Análisis espacial para la planeación dinámica del servicio de policía urbano

Andrés Pérez Coronado

September 2020

1 Introducción

El servicio de policía o policing, en el caso colombiano se desarrolla a través de cuadrantes [3], los cuales dividen la ciudad en polígonos que agrupan barrios con problemáticas similares, se establecen mediante un análisis espacial y temporal, a partir de sus características delictivas, comportamientos contrarios a la convivencia, sociales, demográficas, geográficas y económicas se establece su jurisdicción, por un periodo de aproximadamente dos años.

La planeación del servicio de vigilancia se realiza en tres turnos: primer turno de 22:00 a 07:00 horas, segundo turno de 07:00 a 14:00 horas, y tercer turno de 14:00 a 22:00 horas. La planeación de las patrullas consiste en utilizar la Tabla de Actividades Mínimas Requeridas (TAMIR) donde plasman las actividades a realizar semanalmente, basados en su experiencia y un análisis cualitativo y cuantitativo de lo que ocurre al interior de su cuadrante.

El problema de estudio es el reto de la planeación del servicio de vigilancia urbana para atender las diferentes problemáticas simultaneas que ocurren por franjas horarias. Pues los recursos limitados no permiten tener patrullas por delito, y además cómo se tienen en cuenta las dependencias espaciales de los barrios de la ciudad para establecer cada cuadrante y que responda oportunamente.

Para realizar un aporte en la solución de este problema, sobre la base de

los turnos policiales existentes, teniendo en cuenta que las lesiones personales pueden presentar menor endogeneidad en comparación a otros delitos, pues una lesión no causará un hurto, violencia intrafamiliar, riñas o tráfico de drogas ilícitas, pues casi siempre es una consecuencia. Es necesario aclarar que las lesiones podrían causar un homicidio, o tratar de cometer homicidio podría resultar en una lesión.

Por lo anterior, se parte de la hipótesis: si las variables sociales, económicas y del entorno urbano tienen un impacto diferencial en las lesiones personales por franjas horarias y por zona geográfica, entonces la planeación de las patrullas de vigilancia podría hacerse por zonas geográficas dinámicas en cada turno de vigilancia policial.

Así, la hipótesis nula $H_0 : X_{ij} = X_{ik}$ donde X es la variable aleatoria lesiones personales, i las franjas horarias, y j, k son los polígonos de estudio donde ocurren los eventos delictivos. Se desea probar las hipótesis alternativa $H_1 : X_{ij} \neq X_{ik}$. Para esto, se utilizará el análisis exploratorio de datos espaciales, entonces permitir la planeación por zonas geográficas dinámicas, estableciendo si existe dependencia espacial de X_{ij} con los X_{ik} mediante la prueba de Moran I.

Se debe tener en cuenta, que principalmente existen dos tipos de atención de las patrullas, por demanda que son requerimientos ciudadanos a la línea de emergencia, y el segundo las actividades de prevención y control de las patrullas, este último será el enfoque de este estudio.

El presente estudio puede especificar sus aportes en: la ampliación de las aplicaciones de la econometría espacial es la aproximación metodológica que brinda a los procesos de la seguridad ciudadana en la ciudad de Medellín, ayudando a comprender las dinámicas propias internas para la reducción del delito. Un aporte a la gestión del servicio del cuerpo de policía con una herramienta útil para la toma decisiones y la planeación operativa. Y un aporte a la criminología en la compresión espacial y temporal de fenómenos criminales sobre variables sociales, económicas y del entorno urbano.

Un resultado importante de los aportes anteriores sería la disminución de la vulneración de los derechos y la integridad de los ciudadanos.

2 Modelo

El modelo será aplicado en la ciudad de Medellín, con polígonos a nivel de barrios, cuya variable dependiente el modelo será aplicado en la ciudad de Medellín, con polígonos a nivel de barrios, cuya variable dependiente serán las lesiones personales. Como las lesiones personales se pueden convertir en homicidios, se tendrá en cuenta está variable para conocer su significancia.

La efectividad de la vigilancia policial depende en gran medida del planeamiento urbano, pero obtener información de la estructura urbana es complejo, y es manejada por diferentes organizaciones públicas y privadas [4]. Incluir variables de imágenes de satélite de muy alta resolución (VHR) de la configuración de la ciudad es un abordaje que ayudaría a superar esta dificultad.

El modelo se basa en el trabajo de [2] donde:

$$Y = C + X\beta + \epsilon \tag{1}$$

Donde Y es un vector n por 1 de la variable dependiente: cantidad de lesiones personales del año 2014, además se dividirá en tres turnos del servicio de policía por franjas horarias. X es una matriz de variables explicativas de los años 2005 a 2009, con un vector de coeficientes de regresión β; y ϵ es un vector n por 1 de términos de error.

Se partió de las variables explicativas que toma el modelo de [2] cuya variable dependiente es la tasa de homicidios por 100 mil habitantes, que se cambió por lesiones personales.

Se tomaron las mismas variables explicativas: *Downtown*: Variable dummy para el centro de la ciudad (1=centro, 0=no centro), *d_pob*_05: Densidad poblacional del barrio en 2005 (personas por kilómetro cuadrado), *bcrim*_09: Porcentaje de hogares en el barrio que han sido víctimas de grupos delicuenciales, *slu*5_09: Porcentaje de hogares cuyos ocupantes no son los dueños de la vivienda, *Gini_i*_09: Gini de ingresos en 2009, *h*20_24_09: Porcentaje de hombres entre 20 y 14 años, *divor*_09: Porcentaje de hogares con padres divorciados en el barrio, *dese*_09: Porcentaje de individuos desempleados en el barrio.

