

Análisis espacial y temporal del patrullaje policial y el crimen en Bogotá D.C.

Oficina de Análisis de Información y Estudios Estratégicos
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.

Diciembre 28, 2018

Resumen

El presente estudio presenta, en primera medida, un análisis descriptivo del comportamiento espacial del patrullaje policial y el crimen en Bogotá. El tiempo de patrullaje varía de forma considerable alrededor de ciertos equipamientos, por ejemplo, en promedio un policía de vigilancia pasa buena parte del tiempo en las Unidades de Reacción Inmediata (URI), lugar donde se legalizan las capturas. Se estima, adicionalmente, la distancia del lugar de ocurrencia de un delito al policía más cercano. A partir de este análisis, se puede inferir que el actuar de la Policía es principalmente reactivo. Posteriormente, a través de un análisis de cluster espacial y temporal, empleando un modelo de *Gaussian Mixture Model*, se estudia con mayor nivel de profundidad el comportamiento del patrullaje con relación a la concentración espacial del crimen en diferentes combinaciones temporales. A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el crimen violento en la ciudad presenta patrones espaciales y temporales definidos, los cuales son fundamentales para el diseño de un patrullaje óptimo. Adicionalmente, a partir del tiempo estimado que pasan los policías de vigilancia en las Unidades de Reacción Inmediata, se concluye que es necesario incrementar la oferta institucional de estos equipamientos y agilizar los trámites judiciales.

1 Introducción

El rol de la policía como principal disuasor del crimen ha sido estudiado a profundidad en la literatura. Bien sea a través de un aumento en el pie de fuerza o un despliegue estratégico de agentes, múltiples estudios muestran una reducción del crimen debido a un incremento de presencia policial, especialmente en puntos de alta concentración de crimen o *hotspots* (Sherman y Weisburd, 1995; Braga y Bond, 2008; Braga, Papachristos, y Hureau, 2014; Blattman, Green, Ortega, y Tobón, 2017). La Policía Metropolitana de Bogotá (MEBOG) cuenta con un sistema de ubicación satelital que permite hacerle seguimiento a la presencia policial de los patrulleros en la ciudad, pero esta información no ha sido objeto de análisis. Dada la importancia de la presencia policial para disminuir el crimen en la ciudad y la falta de estudios al respecto en la ciudad, el presente documento analiza patrones del patrullaje policial y el crimen en la ciudad a nivel espacial y temporal.

La decisión sobre qué áreas de la ciudad se deben patrullar con mayor intensidad no es sencilla debido a las múltiples y diferentes variables a considerar (espacial, temporal, *modus*

operandi del criminal, etc.). Dada esta complejidad, es probable que los agentes de Policía perciban erróneamente la ubicación de los lugares de alta concentración criminal; Ratcliffe y McCullagh (2001) estudian este problema para tres subdivisiones de la policía de Nottinghamshire. Los autores encuentran que los policías lograron identificar de manera correcta los patrones espaciales del hurto a residencia, pero no tuvieron el mismo desempeño con otro tipo de hurto. A través de grupos focales, algunos policías de vigilancia mencionaron que la dinámica espacial podía abrumarlos debido a la gran cantidad de información; sin embargo, otros policías mencionaron no saber bien qué ocurría con el crimen debido a falta de información reportada. El estudio concluye que el flujo de información entre los analistas criminológicos y los policías de patrullaje es crucial para una correcta identificación espacial de *hotspots*, y así lograr una mayor efectividad en la reducción del delito.

Adicionalmente, la naturaleza dinámica del crimen representa un reto en la operatividad policial. La presencia policial no sólo debe estar en el lugar y lugar ideal, sino que también puede causar un efecto de desplazamiento del crimen, que debe ser considerado por los agentes de la policía en su diario actuar. Si bien la mayoría de evaluaciones sobre el incremento en el tiempo de patrullaje policial en *hotspots* no encuentra evidencia de dicho desplazamiento (p.e., Braga et al., 2014), Blattman et al. (2017) encuentra un desplazamiento del crimen a segmentos de vía próximos a los intervenidos en la ciudad de Bogotá. Este desplazamiento es más probable que ocurra en delitos contra el patrimonio que en delitos violentos.

Como complemento a los componentes preventivo y reactivo, el nivel de proactividad de la policía es clave para la reducción del crimen. Estos esfuerzos proactivos deben ser estratégicos con el fin de lograr una mayor eficiencia en la prevención del delito. Por ejemplo, puede focalizarse en espacios geográficos o en personas de alto riesgo. Es de resaltar que los patrones espaciales del crimen presentan mayor variación cuando se consideran unidades geográficas menores (Andresen y Malleson, 2011), por lo que es de gran relevancia focalizar las acciones para la reducción del crimen en unidades geográficas pequeñas (por ejemplo, a nivel de segmento de vía). Así mismo, Braga y Weisburd (2012) concluyen que la disuasión focalizada en individuos de alto riesgo es efectiva para reducir los niveles de crimen.

Volviendo al nivel de proactividad de la policía, Wu y Lum (2017) proponen una nueva metodología para medirla a partir de las actividades policiales auto-iniciadas, es decir, una actividad no reactiva; las principales actividades proactivas de la policía incluyen labores de investigación criminal y seguimiento a individuos de alto riesgo, y actividades relacionadas con prevención y atención de delitos por iniciativa del policía mismo, y no por la denuncia ciudadana. Los autores no sólo contabilizan la cantidad de veces que los policías emprenden actividades proactivas, sino también el tiempo que invierten en dichas actividades y la ubicación geográfica de las mismas. El poder medir la proactividad de la policía es fundamental al momento de analizar el comportamiento del patrullaje en la ciudad. Infortunadamente, para el caso de Bogotá no resulta posible implementar esta metodología con la información disponible; no existe un registro especial cuando quien reporta un evento o delito es un agente de policía, lo cual sí sucede en la información de Jacksonville, Florida, empleada por Wu y Lum (2017).

A pesar de no ser posible identificar cuándo un policía está siendo reactivo y cuándo proactivo, el presente estudio analiza la distribución del patrullaje en la ciudad de Bogotá; se presenta en primera instancia un análisis descriptivo del patrullaje policial y su relación espacial frente a distintos tipos de equipamientos y sitios de interés en la ciudad. También, se

estima la distancia antes y después de la ocurrencia de un delito y la ubicación del policía más cercano; esto permite en cierta medida analizar el nivel de reactividad de la policía de vigilancia. Así mismo, se estudia el comportamiento del patrullaje de acuerdo a la concentración espacial del crimen en diferentes combinaciones temporales.

