

Análisis de delitos en el barrio La Mariscal (Quito) desde perspectivas espacial, *machine learning* y de *smart city*

Andrés Betancourt¹, Pablo Cabrera Barona²

^{1,3} Maestría en Estudios Urbanos con Mención en Geografía y Procesos Territoriales-FLACSO

Eje Temático: Geomática y Tecnologías de la información geográfica como herramientas de representación, análisis y modelación del territorio

Resumen — Las ciudades de América Latina se encuentran entre las más inseguras del mundo. Por ejemplo, Muggah y Aguirre (2017) mencionan que en la región la tasa de crímenes es al menos tres veces mayor que el promedio mundial, nueve de los diez países más violentos del mundo fuera de las zonas de guerra se encuentran en América Latina y sus ciudadanos registran una mayor sensación de inseguridad. Ante esta problemática diversos investigadores han enfocado sus estudios hacia temas relacionados con la criminalidad. Braga, Papachristos, y Hureau (2010) argumentaron que el análisis de puntos calientes del crimen, es una de las estrategias más efectivas por parte de la policía en contra de la delincuencia. Los objetivos de la investigación se centran en el análisis y mapeo de patrones de delitos con herramientas SIG, técnicas de machine learning y Smart City. Y se reporta que no existe un patrón en la ocurrencia de delitos entre los días de los diferentes meses del 2016, 2017 y 2018. A diferencia del resultado obtenido con minería de datos que revelan que en el epicentro y al Sur-Oeste del sector La Mariscal existe un patrón Consecutivo Hot Spot y alrededor se generan zonas de Hot-Spot Emergentes. Y a través del análisis de causalidad se obtuvo que el número de cámaras y lugares de ocio podrían explicar en un 95% la ocurrencia de delitos en la zona rosa más grande de Quito.

Palabras Clave: SIG, Inteligencia Artificial, Ciudades Inteligentes, Delitos, Hot-Spot, Geo-informática

Abstract — The cities of Latin America are among the most insecure in the world. For example, Muggah and Aguirre (2017) mention that in the region the crime rate is at least three times higher than the world average, nine of the ten most violent countries in the world outside war zones are in Latin America and its citizens report a greater sense of insecurity. Faced with this problem, various researchers have focused their studies on issues related to crime. Braga, Papachristos, and Hureau (2010) argued that the analysis of crime hot spots is one of the most effective strategies by the police against crime. The research objectives are focused on the analysis and mapping of crime patterns with GIS tools, machine learning techniques and Smart City. And it is reported that there is no pattern in the occurrence of crimes between the days of the different months of 2016, 2017 and 2018. Unlike the result obtained with data mining that reveals that in the epicenter and South-West of the La Mariscal there is a Consecutive Hot Spot pattern and Emerging Hot-Spot zones are generated around it. And through the causality analysis, it was obtained that the number of cameras and places of leisure could explain 95% of the occurrence of crimes in the largest pink area of Quito.

Keywords: GIS, Artificial Intelligence, Smart Cities, Crime, Hot-Spot, Geo-informatics

I. Introducción

Las ciudades de América Latina se encuentran entre las más inseguras del mundo. Por ejemplo, Muggah y Aguirre (2017) mencionan que en la región la tasa de crímenes es al menos tres veces mayor que el promedio mundial, nueve de los diez países más violentos del mundo fuera de las zonas de guerra se encuentran en América Latina y sus ciudadanos registran una mayor sensación de inseguridad. Según Chainey y Lazarus (2021), la delincuencia está relacionada con el tamaño de la población de delincuentes, la frecuencia con la que cada delincuente comete un delito y la duración de las carreras delictivas de los mismos. Sin embargo, existe una investigación limitada sobre estos factores en los entornos latinoamericanos y cómo explican los altos niveles de delincuencia en la región.