Se replicó el experimento, se cambió la variable dependiente, y se agregaron las variables explicativas: *thomi*_1011: Tasa de homicidio promedio 2010

2011, que era la variable dependiente, *sincony_09*: Porcentaje de hogares sin cónyuge (monoparentales), $tHog09$: Tamaño promedio del hogar en número de personas en 2009, *empl_09*: Porcentaje de individuos empleados en el barrio.

Mediante el método selección paso a paso de eliminación hacía atrás de las variables de forma no automática, se buscó una mejora de F-estadístico, el P-valor, y mejorar la calidad relativa del modelo mediante los criterios de Akaike y Schwarz. Teniendo en cuenta que para la planeación de un servicio de policía se acude al principio de parsimonia, pues se deben tener el menos número de variables a controlar.

Las variables explicativas del modelo quedan de la siguiente manera: *Downtown*, $slu5_09$, $thomi_1011$, $tHog09$, *empl_09*.

Para los análisis y gráficas se utilizará el software especializado en econometría espacial Geoda [1].

3 Análisis exploratorio de datos espaciales (ESDA)

Para verificar la primera parte de la hipótesis donde las variables sociales, económicas y del entorno urbano tienen un impacto diferencial en las lesiones personales por franjas horarias y por zona geográfica. Así, se hace necesario explorar que la variable lesiones personales del año 2014 (LP_14) tiene un comportamiento diferente durante los turnos de vigilancia policial.

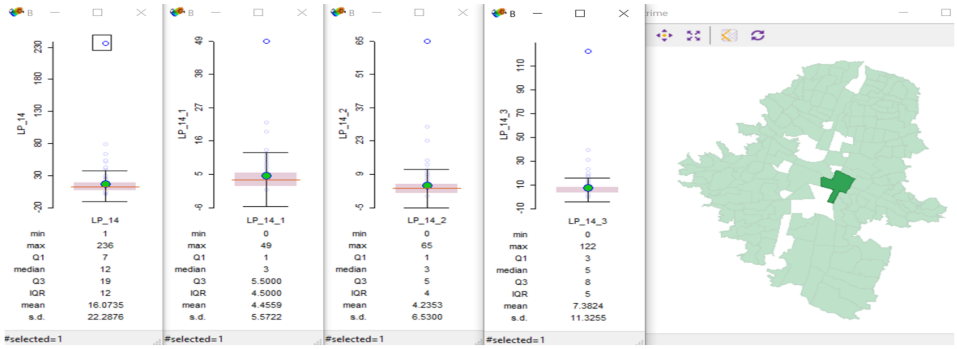

Figure 1: Diagrama caja

En la figura 1, se puede observar que la media, la mediana y la desviación estándar cambian entre turnos con relación a la variable del año completo. De igual forma, el centro de la ciudad es el cuál presenta un número mayor de casos significativamente.

Asimismo, los cuantiles entre la variable agrupada por año y en cada uno de los turnos figura 2, presenta número diferente de eventos de lesiones personales por la variable del año y en cada uno de los turnos. En este caso se seleccionaron los cuantiles uno y dos equivalentes al 50% de los datos de la variable por año, en varios polígonos cambian por turno a los cuantiles tres y cuatro. Comprobando nuestra hipótesis que el delito tiene una relación espacial diferencial por franjas horarias y por zonas geográficas.

También, en los percentiles figura 3, al tomar el 90% superior ocurre lo mismo, los mismos polígonos del año 2014 se encuentran en percentiles diferentes por turno de vigilancia policial.

Para el mapa 4, este algoritmo de clustering que determina los puntos de ruptura que producen los grupos con la mayor similitud interna, indica que por turno los polígonos tomen diferentes valores.

EL algoritmo natural breaks, selecciona el atributo x, a ser clasificado y especifica el número de clases requeridas k. Genera un conjunto de valores $k-1$ aleatorios o uniformes en el rango $[\min x, \max x]$. Estos se utilizan como límites de clase iniciales. Se calculan los valores medios para cada clase inicial y se calcula la suma de las desviaciones cuadradas de los miembros de la clase de los valores medios. Se registra la suma total de desviaciones al cuadrado TSSD. Los valores individuales en cada clase se asignan sistemáticamente a las clases adyacentes ajustando los límites de la clase para ver si se puede reducir el TSSD. Este es un proceso iterativo, que finaliza cuando la mejora en TSSD cae por debajo de un nivel de umbral, es decir, cuando la variación dentro de la clase es lo más pequeña posible y la variación entre clases es lo más grande posible.

Para verificar la segunda parte de la hipótesis propuesta, la planeación de las patrullas de vigilancia podría hacerse por zonas geográficas dinámicas en cada turno de vigilancia policial. De esta forma, podremos establecer que se puede planear la asignación de patrullas, en atención a la dependencia espacial de los vecinos de cada polígono.