El documento se divide en cinco secciones. La primera sección corresponde a la introducción. La segunda presenta una breve descripción del modelo de vigilancia utilizado en Bogotá, y la tercera describe los datos empleados en el presente estudio. La cuarta sección detalla la metodología implementada para el análisis y la quinta presenta los resultados derivados de la metodología. Por último, la sexta sección resume las conclusiones del documento y presenta una serie de recomendaciones de política pública.

2 Modelo de vigilancia en Bogotá

El modelo de vigilancia implementado en Bogotá proviene del Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (MNVCC), el cual es bastante similar al esquema de vigilancia ciudadana de Chile (Carabineros de Chile, 2013); el modelo propende por un servicio de vigilancia dinámico, proactivo y con un enfoque de prevención social. Así mismo, el MNVCC busca fortalecer la proximidad existente entre la policía y la ciudadanía. La base del modelo son los cuadrantes, los cuales son definidos como un sector geográfico fijo que recibe distintos tipos de atención policial dependiendo de sus características delictivas, contravencionales, sociales, demográficas y económicas. La delimitación espacial de un cuadrante depende de criterios como: la actividad delictiva a lo largo de los últimos 5 años, analizados tanto por frecuencia como por gravedad; la concentración espacial de delitos observados; la movilidad y el acceso de vías en el territorio; entre otros. Bogotá está dividida actualmente en 1,051 cuadrantes, definidos por la Policía Metropolitana de Bogotá a partir de los criterios previamente mencionados.

Una patrulla es la unidad de contacto con el territorio y su comunidad, y por lo tanto es el pilar de la vigilancia. Cada patrulla está conformada por dos policías, cuyas funciones son: mantener comunicación constante y de proximidad con la comunidad, brindar atención a las solicitudes de la ciudadanía, y establecer redes de apoyo con instituciones gubernamentales y privadas para el apoyo a la comunidad en materia de convivencia y seguridad, entre otras. De acuerdo al MNVCC, cada cuadrante debe contar con 3 patrullas, distribuidas en los siguientes 3 turnos:

- Turno 1: 06:00 – 13:59
- Turno 2: 14:00 – 21:59
- Turno 3: 22:00 – 05:59

Los turnos que realiza una patrulla no son fijos, sino que dentro de cada cuadrante hay una rotación de turnos. Cada patrulla debe realizar un turno de 8 horas y luego descansa las próximas 8 horas; al tercer turno que realiza, tiene un descanso de 32 horas. En total, cada patrullero trabaja 56 horas a la semana y descansa 112. En caso de querer profundizar más en el MNVCC, el lector puede remitirse al documento oficial de la Policía Nacional de

Colombia, disponible en el siguiente enlace: <http://policia.edu.co/documentos/TOM0%202.2.%20Seguridad%20Ciudadana.pdf>

3 Datos

Los datos empleados en este estudio provienen de distintas fuentes. Primero, se cuenta con información GPS de la ubicación de los policías que hacen parte del Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (MNVCC), en la ciudad de Bogotá, durante aproximadamente cinco meses (de octubre de 2017 a marzo de 2018)¹. La información de los patrulleros se obtiene a través de su celular institucional o dispositivo (PDA, por sus siglas en inglés) que utilizan durante su turno de trabajo, y recolecta cada 30 segundos su ubicación en la ciudad. Esto implica más de 256 millones de observaciones con información de coordenadas (x, y) para el periodo analizado. La gráfica 1 muestra la distribución espacial de las observaciones ya mencionadas.

Como se puede apreciar en la figura, ciertas zonas de la ciudad concentran mayor presencia policial, entre ellas se encuentran: las vías principales y el centro de la ciudad. Así mismo, y como es de esperar, existen zonas de alta concentración espacial de patrulleros cerca a equipamientos relacionados con la seguridad ciudadana y la justicia (por ejemplo, Comandos de Atención Inmediata – CAIs, Unidades de Reacción Inmediata – URIs, estaciones de policía, etc.).

Segundo, se cuenta con información georreferenciada de los delitos denunciados en la ciudad, provenientes del Sistema Estadístico Delincuencial, Contravencional y Operativo (SIEDCO) de la Policía Nacional. Los delitos fueron agrupados en combinaciones de rangos horarios y días de la semana. Los rangos horarios son de tres horas (ocho categorías) y el de los días distingue entre semana y fin de semana² para un total de 16 combinaciones.

A esta información se le aplicó los siguientes filtros:

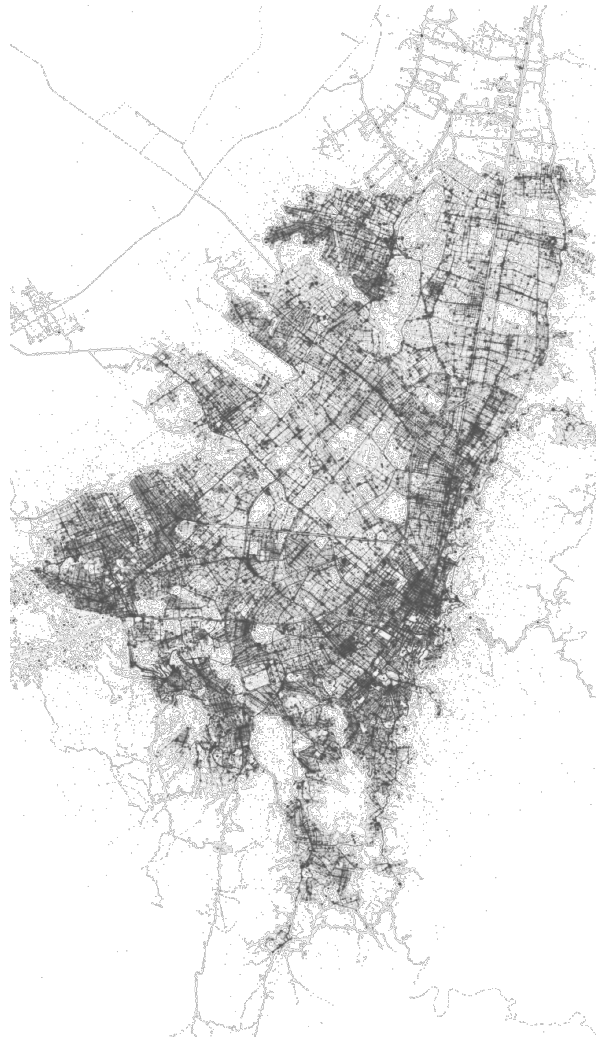
1. Sólo se consideraron los delitos violentos de alto impacto, que son: (i) homicidios, (ii) lesiones personales y (iii) hurto a personas en la modalidad de atraco. Este tipo de delitos son los que más incidencia tienen sobre la percepción de seguridad en la ciudadanía, y son prioridad para la fuerza pública.
2. Se excluyen delitos que ocurrieron dentro del sistema de transporte público Transmilenio, ya que la MEBOG tiene un número de agentes de policía destinados únicamente a prestar servicio en este sistema. Así mismo, los policías de vigilancia del MNVCC se enfocan principalmente en los delitos que ocurren en vía pública; pero también atienden cualquier llamado de la ciudadanía.
3. Se excluye del análisis registros atípicos en la hora de ocurrencia del delito. Estos registros se deben a un error de registro proveniente del cruce entre el Sistema Penal Oral y Acusatorio (SPOA) de la Fiscalía y SIEDCO; por defecto, el sistema fija la hora de ocurrencia del delito en la hora 00:00, lo que distorsiona los patrones temporales