Ante esta problemática diversos investigadores han enfocado sus estudios hacia temas relacionados con la criminalidad. Las publicaciones científicas buscan identificar correlaciones entre la tasa de delincuencia y la densidad poblacional, tasa de desempleo, problemas raciales, trabajos ilegales, entre otros. Sin embargo, muy pocas investigaciones han tomado en consideración aspectos espaciales de la ubicación de los incidentes delictivos (Singh 2005; Hashim et al. 2019). Braga, Papachristos, y Hureau (2010) argumentaron que el análisis de puntos calientes del crimen, es una de las estrategias más efectivas por parte de la policía en contra de la delincuencia. Una estrategia policial aún más efectiva que la anterior, podría ser la reubicación de agentes del orden público en zonas donde ocurrirán focos de delincuencia en el futuro, permitiendo mejorar el tiempo de respuesta y evitar la ocurrencia de delitos (Wheeler y Steenbeek 2020).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) brindan la facilidad de comprender la distribución geográfica de los delitos, ya que los mapas constituyen una poderosa herramienta para representar fenómenos criminológicos y establecer relaciones entre el espacio y el crimen (Owusu y Frimpong 2020). En la actualidad, las instituciones encargadas de la seguridad ciudadana usan los SIG para mapear patrones del crimen, georreferenciar eventos delictivos, realizar modelos de distribución del crimen en el espacio, cartografiar puntos críticos de delincuencia, entre otras acciones.

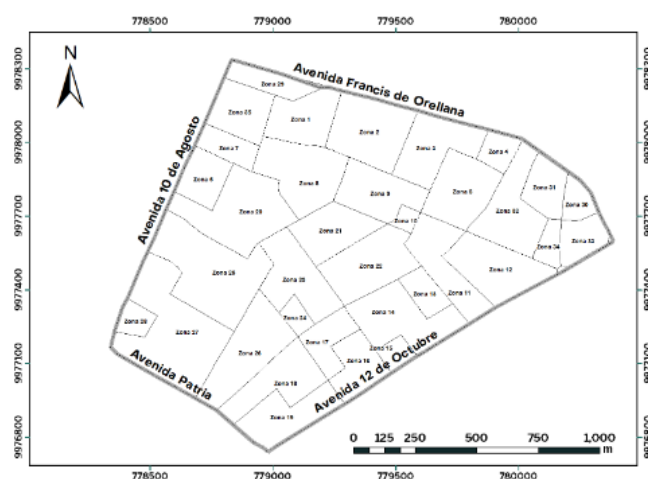
II. Objetivos

Los objetivos de la investigación son: 1) analizar la concentración y patrones de delito, 2) evaluar la influencia de factores urbanos en el delito, 3) realizar análisis predictivo de crimen, 4) contrastar y reflexionar sobre los resultados obtenidos en función de los pilares de una *Smart City*.

III. Área de Estudio

La zona de estudio de la presente investigación corresponde al sector La Mariscal y está delimitada por la Avenida Francisco de Orellana (N), Avenida Patria (S), Avenida 10 de agosto (O) y la Av. 12 de octubre (E), con una superficie de aproximadamente 185 ha.

Figura 1 Zona de Estudio - La Mariscal



IV. Metodología

El marco metodológico está diseñado desde un enfoque cuantitativo y socio-espacial, para ello, fue fundamental el uso de la siguiente información:

Tabla I
Lista y fuente de cada variable utilizada en la investigación

Dimensión	Variable	Indicador	Escala	Fuente
Crimen Urbano	Registro multitemporal de delitos	Número de crímenes/zona	1:1000	Servicio Integrado de Seguridad ECU 9-1-1
		Número de crímenes/m ²		
Físico-Ambiental	Lugares de ocio	Número de lugares ocio/zona	1:500	Cueva (2022)
	Arbolado urbano	Número de árboles/zona	1:500	Autor
	Bloques constructivos	Número de edificaciones/zona	1:1000	Dirección Metropolitana de Catastros-DMQ
	Cámaras de videovigilancia	Número de cámaras de videovigilancia/zona	1:1000	Servicio Integrado de Seguridad ECU 9-1-1
Socioeconómica	Población Total	Número de personas/zona	1:1000	Dirección Metropolitana de Catastros-DMQ