Se utiliza la I de Moran, se considera una variable z, dada en desviaciones

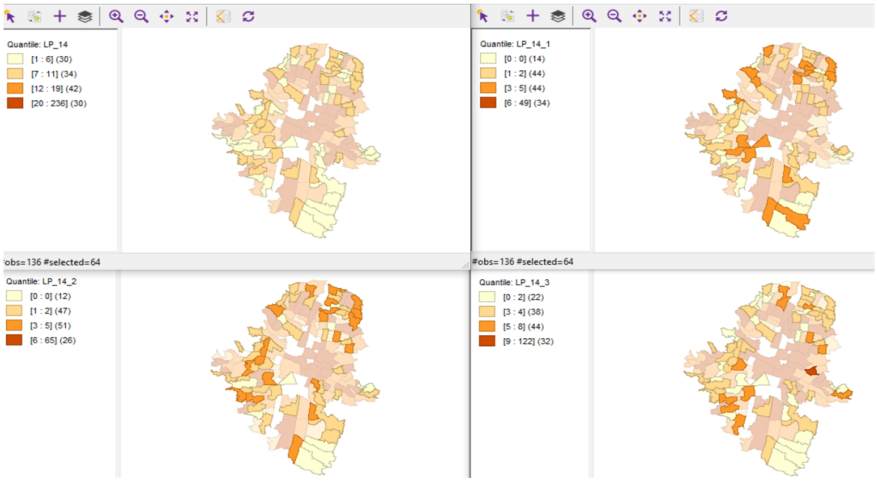

Figure 2: Mapa distribuido por cuantiles

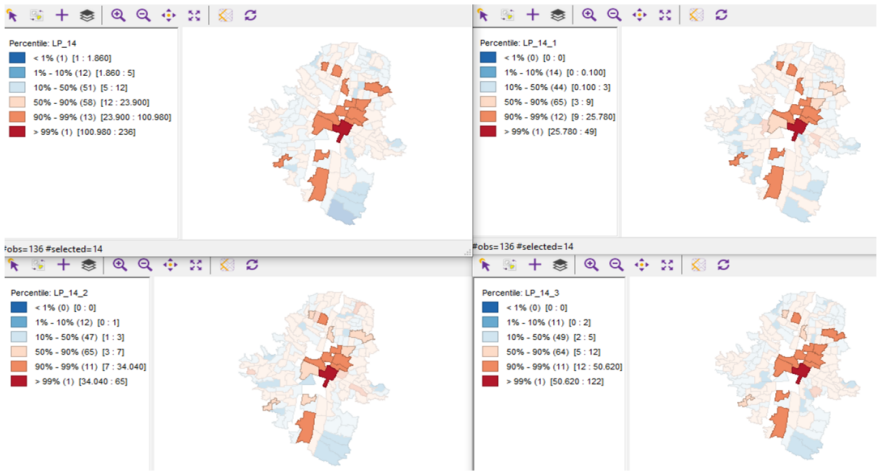

Figure 3: Mapa distribuido por percentiles

de la media. Con ponderaciones estandarizadas por filas, la suma de todas las ponderaciones ($S0$) es igual al número de observaciones (n). Como resultado, la expresión de I de Moran se simplifica a:

$$I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i \cdot z_j}{\sum_i z_i^2} = \frac{\sum_i (z_i \times \sum_j w_{ij} z_j)}{\sum_i z_i^2} \tag{2}$$

Tras un examen más detenido, resulta ser la pendiente de una regresión de $\sum_j w_{ij} z_j$ sobre z_i.

En la figura 5 para el año 2014 sin división por turno, existe dependencia espacial de las lesiones personales.

Para la figura 6 donde el año 2014 en primer turno, también tiene una dependencia espacial, y diferente de aquella donde están juntos todos los turnos de vigilancia policial.

El segundo turno de vigilancia es el que presenta la mayor dependencia espacial, y tercer turno también presenta una dependencia espacial diferente al año sin divisiones y a los otros dos turnos.

Como se puede apreciar en las figuras 5 6 7 8, existe dependencia espacial, y que cada turno tiene su propia dependencia espacial particular en su franja horaria, y comprobar que variables permanentes tienen impactos diferenciales, se convierte esto en una herramienta útil para la planeación del servicio y la formulación de política pública de seguridad y convivencia ciudadana.

4 Estimación

Se aplica una regresión de mínimos cuadrados ordinarios y el diagnóstico para la dependencia espacial sobre el concepto de [1], que usa una matriz de contigüidad W con dimensión $n \times n$. Los pesos espaciales w_{ij} son distintos de cero cuando i y j son vecinos, y cero en caso contrario. Se excluye la relación de vecino propio, de modo que los elementos diagonales de W son cero, $w_{ii} = 0$.

Formalmente, cada unidad espacial está representada en la matriz por una fila i, y los vecinos potenciales por las columnas j, con $j \neq i$. La existencia de una relación de vecino entre la unidad espacial correspondiente a la fila i