¹Los días para los que la información está incompleta se toma la decisión de excluirlas del análisis. Los días excluidos son: 2017-10-01, 2017-10-02, 2017-10-03, 2017-10-04, 2018-02-24 y 2018-03-03.

²Se consideraron como días de fin de semana los viernes, sábados y domingos.



Gráfica 1: Distribución espacial del patrullaje policial en Bogotá

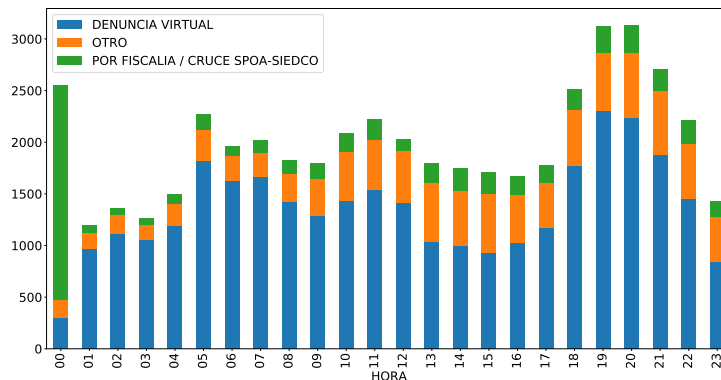


del delito, y dado que se busca identificar dichos patrones, la calidad del registro de la hora debe ser asegurada. Si se asume que estos errores se distribuyen aleatoriamente (es decir, no son sistemáticos), los resultados del modelo no presentarán sesgo alguno al excluirlos del análisis. La gráfica 2 muestra la distribución horaria de la ocurrencia de los delitos analizados, desagregados por el medio de conocimiento. Tal como se puede observar en el panel (a), la hora 00:00 con medio de conocimiento proveniente de SPOA posee un comportamiento anómalo contrastado con la frecuencia de delitos alrededor de esa hora en específico. Una vez se excluyen estos registros, el comportamiento es más acorde con los patrones temporales de la ocurrencia del delito (ver panel (b) de la gráfica 2).

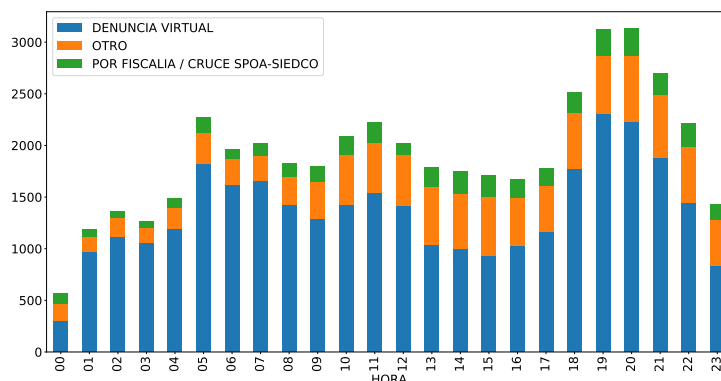
Finalmente, se cuenta con información espacial de distintos sitios de interés de la ciudad, los cuales provienen de la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital – IDECA, de la Secretaría Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia – SSCJ, y de la API



Gráfica 2: Distribución de delitos por hora y medio de conocimiento



(a) Incluyendo la hora 00:00 de SPOA



(b) Excluyendo la hora 00:00 de SPOA

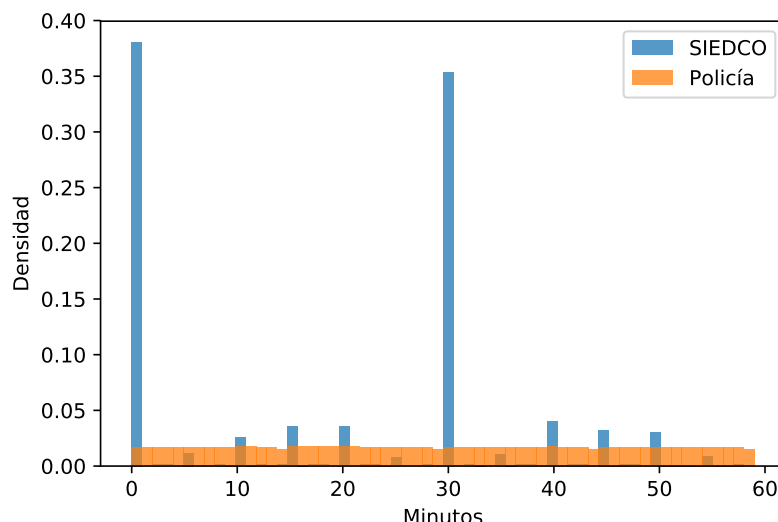
de Google Maps. Los datos provenientes de IDECA corresponde a sitios de interés con los que cuenta la ciudad, de los cuales se incluyen en el análisis los siguientes: monumentos y esculturas, parques, templos y lugares religiosos, hoteles, almacenes de cadena, embajadas, instituciones educativas, centros comerciales, universidades y terminales de transporte. En cuanto a la información proveniente de la SSCJ, se cuenta con la ubicación de los CAIs, URIs y estaciones de policía en la ciudad. A partir de la API de Google Maps se construyó una capa de información geográfica sobre los distintas entidades bancarias que operan en Bogotá.

