecutado en Spyder Anaconda. Su función es la de cargar el modelo (F. Objetivo, parámetros, variables y restricciones) a Cplex para luego resolverlo y cargar los resultados en la clase "solución" creada con el script creador de clase e instancia. Es en este script donde se encuentran las restricciones "F" y "G" que deben ser anuladas (comentándolas) para obtener resultados a distintas situaciones. Es también en este script donde se define si el problema se trata de covering o de facility location : como nuestro problema es de covering, en el código se comenta (se anula, se ignora) la existencia de capacidades y costos fijos. En el código se da aviso de que línea comentar o descomentar para tener uno u otro modelo

**Script principal (E):** Carga todos los datos, implementa la resolución del modelo y como output genera un documento donde se detalla la asignación (que crímenes fueron asignados a que facilities)

Anexo 4: Tablas de gap y tiempo de resolución para las 3 situaciones del enfoque táctico

Semana	Situación	Tiempo [seg]	Gap [%]
198	Benchmark	2400	0,89
199	Benchmark	2400	0,89
200	Benchmark	2400	2,56
201	Benchmark	2400	1,58
202	Benchmark	2400	1,91
203	Benchmark	2400	1,67
204	Benchmark	2400	1,72
205	Benchmark	2400	2,96
206	Benchmark	2400	2,21
207	Benchmark	2400	1,59
208	Benchmark	2400	1,45
198	Flexible total	344	0,32
199	Flexible total	250	0,28
200	Flexible total	121	0,24
201	Flexible total	203	0,18
202	Flexible total	55	0,02
203	Flexible total	124	0,02
204	Flexible total	89	0,3
205	Flexible total	303	0,32
206	Flexible total	206	0,32
207	Flexible total	1138	0,01
208	Flexible total	345	0,21
198	Patrullero flexible	224	0,23
199	Patrullero flexible	315	0,27
200	Patrullero flexible	100	0,01
201	Patrullero flexible	70	0,27
202	Patrullero flexible	71	0,15
203	Patrullero flexible	840	0,27
204	Patrullero flexible	323	0,3
205	Patrullero flexible	60	0,24
206	Patrullero flexible	67	0,23
207	Patrullero flexible	68	0,27
208	Patrullero flexible	124	0,18