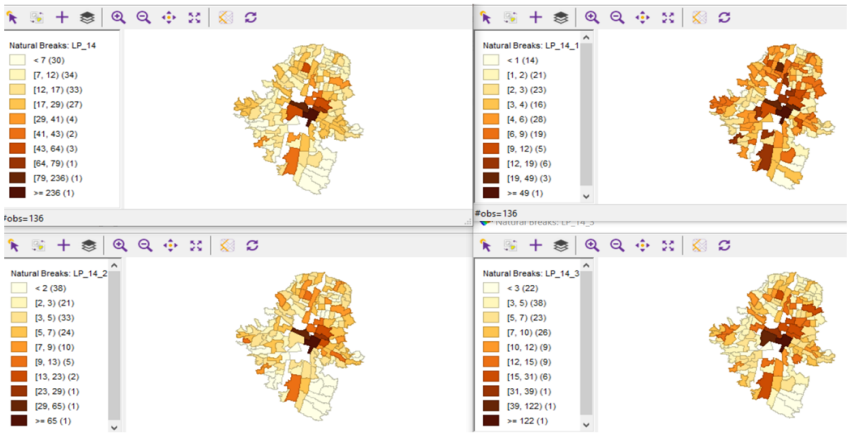

Figure 4: Mapa agrupamiento natural breaks

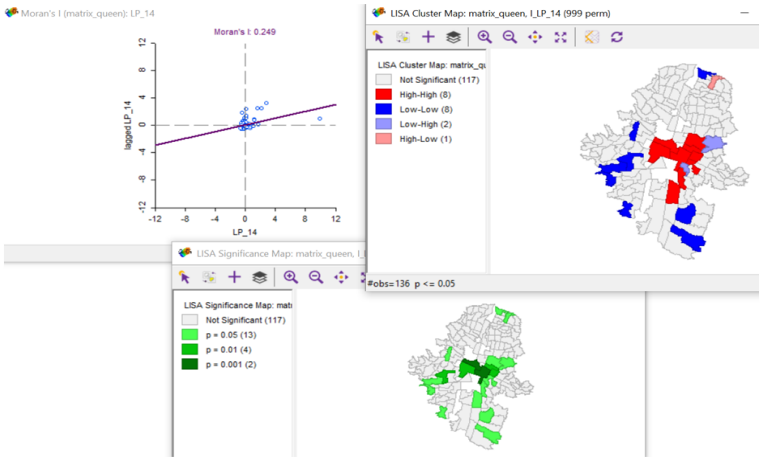

Figure 5: Moran lesiones personales año

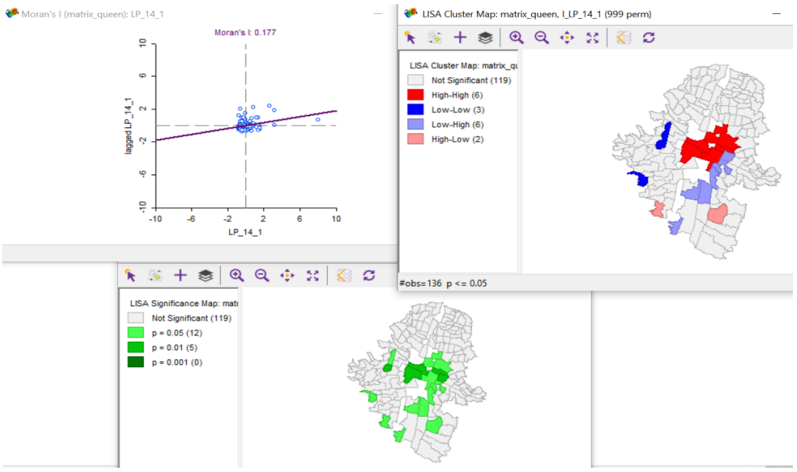

Figure 6: Moran lesiones personales año primer turno

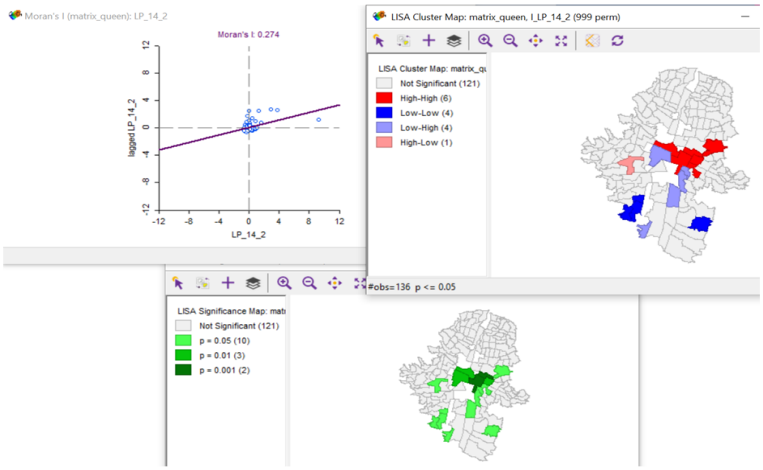

Figure 7: Moran lesiones personales año segundo turno

y la columna j coincidente sigue entonces como $w_{ij} = W_{i,j} = 1$.

Se utiliza W tipo reina (queen) donde se tienen en cuenta todos los vecinos con que tenga frontera, con una matriz normalizada por filas (row-standardized weights) toma los pesos dados w_{ij} (por ejemplo, los pesos binarios cero-uno) y los divide por la suma de filas:

$$w_{ij(s)} = w_{ij} / \sum_j w_{ij} \tag{3}$$

Como resultado, cada suma de filas de los pesos estandarizados por filas es igual a uno. Además, la suma de todos los pesos, $S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$, es igual a n, el número total de observaciones.

Según los resultados obtenidos en las regresiones de la figura 9 tanto la variable dependiente del año 2014 y sus tres divisiones en turnos fue significativa la prueba de Lagrange Multiplaier (lag), que indica la presencia de autocorrelación espacial de Y depende de sus vecinos. Así, se ajusta un modelo de rezago espacial (spatial lag model).

Siguiendo con el método propuesto por [2], se incluyeron las variables del entorno urbano en el modelo de rezago espacial figura 10, para este caso se incluye todas para el análisis: $P.OTHER.IMP.S$: Porcentaje de superficies impermeables sin techo de arcilla SDT: Segunda derivada en el tercer rezago, SDF: Diferencia de segundo orden entre el primer retraso y el primer máximo, $UNIFORM$: uniformidad del grey-level co-occurrence matrix (GLCM).