4 Metodología

4.1 Análisis descriptivo

Dada la relevancia de la presencia policial en la reducción del crimen y el poco conocimiento acerca de la distribución espacial de la policía en la ciudad de Bogotá, se realiza primero un

Gráfica 3: Distribución de la precisión de minutos – SIEDCO y PDAs de la policía



análisis descriptivo. En particular, se analiza el tiempo de permanencia de los policías del MNVCC en distintas zonas de interés de la ciudad descritas en la sección anterior. A partir de este ejercicio, se identifican los lugares más patrullados y el por qué.

Seguido, se estima la distancia más cercana de un policía alrededor del momento en que se comete un delito. La limitación principal de este ejercicio es la falta de precisión en términos de la hora y lugar de la denuncia ciudadana comparada con la información de los PDAs de la policía. La ubicación satelital de la policía, por ser en tiempo real, posee un alto grado de precisión geográfica y temporal; sin embargo, el registro de delitos a través de la denuncia no es tan preciso en dichas dimensiones. Por ejemplo, es muy común que en la denuncia ciudadana se aproxime la hora de la ocurrencia del delito y no se tenga precisión acerca del minuto en el que verdaderamente ocurrió. La gráfica 3 refleja este hecho y lo contrasta con los PDAs de la policía. Tal como se puede apreciar, la distribución de los minutos de la información de los PDAs es uniforme, mientras que en SIEDCO los ciudadanos aproximan la hora en múltiplos de 5, teniendo dos picos altos en los minutos 0 y 30.

Con el fin de solucionar este inconveniente, se descartaron los delitos que reportaban minutos diferentes a 0 y 30, ya que se espera que la precisión de la denuncia sea menor en estos casos. En total, se incluyeron 7,177 delitos violentos (homicidios, lesiones y hurto a personas en modalidad de atraco) para estimar el policía más próximo a la ocurrencia del mismo. El algoritmo se estima para una ventana de tiempo de 15 minutos antes y 15 minutos después de la ocurrencia del delito, con el fin de analizar si existe alguna diferencia estadísticamente significativa. Si la distancia del delito al policía más cercano es menor después de la ocurrencia del delito vis-a-vis antes de, es un buen indicio del grado de reactividad de la policía; en contraste, si la distancia antes de la ocurrencia del delito es menor que cuando ocurrió, habría entonces un alto grado de reactividad de los criminales.

4.2 Modelo de cluster espacial y temporal

Es de gran importancia analizar el comportamiento del patrullaje en las áreas de la ciudad con una alta concentración de delitos. Con el fin de identificar altas concentraciones delictivas espacio-temporales, se estimó un modelo de cluster conocido como Gaussian Mixture Model (GMM). El modelo se estima para cada una de las 16 combinaciones de rango de hora y tipo de día descrito en la sección anterior. El resultado de cada estimación es una serie de clusters (o agrupaciones) espaciales diferenciados por la categoría mencionada, capturando así la dinámica espacial y temporal del crimen.

Se utiliza este método porque, a diferencia de otros algoritmos de clustering (por ejemplo, K-Means), el modelo de GMM permite mayor flexibilidad en la definición espacial del cluster por ser un modelo probabilístico. En contraste, el algoritmo de K-Means ignora la estructura de covarianza de los datos y no estima probabilidades de pertenecer o no a determinado cluster. Además, tiene una tendencia a generar clusters de igual tamaño, lo cual no necesariamente corresponde con la realidad.

Los clusters espacio-temporales se identifican a partir de información de SIEDCO de agosto y septiembre de 2017, dos meses anteriores a la información disponible del patrullaje. En otras palabras, la información de SIEDCO correspondiente al periodo mencionado es la base de entrenamiento del modelo, y posterior a estos dos meses es la base de prueba (de octubre de 2017 a marzo de 2018). Una vez definidos los clusters, se estiman los siguientes indicadores de interés:

- Porcentaje de delitos de la base de entrenamiento que están dentro de los clusters espacio-temporales.
- Porcentaje de delitos de la base de prueba que están dentro de los clusters espacio-temporales. Esto muestra qué tan persistentes son los clusters en el tiempo y si es necesario actualizar los clusters espacio-temporales.
- Tiempo que pasó cada patrulla por turno en los clusters. Esto da una medida de qué tanta presencia policial existe en las zonas de alta concentración criminal.

La definición matemática del modelo GMM se detalla a continuación. En caso que el lector así lo prefiera, puede obviar esta parte y continuar con la siguiente sección. Basta con entender que el modelo produce una serie de clusters espacio-temporales a partir de los datos, es decir, distintas agrupaciones de tiempo y espacio.

Un GMM se define como la suma ponderada de M densidades gaussianas (o normales), tomando un conjunto de variables de D dimensiones. En nuestro caso, las variables empleadas son la ubicación geográfica (latitud y y longitud x) y la unidad de tiempo (la combinación de rango de tres horas y si es fin de semana o un día entre semana t); el conjunto de estas tres dimensiones se denomina vector $\mathbf{x}$. La ecuación 1 muestra la definición del modelo.

$$p(\mathbf{x}|\omega_i, \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) = \sum_i^M \omega_i g(\mathbf{x}|\boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) \quad (1)$$

Las ponderaciones de cada densidad gaussiana están definidas por ω_i , y las densidades de

cada M cluster están dadas por $g(\mathbf{x}|\boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i)$. La forma funcional de cada densidad está dada por la siguiente ecuación:

$$g(\mathbf{x}|\boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} |\boldsymbol{\Sigma}_i|^{\frac{1}{2}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_i)' \boldsymbol{\Sigma}_i^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_i) \right\} \quad (2)$$

$\boldsymbol{\Sigma}_i$ representa la matriz de covarianza de los datos del componente $i = 1, 2, \dots, M$, y $\boldsymbol{\mu}_i$ es el vector promedio de $\mathbf{x}$ para cada componente.

El modelo se estima con un algoritmo de maximización de expectativas (EM, por sus siglas en inglés). Se trata de un algoritmo iterativo donde se maximiza la verosimilitud de la ecuación 1 para estimar efectivamente los parámetros $\omega_i, \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i$, y se toma como dado M – el número de componentes. Para definir el número M (es decir, el total de clusters del modelo), se utilizó el criterio de información bayesiano – BIC. Para mayor detalle sobre el modelo, remítase a Reynolds (2009) y a Deng y Yu (2014).

5 Resultados

5.1 Análisis descriptivo

La distribución espacial del patrullaje y el tiempo que pasan los policías de vigilancia en determinados puntos depende en gran medida de los equipamientos en los que desarrollan actividades propias de su labor, (por ejemplo, realizar un proceso de legalización de captura en una URI), y los sitios de interés de la ciudad. Para estimar el tiempo que invirtió por turno cada patrulla de vigilancia en estos sitios, se construyó un buffer de 100 m para cada sitio de interés y se calculó el tiempo de patrullaje en ellos.