A) Estadística descriptiva de los delitos

La información depurada de delitos con la que se trabajó en este apartado presenta la siguiente estructura

Tabla II
Información alfanumérica del registro de delitos en el sector “La Mariscal”

Año	Mes	Fecha	Longitud	Latitud	Turno	Delito	Clave
2016	Enero	2016-01-24	-78,49	-0,21	22h00 a 06h00	Robos	Clave Roja
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2017	Enero	2017-01-23	-78,49	-0,20	22h00 a 06h00	Escándalo	Clave Naranja
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2018	Enero	2018-01-05	-78,48	-0,20	14h00 a 22h00	Violación	Clave Roja

Para realizar este análisis se utilizó la información depurada de delitos (Ver Tabla II) en el software ArcGIS y Rstudio.

B) Significancia estadística y prueba de hipótesis

Con la finalidad de identificar diferencias significativas entre los grupos de datos (Ver Tabla 1). Se debe considerar la jerarquización de cada delito. Esto se puede obtener a través del tipo de alerta que se detallan a continuación desde el incidente con importancia extrema hasta el moderadamente más importante (Changoluisa 2021):

- Rojo: Es todo incidente donde hay un riesgo urgente
- Naranja. Es todo incidente que no tiene amenaza y/o afectación a la población
- Amarillo. Es todo incidente donde hay una urgencia con menor preferencia
- Verde. Es todo incidente donde existe una urgencia relativa con una menor preferencia y por ende no requiere de atención inmediata

Y a través de la prueba estadística no paramétrica Kruskal-Wallis, se determinó si existe diferencias significativas de delitos en manzanas del sector La Mariscal, en horarios del día (6h00-14h00; 14h00-22h00; 22h00-6h00), y años (2016-2017-2018), entre todos los delitos según su nivel de importancia (Rojo-Naranja-Amarillo y Verde).

C) Correlaciones y Regresiones

Con base a los estudios de Cueva (2022), Escobedo et al. (2018), Hashim et al. (2019), Zahnow y Corcoran (2019) y Sánchez (2016) se planteó la siguiente regresión:

$$Y_1 = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + e_1 \quad \text{Ec. 1}$$

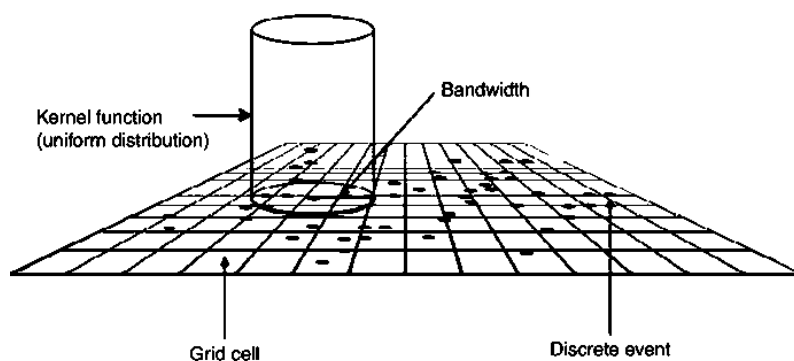
Dónde:

Y_1 es la variable delitos; β_0 es la ordenada en el origen; $B_1, B_2 \dots B_5$ son los coeficientes de las variables independientes; X_1 es la variable lugares de ocio; X_2 es la variable arbolado urbano; X_3 es la variable bloques constructivos; X_4 es la variable cámaras de videovigilancia; X_5 es la variable de población total; e_1 es el residuo

D) Patrones Espaciales y Temporales de los delitos

Chainey, Tompson, y Uhlig (2008) demostraron que la Estimación de Densidad de Kernel (KDE, por sus siglas en inglés) producen resultados que son más precisos desde el punto de vista predictivo que otros enfoques. El proceso de KDE se basa en estimar la densidad de delincuencia en un área de estudio bidimensional en función de la localización de los eventos delictivos