5 Interpretación de resultados

En el modelo tradicional 9 para la variable dependiente de lesiones personales 2014 y en sus divisiones por turnos de vigilancia policial, afirman la hipótesis que cada turno de vigilancia tiene características diferentes, pues los estadísticos de Akaike, Schwartz y el R-cuadrado, aportan diferentes valores en las variables socio-económicas.

Al utilizar el modelo de rezago espacial, las variables explicativas que tienen un efecto negativo son $tHog09$, $empl_09$, SDT y SDF. Para tercer turno SDF es muy cercana a cero.

Variable explicativa	**Total_14**	**1er turno**	**2do turno**	**3er turno**
Constante	34	10.5	9.06	16.9
slu5_09	29	11.4	0.98	19
thomi_1011	0.033	0.014	0.008	0.014
tHog09	-6.4	-2.8	-0.7	-3.6
empl_09	-56	-14.8	-16.7	-24.4
Downtown	188	33.2	52.7	100.5
UNIFORM	1485.2	526.3	286.2	692.4
SDT	-0.78	-0.37	-0.19	-0.26
SDF	-0.021	-0.015	-0.005	0
p_otras_si	0.14	0.047	0.03	0.078

Table 1: Resumen resultados modelo de rezago espacial

Para realizar la interpretación de los resultados basados en la tabla 1, se realizará por cada uno de los turnos de vigilancia policial, pues la hipótesis establecida busca que la afectación de las variables explicativas en la variable endógena por turnos, para planear el servicio de policía en cuadrantes dinámicos. Dados los resultados obtenidos, efectivamente cada variable por turno tiene un comportamiento diferente que permite la planeación del servicio de policía en forma dinámica.

Primer turno de vigilancia

Para este turno de la noche, pero en horas de la madrigada se dirigen a sus actividades productivas. Las variables $empl_09$, SDF y p_otras_si su P-valor no es significativo.

La incidencia de $slu5_09$ que mide el porcentaje de propietarios de vivienda, tendría relación a que la mayor parte de los ciudadanos se encuentran en reposo o salen a tomar el transporte para sus actividades productivas de forma rutinaria. Al igual que $tHog09$ donde a mayor número de personas del hogar, disminuyen las lesiones personales, tendría incidencia en que al desplazarse tendrían mayor seguridad por posiblemente acompañarse. La variable *Downtown* tiene el menor valor en los tres turnos, puede darse porque hasta ahora los ciudadanos se están desplazando hacia el centro de la ciudad.

La relación de las variables del entorno urbano, $UNIFORM$ mide la homogeneidad de la imagen, los valores de alta intensidad ocurren en zonas mayormente similares, por lo tanto, en estos lugares pueden ser zonas de poco tránsito de personas en la madrugada, que pueden tener un mayor riesgo de recibir una lesión personal, esto ocurre los fines de semana por el consumo de bebidas embriagantes, sin embargo, hace falta establecer la incidencia de los fines de semana.

El mismo fenómeno anterior puede ocurrir con la variable SDT, pues los altos valores en esta variable ocurren en zonas de poco planeamiento urbano, con pocos o no existentes espacios abiertos, calles estrechas y red vial irregular. Las personas están en mayor vulnerabilidad en estas zonas frente a delitos que pueden llegar a convertirse en una lesión personal. Tal vez por ello la variable SDF no es significativa, pues los altos valores de esta variable estás asociados con regiones que tienen espacios abiertos, amplias avenidas o grandes facilidades industriales.

Segundo turno de vigilancia

En general este turno presenta valores más bajos de los coeficientes con relación los otros dos turnos, a excepción de *Downtown* puesto que es el momento de llegada de personas e iniciar sus labores diarias.

No son significativos $slu5_09$, $tHog09$, $empl_09$, $UNIFORM$, SDT, SDF, SDF y p_otras_si. Esto puede ocurrir, puesto que es el momento más productivo de lo días hábiles y los ciudadanos están ocupados, que son la mayor parte de la semana. Puede ser un escenario útil para organizar mejor las patrullas.

Tercer turno de vigilancia

En general es el turno con los coeficientes más elevados frente a su correlación con la variable dependiente. Este turno tiene la particularidad que es cuando los ciudadanos regresan a sus hogares y podrían tener actividades sociales, compras o esparcimiento. Según esto *Downtown* tiene un valor de casi dos veces el valor que en primer turno y aproximadamente el doble que segundo turno.

La variable $slu5_09$ tiene el mayor valor de los tres turnos, los residentes de los barrios rotan más frecuentemente y generan nuevas dinámicas al sector. $tHog09$ es negativo, lo cual podría indicar que al cambiar con cierta frecuencia los residentes, los hogares numerosos reducen el riesgo de tener una lesión personal; situación similar con $empl_09$ que es negativo y tiene mayor incidencia en la disminución de las lesiones.

La variable $UNIFORM$ tendría el mismo efecto que es primar turno, pero en horas de la noche o durante el regreso a casa o actividades de esparcimiento de los ciudadanos. p_otras_si está muy cercano a ser significativo, variable que establece el no uso de materiales de alto costo en los techos, tendría relación con los cambios frecuentes de domicilio de las personas, pues son lugares que deben ser adecuados cada vez que llegan nuevos habitantes, que podría tener un efecto en la percepción de seguridad, sin embargo, se debe estudiar más profundamente esta correlación.