La tabla 1 muestra una serie de estadísticas descriptivas sobre el tiempo que pasan los policías de vigilancia en los equipamientos y sitios de interés de Bogotá. Sólo se incluyen datos de aquellos policías que durante su turno pasaron más de 5 minutos dentro del equipamiento y su área de influencia (el buffer construido), con el fin de analizar los que efectivamente están patrullando el lugar y no solamente de paso. Dado que los turnos de policía son de aproximadamente 8 horas, resulta interesante ver que hay casos aislados en los que se excede este tiempo en casi todos los equipamientos y sitios analizados, llegando inclusive hasta 9 horas de patrullaje. Los dos tipos de equipamiento en los que más tiempo invierten los policías son las Unidades de Reacción Inmediata (URI) y los Comandos de Atención Inmediata (CAI), lo cual es coherente con las serie de tareas que en ellos se cumple.

En cuanto a los CAIs, no es de extrañar que los policías pasen en promedio más de una hora por turno; el fin último de los CAIs es acercar el servicio de policía a la ciudadanía y, por lo tanto, el policía debe estar disponible en estos sitios. Sin embargo, en cuanto a las URIs, resulta evidente la alta ineficiencia del sistema al momento de procesar y legalizar capturas realizadas por los policías de vigilancia. En promedio, los policías pasan entre 1 hora 13 minutos y 1 hora 25 minutos en estos equipamientos, tiempo superior al 17% del turno de un policía de vigilancia. Adicionalmente, luego del proceso de captura, el policía debe comparecer ante el juez las veces que se considere necesario para proferir sentencia contra el capturado.

Tabla 1: Tiempo estimado de patrullaje por turno y policía ($t \geq 5 \text{ min}$)

Equipamiento*	N	Prom.	Desv.Est.	Mín.	25%	50%	75%	Máx.
URI (5)	39300	73.58	82.23	5.00	15.37	40.60	103.50	540.15
CAI (158)	415065	64.48	80.13	5.00	14.70	35.75	81.63	540.12
Monumentos (35)	14072	40.15	60.18	5.00	8.82	18.94	44.00	537.03
Templos (287)	138222	38.06	54.97	5.00	8.80	18.68	42.00	539.52
Parques (113)	35021	37.03	53.03	5.00	8.77	18.77	41.28	539.07
Hoteles (50)	75866	36.55	48.83	5.00	8.72	18.83	42.98	538.03
Almacenes (190)	129410	36.08	48.96	5.00	9.58	20.00	42.55	540.02
Embajadas (42)	12382	34.83	47.74	5.00	9.00	18.39	40.46	535.50
Est. de policía (21)	230423	34.77	69.70	5.00	8.50	14.60	29.62	540.45
C. comerciales (248)	175517	33.97	44.85	5.00	8.97	18.58	40.52	540.02
Hospitales (127)	62771	33.43	47.24	5.00	9.07	18.00	38.00	538.10
Inst. educativas (878)	306253	31.81	49.75	5.00	7.83	15.38	33.50	540.13
Universidades (84)	31748	30.27	40.13	5.00	7.97	16.13	35.45	513.07
P. Transmilenio (9)	4899	28.31	28.21	5.00	11.15	21.68	35.34	478.23
T. de transporte (9)	1582	27.88	39.67	5.00	7.65	15.21	31.74	538.02
Industrias (88)	11587	25.47	33.73	5.00	7.50	13.85	28.83	479.82
Bancos (1201)	238205	23.75	31.85	5.00	7.35	13.50	27.53	540.02

*Nota: En paréntesis se encuentra el total de equipamientos analizados

La tabla 2 presenta una réplica de este ejercicio, pero ahora se filtran los datos que estuvieron al menos 10 minutos alrededor de los sitios de interés analizados en el documento. Los resultados anteriores se mantienen.

Tabla 2: Tiempo estimado de patrullaje por turno y policía ($t \geq 10 \text{ min}$)

Equipamiento	N	Prom.	Desv.Est.	Mín.	25%	50%	75%	Máx.
URI	33482	85.11	83.90	10.02	24.07	53.43	119.55	540.15
CAI	349075	75.31	83.04	10.02	22.80	46.70	93.72	540.12
Monumentos	9964	53.85	66.86	10.02	17.10	30.58	61.05	537.03
Templos	97941	50.86	60.83	10.02	17.00	29.33	57.52	539.52
Parques	24786	49.46	58.68	10.02	17.17	28.99	55.68	539.07
Hoteles	53508	48.93	53.48	10.02	17.18	30.00	58.65	538.03
Est. de policía	154500	48.31	81.78	10.02	14.50	22.50	42.00	540.45
Almacenes	95396	46.45	53.31	10.02	17.21	29.48	54.07	540.02
Embajadas	8848	45.96	52.48	10.02	16.47	28.45	53.39	535.50
Inst. educativas	200764	44.91	57.24	10.02	15.72	25.82	47.92	540.13
C. comerciales	125017	44.89	49.08	10.02	16.92	28.73	53.03	540.02
Hospitales	44954	43.89	52.25	10.02	16.27	26.95	49.47	538.10
Universidades	21190	41.93	44.75	10.02	16.08	26.70	48.95	513.07
T. de transporte	1011	39.71	45.54	10.02	16.24	25.28	43.22	538.02
Industrias	7323	36.29	38.49	10.02	14.81	23.50	41.53	479.82
P. Transmilenio	3830	34.26	29.25	10.02	18.00	26.50	40.15	478.23
Bancos	147126	34.21	36.81	10.02	14.85	23.00	39.00	540.02

La distancia promedio al policía más próximo antes que ocurra un delito es de 237 metros, y después de que ocurra es de 228 metros; es decir, la diferencia promedio entre antes y después de que ocurra el delito es 9.25 metros menor después de la ocurrencia del mismo. Esta diferencia es estadísticamente significativa con un nivel de significancia del 99%. Esto en cierta medida indica que el actuar de la policía es más reactivo ante el delito; si bien esto funciona en términos de operatividad (mayores capturas, incautaciones, etc.), la policía también puede adoptar un rol más preventivo para la reducción del crimen (Wu y Lum, 2017). La tabla 3 presenta estadísticas descriptivas del comportamiento de la distancia del delito al policía más próximo. Así mismo, la gráfica 4 presenta la distribución de la distancia del delito ocurrido al policía más próximo, 15 minutos antes y después de la ocurrencia del delito. Se puede apreciar que la parte izquierda de la distribución tiende a hacerse más pronunciada una vez el delito se ha cometido, dando evidencia del actuar reactivo de la policía.

5.2 Clusters espaciales y temporales

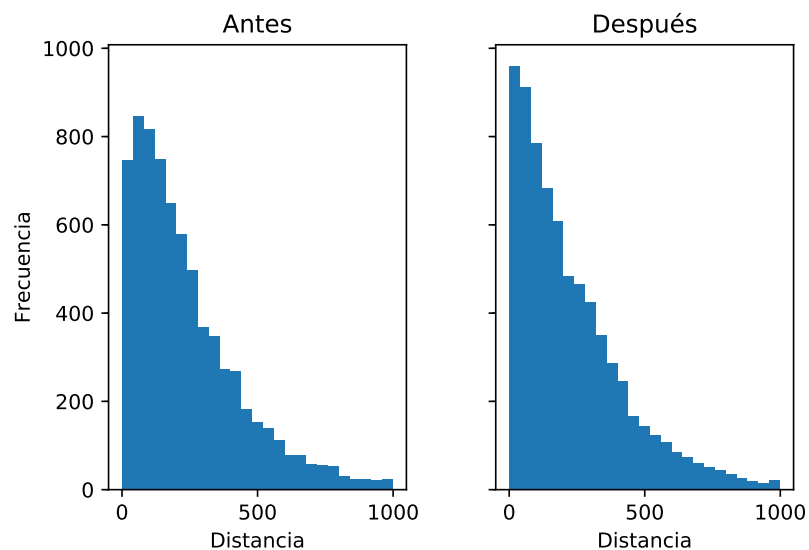
Los resultados del modelo GMM aplicado al crimen violento en Bogotá muestran unos patrones interesantes en el comportamiento del delito. En primer lugar, se obtiene un mayor número de clusters espaciales durante los días entre semana comparado a los fines de semana; entre semana el total de clusters varía entre 11 y 24 clusters, mientras que los fines de semana el número de clusters varía entre 8 y 17. En cuanto a los días entre semana, existe un mayor número de clusters espaciales durante los rangos de horas comprendidos entre las 09:00 y



Tabla 3: Distancia en metros entre el delito y el policía de vigilancia más cercano

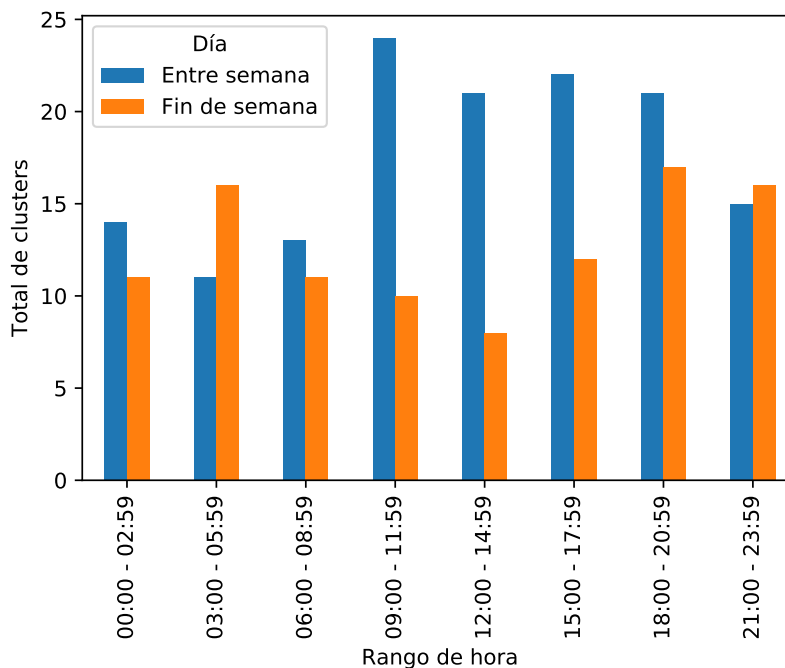
	Distancia antes	Distancia después
N	7177	7177
Promedio	237.33	228.08
Desv. Est.	195.41	194.85
Mín.	0.31	0.44
25%	87.95	76.95
50%	185.62	176.30
75%	334.05	326.99
Máx.	999.05	998.07

Gráfica 4: Distribución de la distancia en metros al policía más próximo, 15 minutos antes y después del delito



las 20:59; las noches y las madrugadas entre semana poseen menos clusters espaciales. En contraste, los fines de semana poseen más clusters en horas de la noche y la madrugada (18:00-05:59). Esto está determinado en gran medida por los patrones del comportamiento y movilidad de las personas; entre semana hay más actividades rutinarias durante el día (por ejemplo, ir a trabajar o estudiar) lo cual hace que el crimen se distribuya espacialmente diferente, mientras que los fines de semana hay mayor actividad nocturna (por ejemplo, más personas movilizándose a sitios de rumba) La gráfica 5 muestra el total de clusters estimados por rango de hora y tipo de día.