References

[1] Luc Anselin, Ibnu Syabri, and Youngihn Kho. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38(1):5–22, 2006.

[2] Jorge E. Patino, Juan C. Duque, Josep E. Pardo-Pascual, and Luis A. Ruiz. Using remote sensing to assess the relationship between crime and the urban layout. *Applied Geography*, 55:48–60, 2014.

[3] Policía Nacional de Colombia. Modelo Nacional De Vigilancia Comunitaria Por Cuadrantes (Actualización tomo 2.2). *Modelo Nacional De Vigilancia Comunitaria Por Cuadrantes*, page 95, 2014.

[4] United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). *UN Office on Drugs and Crime: "Introductory Handbook on Policing Urban Space", 2011, UN Publications, New York.*

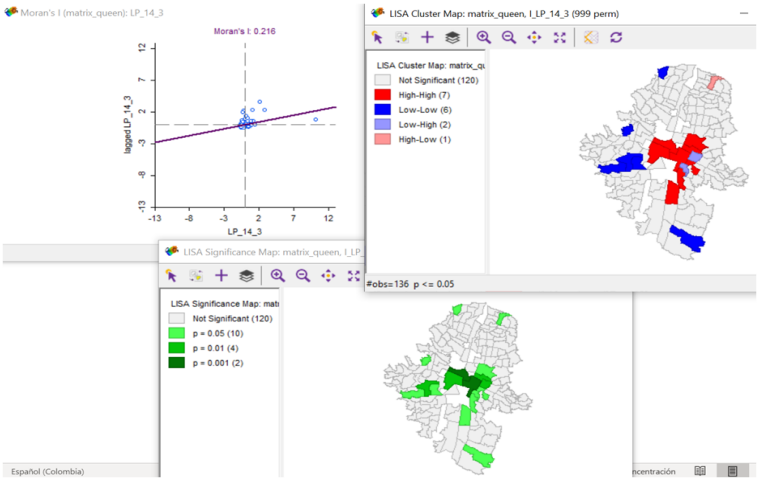

Figure 8: Moran lesiones personales año tercer turno

```
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  med_socio_econo_urb_crime
Dependent Variable  :       LP_14  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     16.0735  Number of Variables   :    6
S.D. dependent var  :     22.2055  Degrees of Freedom    :  130

R-squared           :    0.797189  F-statistic           :     102.198
Adjusted R-squared  :    0.789388  Prob(F-statistic)     :2.64845e-043
Sum squared residual:     13600.4  Log likelihood        :    -506.129
Sigma-square        :     104.618  Akaike info criterion :     1024.26
S.E. of regression  :     10.2283  Schwarz criterion     :     1041.73
Sigma-square ML     :     100.003
S.E of regression ML:     10.0001

-----------------------------------------------------------------------------
       Variable      Coefficient      Std.Error    t-Statistic   Probability
-----------------------------------------------------------------------------
       CONSTANT        63.9926        18.1207       3.53145      0.00057
         slu5_09       57.1421        12.6164       4.52918      0.00001
      thomi_1011     0.0365725      0.0171032       2.13834      0.03436
          tHog09      -11.4722        2.61975      -4.37913      0.00002
         empl_09      -73.7035        28.8139      -2.55791      0.01168
        Downtown        190.75        12.7926        14.911      0.00000
-----------------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   55.308299
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Jarque-Bera           2       425.4495         0.00000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Breusch-Pagan test    5        54.4318         0.00000
Koenker-Bassett test  5        11.2583         0.04649

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
   (row-standardized weights)
TEST                          MI/DF        VALUE          PROB
Moran's I (error)            0.0604       1.4272       0.15351
Lagrange Multiplier (lag)       1         30.0410       0.00000
Robust LM (lag)                 1         34.9215       0.00000
Lagrange Multiplier (error)     1          1.0726       0.30035
Robust LM (error)               1          5.9531       0.01469
Lagrange Multiplier (SARMA)     2         35.9941       0.00000
```

```
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  med_socio_econo_urb_crime
Dependent Variable  :     LP_14_1  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     4.45588  Number of Variables   :    6
S.D. dependent var  :     5.55172  Degrees of Freedom    :  130

R-squared           :    0.577199  F-statistic           :     35.4946
Adjusted R-squared  :    0.560937  Prob(F-statistic)     :9.04075e-023
Sum squared residual:     1772.27  Log likelihood        :    -367.556
Sigma-square        :     13.6329  Akaike info criterion :     747.113
S.E. of regression  :     3.69227  Schwarz criterion     :     764.589
Sigma-square ML     :     13.0314
S.E of regression ML:      3.6099

-----------------------------------------------------------------------------
       Variable      Coefficient      Std.Error    t-Statistic   Probability
-----------------------------------------------------------------------------
       CONSTANT        15.9647        6.54133       2.44059      0.01601
         slu5_09       17.0918        4.55435       3.75286      0.00026
      thomi_1011     0.0122152     0.00617402       1.97848      0.04999
          tHog09      -3.0754        0.94569      -3.25202      0.00146
         empl_09      -18.495        10.4014      -1.77812      0.07772
        Downtown        35.419        4.61794       7.66986      0.00000
-----------------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   55.308299
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Jarque-Bera           2        98.6885         0.00000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Breusch-Pagan test    5        29.8800         0.00002
Koenker-Bassett test  5        12.1745         0.03247

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
   (row-standardized weights)
TEST                          MI/DF        VALUE          PROB
Moran's I (error)            0.0096       0.5260       0.59887
Lagrange Multiplier (lag)       1          3.9299       0.04743
Robust LM (lag)                 1          7.7334       0.00542
Lagrange Multiplier (error)     1          0.0273       0.86866
Robust LM (error)               1          3.8308       0.05032
Lagrange Multiplier (SARMA)     2          7.7608       0.02064
```

```
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  med_socio_econo_urb_crime
Dependent Variable  :     LP_14_2  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     4.23529  Number of Variables   :    6
S.D. dependent var  :     6.50592  Degrees of Freedom    :  130

R-squared           :    0.689088  F-statistic           :      57.625
Adjusted R-squared  :    0.677130  Prob(F-statistic)     : 2.4627e-031
Sum squared residual:     1789.75  Log likelihood        :    -368.224
Sigma-square        :     13.7673  Akaike info criterion :     748.448
S.E. of regression  :     3.71044  Schwarz criterion     :     765.924
Sigma-square ML     :       13.16
S.E of regression ML:     3.62767

-----------------------------------------------------------------------------
       Variable      Coefficient      Std.Error    t-Statistic   Probability
-----------------------------------------------------------------------------
       CONSTANT        18.7357        6.57351       2.85018      0.00508
         slu5_09       12.1872        4.57676       2.66284      0.00873
      thomi_1011     0.00707429     0.0062044       1.14021      0.25630
          tHog09      -2.69827       0.950343      -2.83926      0.00525
         empl_09      -23.4972        10.4526      -2.24798      0.02626
        Downtown       54.7554        4.64066       11.7991      0.00000
-----------------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   55.308299
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Jarque-Bera           2       1173.0130         0.00000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Breusch-Pagan test    5        63.0947         0.00000
Koenker-Bassett test  5         8.2766         0.14164

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
   (row-standardized weights)
TEST                          MI/DF        VALUE          PROB
Moran's I (error)            0.0416       1.0927       0.27452
Lagrange Multiplier (lag)       1         29.9208       0.00000
Robust LM (lag)                 1         45.3775       0.00000
Lagrange Multiplier (error)     1          0.5078       0.47609
Robust LM (error)               1         15.9646       0.00006
Lagrange Multiplier (SARMA)     2         45.8853       0.00000
```

```
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  med_socio_econo_urb_crime
Dependent Variable  :     LP_14_3  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     7.38235  Number of Variables   :    6
S.D. dependent var  :     11.2838  Degrees of Freedom    :  130

R-squared           :    0.826982  F-statistic           :     124.273
Adjusted R-squared  :    0.820327  Prob(F-statistic)     :           0
Sum squared residual:     2996.01  Log likelihood        :    -403.257
Sigma-square        :     23.0462  Akaike info criterion :     818.515
S.E. of regression  :     4.80065  Schwarz criterion     :     835.991
Sigma-square ML     :     22.0295
S.E of regression ML:     4.69355

-----------------------------------------------------------------------------
       Variable      Coefficient      Std.Error    t-Statistic   Probability
-----------------------------------------------------------------------------
       CONSTANT        29.2922        8.50495       3.44413      0.00077
         slu5_09       27.8631        5.92151        4.7054      0.00001
      thomi_1011      0.017283     0.00802739       2.15301      0.03316
          tHog09      -5.69853        1.22958      -4.63455      0.00001
         empl_09      -31.7114        13.5238      -2.34486      0.02055
        Downtown       100.576        6.00419        16.751      0.00000
-----------------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   55.308299
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Jarque-Bera           2       420.6997         0.00000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                 DF          VALUE            PROB
Breusch-Pagan test    5        69.2066         0.00000
Koenker-Bassett test  5        14.2544         0.01407

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
   (row-standardized weights)
TEST                          MI/DF        VALUE          PROB
Moran's I (error)            0.0516       1.2702       0.20403
Lagrange Multiplier (lag)       1         24.1376       0.00000
Robust LM (lag)                 1         27.2765       0.00000
Lagrange Multiplier (error)     1          0.7814       0.37671
Robust LM (error)               1          3.9203       0.04771
Lagrange Multiplier (SARMA)     2         28.0579       0.00000
```