Gráfica 5: Número de clusters por rango de hora y tipo de día

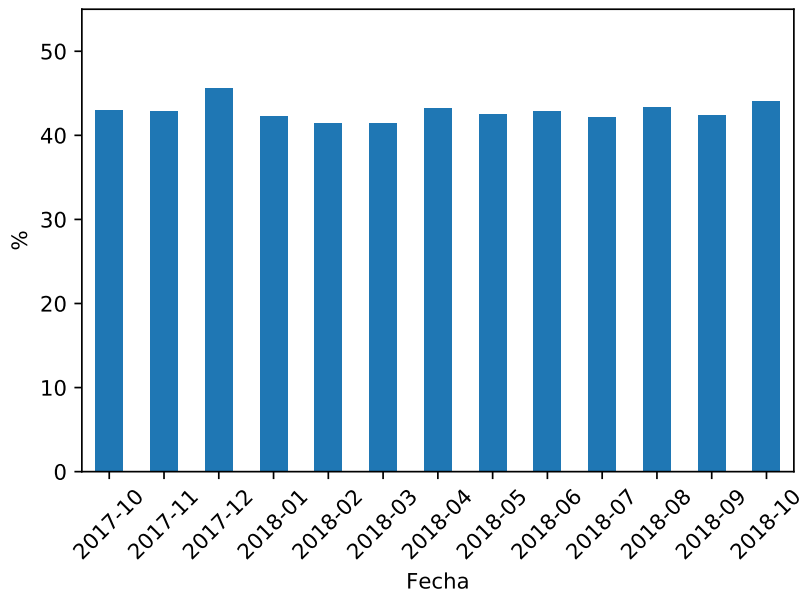


Los clusters definidos por GMM abarcan en promedio el 20% del área urbana de Bogotá; al realizar el cruce espacio-temporal, éstos concentran el 41% del crimen violento de la ciudad para los meses en los que se entrenó el modelo (agosto y septiembre de 2017). Sin embargo, es probable que el modelo refleje los patrones del crimen únicamente para los meses en los que se entrenó, pero no refleje la realidad del resto de meses (lo que se conoce comúnmente como *overfitting*). La gráfica 6 muestra el porcentaje de crímenes que ocurrieron los siguientes meses en los clusters espacio-temporales estimados. El comportamiento del crimen en los clusters estimados es relativamente estable; esto implica que los clusters encontrados son persistentes, no hay evidencia de *overfitting* y no es necesario actualizar de forma permanente la estimación del modelo GMM. En caso que los clusters no fueran persistentes en el tiempo, la gráfica 6 presentaría un comportamiento decreciente, en vez del comportamiento estable que se evidencia.

En cuanto a los resultados del modelo, la gráfica 7 muestra un grupo de clusters entre semana para el rango 00:00-02:59, estimados por GMM, y lo contrasta con la concentración espacial de los delitos registrados en SIEDCO. En términos generales, el modelo captura



Gráfica 6: Porcentaje de crímenes violentos dentro de los clusters estimados

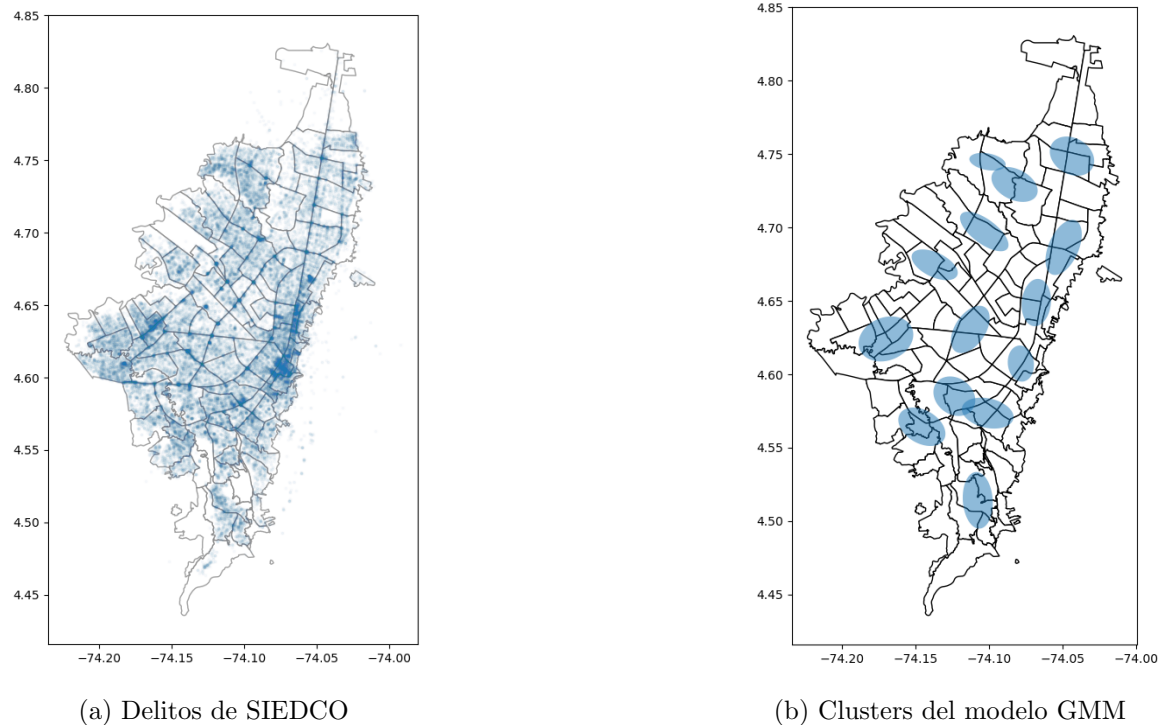


bastante bien los patrones espacio-temporales del crimen.

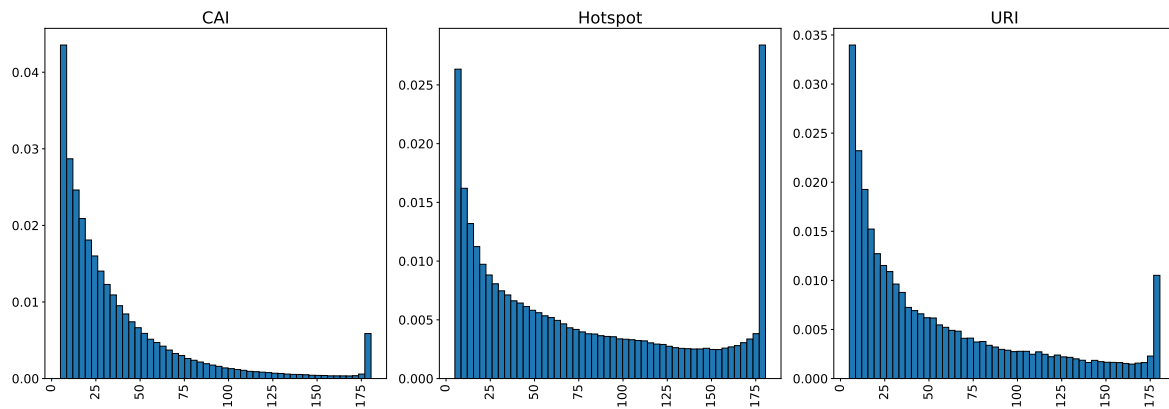
Comparado con el tiempo de patrullaje por los tipos de equipamiento en la ciudad, es de notar que hay una mayor presencia policial en las zonas de alta concentración delictiva. En promedio, es mayor el tiempo de permanencia por parte de los policías de vigilancia en *hotspots* que en las URIs. Es más probable que un policía de vigilancia pase 3 horas o más en dichos puntos *hotspot* comparado con el tiempo en una URI. Sin embargo, si el tiempo de permanencia en puntos calientes es muy alto, puede llegar a ser inefectiva la presencia policial en dichos puntos (Koper, 1995; Telep, Mitchell, y Weisburd, 2014). Más aún, un alto tiempo de permanencia en equipamientos como las URIs es también inefectivo para combatir el crimen; el policía de vigilancia deja de cumplir sus labores diarias por estar realizando procesos administrativos (p.e. legalización de capturas, presentarse delante de un juez, etc.). El gráfico 8 muestra la distribución del tiempo patrullado en los *hotspots* y los CAIs y URIs.



Gráfica 7: Distribución espacial de delitos por hora y GMM clusters



Gráfica 8: Densidad del tiempo patrullado por policía y por rangos de tres horas



6 Conclusiones

El presente documento presentó un análisis principalmente descriptivo del patrullaje en la ciudad. A partir de los resultados obtenidos, se concluye:

El crimen en Bogotá presenta patrones espaciales y temporales definidos. Estos patrones pueden ser modelados de forma consistente con los datos disponibles, y son de gran



relevancia para diseñar un patrullaje óptimo. Los días que son fin de semana presentan comportamientos diferentes a los días entre semana, tanto espacial (un mayor número de clusters espaciales los días entre semana *vis-a-vis* los fines de semana) como temporalmente (el día entre semana es más problemático; en contraste, los fines de semana durante la noche presenta más zonas de concentración delictiva). Si bien es eficiente para la policía concentrarse en unidades geográficas pequeñas (Andresen y Malleson, 2011), también es necesario dirigir el patrullaje en unidades temporales pequeñas dependiendo del rango de hora.

Los clusters espacio-temporales son persistentes en el tiempo. No hay evidencia de la necesidad de actualizar de puntos calientes mensualmente, ya que, en general, el comportamiento espacio-temporal es relativamente estable. Cubrir el 20% de la ciudad en rangos de 3 horas abarca más del 40% del crimen.

El tiempo de permanencia en las URIs es muy alto. El tiempo que pasa un policía de vigilancia en este tipo de equipamientos puede llegar a tomar incluso el turno completo. Esto pone de manifiesto la necesidad de buscar la manera de agilizar los trámites administrativos que deben realizar los policías en este tipo de equipamientos. La legalización de una captura puede tardar varias horas y es probable que el policía de vigilancia tenga que volver frecuentemente si el juez así lo requiere. Si bien los policías pasan más tiempo en promedio en *hotspots*, las URIs son el equipamiento que más tiempo pasan durante su turno. Además, es necesario fortalecer la oferta institucional de equipamientos relacionados con el sistema penal para que la labor de vigilancia no se vea afectada. Bogotá cuenta con tan sólo 5 URIs pero un alto número de capturas, lo cual ralentiza el tiempo que un policía tarda en una URI lo que compute con el tiempo en labores de vigilancia.

Es necesario idear un mecanismo para medir la proactividad policial. El nivel de proactividad de la policía es fundamental para disuadir el crimen. Sin embargo, actualmente es imposible medir dicho nivel con la información con que se cuenta para Bogotá. Esto permitiría realizar un análisis por separado entre proactividad y reactividad de la policía. Así mismo, permitiría fortalecer las labores proactivas y medir su eficacia.

El actuar de la policía es más reactivo que proactivo. Al comparar la información disponible en una ventana de tiempo de 15 minutos antes del delito y 15 minutos después, la distancia del policía se reduce después de la ocurrencia del delito.

Es necesario evaluar cuánto es el tiempo óptimo de permanencia en un *hotspot*. El tiempo patrullado por policía en un rango de tres horas es elevado. La literatura recomienda una presencia de 15 minutos en un orden aleatorio; no es necesario estar constantemente en un lugar de alta criminalidad para reducir el nivel de crimen en esas zonas, ni por un tiempo demasiado largo (Telep et al., 2014).

Referencias

- Andresen, M. A., y Malleson, N. (2011). Testing the stability of crime patterns: Implications for theory and policy. *Journal of Research in Crime and Delinquency*, 48(1), 58-82. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/0022427810384136> doi: 10.1177/0022427810384136
- Blattman, C., Green, D., Ortega, D., y Tobón, S. (2017, October). *Place-based interventions at scale: The direct and spillover effects of policing and city services on crime* (Working Paper No. 23941). National Bureau of Economic Research. Retrieved from <http://www.nber.org/papers/w23941> doi: 10.3386/w23941
- Braga, A. A., y Bond, B. J. (2008). Policing crime and disorder hot spots: A randomized controlled trial. *Criminology*, 46(3), 577-607. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-9125.2008.00124.x> doi: 10.1111/j.1745-9125.2008.00124.x
- Braga, A. A., Papachristos, A. V., y Hureau, D. M. (2014). The effects of hot spots policing on crime: An updated systematic review and meta-analysis. *Justice Quarterly*, 31(4), 633-663. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/07418825.2012.673632> doi: 10.1080/07418825.2012.673632
- Braga, A. A., y Weisburd, D. L. (2012). The effects of 'pulling levers' focused deterrence strategies on crime. *Campbell Syst Rev* 8:6.
- Carabineros de Chile. (2013). Manual Didáctico, Plan Cuadrante de Seguridad Preventiva. *Santiago de Chile*.
- Deng, L., y Yu, D. (2014, October). Chapter 2: Gaussian mixture models. In *Automatic speech recognition — a deep learning approach* (Automatic Speech Recognition — A Deep Learning Approach ed.). Springer. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/chapter-2-gaussian-mixture-models/>
- Koper, C. S. (1995). Just enough police presence: Reducing crime and disorderly behavior by optimizing patrol time in crime hot spots. *Justice quarterly*, 12(4), 649-672.
- Ratcliffe, J. H., y McCullagh, M. J. (2001). Chasing ghosts? Police perception of high crime areas. *British Journal of Criminology*, 41(2), 330-341.
- Reynolds, D. A. (2009). Gaussian mixture models. In *Encyclopedia of biometrics*.
- Sherman, L. W., y Weisburd, D. (1995). General deterrent effects of police patrol in crime "hot spots": A randomized, controlled trial. *Justice Quarterly*, 12(4), 625-648. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/07418829500096221> doi: 10.1080/07418829500096221
- Telep, C. W., Mitchell, R. J., y Weisburd, D. (2014, 09 03). How Much Time Should the Police Spend at Crime Hot Spots? Answers from a Police Agency Directed Randomized Field Trial in Sacramento, California. *Justice Quarterly*, 31. doi: 10.1080/07418825.2012.710645
- Wu, X., y Lum, C. (2017, Dec 01). Measuring the spatial and temporal patterns of police proactivity. *Journal of Quantitative Criminology*, 33(4), 915-934. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10940-016-9318-5> doi: 10.1007/s10940-016-9318-5