Figure 9: Regresión mínimos cuadrados ordinarios

```
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set            : med_socio_econo_urb_crime
Spatial Weight      : matrix_queen
Dependent Variable  :       LP_14  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     16.0735  Number of Variables   :   11
S.D. dependent var  :     22.2055  Degrees of Freedom    :  125
Lag coeff.   (Rho)  :     0.37393

R-squared           :    0.865601  Log likelihood        :    -480.431
Sq. Correlation     : -            Akaike info criterion :     982.862
Sigma-square        :     66.2699  Schwarz criterion     :      1014.9
S.E of regression   :     8.14063

-----------------------------------------------------------------------
       Variable       Coefficient     Std.Error       z-value    Probability
-----------------------------------------------------------------------
          W_LP_14       0.37393      0.055065       6.79071       0.00000
         CONSTANT       33.7252       15.3286       2.20015       0.02780
          slu5_09       28.8592       11.5362       2.50161       0.01236
      thomi_1011     0.0333243     0.0138452       2.40692       0.01609
          tHog09       -6.4064       2.23841      -2.86203       0.00421
         empl_09      -55.9138       23.5472      -2.37454       0.01757
        Downtown       187.951        10.379       18.1088       0.00000
          UNIFOR       1485.19       473.823       3.13447       0.00172
             SDT     -0.780293      0.392902      -1.98597       0.04704
             SDF    -0.0214344     0.0237754     -0.901537       0.36730
       p_otras_si      0.139307     0.0839082       1.66024       0.09687
-----------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Breusch-Pagan test                       9       33.2698     0.00012

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL LAG DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Likelihood Ratio Test                    1       34.4025     0.00000
```

```
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set            : med_socio_econo_urb_crime
Spatial Weight      : matrix_queen
Dependent Variable  :     LP_14_1  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     4.45588  Number of Variables   :   11
S.D. dependent var  :     5.55172  Degrees of Freedom    :  125
Lag coeff.   (Rho)  :    0.157069

R-squared           :    0.630996  Log likelihood        :    -358.676
Sq. Correlation     : -            Akaike info criterion :     739.351
Sigma-square        :     11.3733  Schwarz criterion     :      771.39
S.E of regression   :     3.37243

-----------------------------------------------------------------------
       Variable       Coefficient     Std.Error       z-value    Probability
-----------------------------------------------------------------------
        W_LP_14_1      0.157069     0.0870166       1.80505       0.07107
         CONSTANT       10.5452       6.30494       1.67253       0.09442
          slu5_09       11.4233       4.69586       2.43264       0.01499
      thomi_1011     0.0138246    0.00576192       2.39931       0.01643
          tHog09       -2.83374       0.90459      -3.13262       0.00173
         empl_09      -14.7712       9.74912      -1.51513       0.12974
        Downtown       33.2429       4.31355       7.70663       0.00000
          UNIFOR       526.358       196.082       2.68438       0.00727
             SDT     -0.366083      0.162982      -2.24616       0.02469
             SDF    -0.0154834    0.00984612      -1.57254       0.11583
       p_otras_si     0.0471069       0.03474       1.35598       0.17510
-----------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Breusch-Pagan test                       9       35.0792     0.00006

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL LAG DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Likelihood Ratio Test                    1        2.7854     0.09513
```

```
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set            : med_socio_econo_urb_crime
Spatial Weight      : matrix_queen
Dependent Variable  :     LP_14_2  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     4.23529  Number of Variables   :   11
S.D. dependent var  :     6.50592  Degrees of Freedom    :  125
Lag coeff.   (Rho)  :    0.485005

R-squared           :    0.785211  Log likelihood        :    -347.116
Sq. Correlation     : -            Akaike info criterion :     716.231
Sigma-square        :     9.09137  Schwarz criterion     :      748.27
S.E of regression   :     3.01519

-----------------------------------------------------------------------
       Variable       Coefficient     Std.Error       z-value    Probability
-----------------------------------------------------------------------
        W_LP_14_2      0.485005     0.0641134        7.5648       0.00000
         CONSTANT       9.06167       5.67516       1.59673       0.11033
          slu5_09      0.980642       4.22572      0.232065       0.81649
      thomi_1011    0.00797279    0.00511797        1.5578       0.11928
          tHog09      -0.700098      0.821115     -0.852618       0.39387
         empl_09        -16.735       8.72614       -1.9178       0.05514
        Downtown       52.7011       3.84154       13.7188       0.00000
          UNIFOR       286.277       175.447        1.6317       0.10274
             SDT     -0.186024      0.145434       -1.2791       0.20086
             SDF    -0.00474852    0.00880596     -0.539239       0.58972
       p_otras_si     0.0302092     0.0309633      0.975645       0.32924
-----------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Breusch-Pagan test                       9       40.4937     0.00001

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL LAG DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Likelihood Ratio Test                    1       36.6802     0.00000
```

```
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set            : med_socio_econo_urb_crime
Spatial Weight      : matrix_queen
Dependent Variable  :     LP_14_3  Number of Observations:  136
Mean dependent var  :     7.38235  Number of Variables   :   11
S.D. dependent var  :     11.2838  Degrees of Freedom    :  125
Lag coeff.   (Rho)  :    0.295891

R-squared           :    0.876134  Log likelihood        :    -381.918
Sq. Correlation     : -            Akaike info criterion :     785.836
Sigma-square        :     15.7712  Schwarz criterion     :     817.876
S.E of regression   :     3.97129

-----------------------------------------------------------------------
       Variable       Coefficient     Std.Error       z-value    Probability
-----------------------------------------------------------------------
        W_LP_14_3      0.295891     0.0543486       5.44431       0.00000
         CONSTANT       16.8733       7.47587       2.25703       0.02401
          slu5_09       18.9579       5.62284       3.37159       0.00075
      thomi_1011      0.014307    0.00674954       2.11969       0.03403
          tHog09       -3.61154       1.09425      -3.30048       0.00097
         empl_09       -24.3569       11.4829      -2.12115       0.03391
        Downtown       100.463       5.06499       19.8348       0.00000
          UNIFOR       692.358       230.957       2.99778       0.00272
             SDT     -0.259201      0.191551      -1.35317       0.17600
             SDF  2.41507e-005     0.0116072     0.00208066       0.99834
       p_otras_si     0.0778807     0.0409856       1.90019       0.05741
-----------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Breusch-Pagan test                       9       40.9011     0.00001

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL LAG DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : matrix_queen
TEST                                    DF      VALUE        PROB
Likelihood Ratio Test                    1       24.6988     0.00000
```

Figure 10: Modelo de rezago espacial