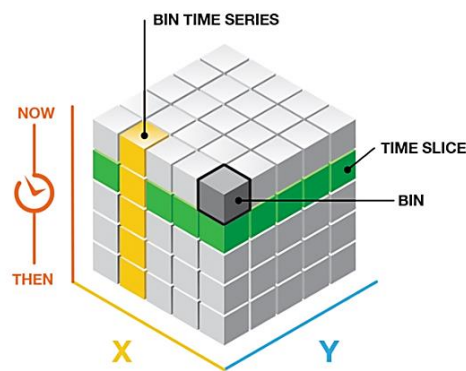
Figura 2 Proceso visual de Estimación de la Densidad del Kernel (KDE)



Chainey, Thompson, y Uhlig (2008) y Drawve (2014) evaluaron la precisión predictiva de la información resultante del KDE a través de la Tasa de aciertos (TA), Índice de precisión predictiva (PAI) e Índice de tasa de recuperación (RRI).

La minería de patrones espacio-temporales corresponde al agrupamiento espacial de tendencias temporales. Esta metodología permite identificar espacialmente puntos calientes y puntos fríos del crimen y patrones de delitos en términos de tendencias persistentes, decrecientes e intensivas en un área de estudio (Saraiva et al. 2022; Lal et al. 2023).

Figura 3 Cubo espacio-tiempo en ArcGIS Pro



Según Lal et al. (2023) y Hägerstraand (1970) la metodología para trabajar con minería de patrones espacio-temporales es la siguiente:

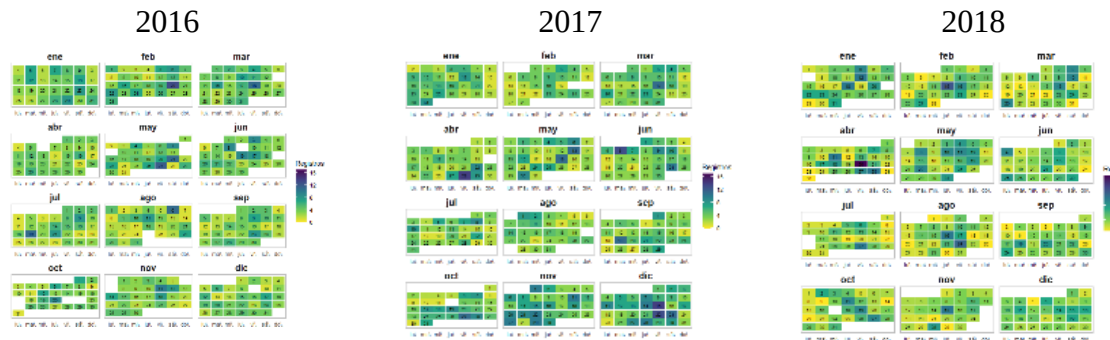
- Crear un cubo espacio-tiempo
- Cada *bin* en un intervalo de tiempo (*time-slice*) se le asigna a un grupo de puntos calientes o puntos fríos según la estadística G_i^* de Getis-Ord.
- Paso seguido se realiza la prueba de tendencias Mann-Kendall
- Posteriormente, se realiza la misma prueba de tendencias Mann-Kendall a cada *bin time-series*, para identificar si las tendencias son significativas ($p < 0,05$).
- Por último, las puntuaciones z resultantes de los dos pasos anteriores se combinan para generar los patrones espacio-temporales.

V. Resultados

A) Calendario de delitos

En el 2016-2017 y 2018 se registraron 1386, 1606 y 1485 delitos respectivamente y los resultados del calendario del crimen revelan que tan solo 14 días del año no se reportó ningún tipo delito en el sector La Mariscal. El sábado 20 de febrero y el viernes 27 de mayo fueron los más conflictivos, ya que se atendieron más de 16 delitos. A diferencia del resto de días que se han suscitado una cantidad inferior de incidentes.

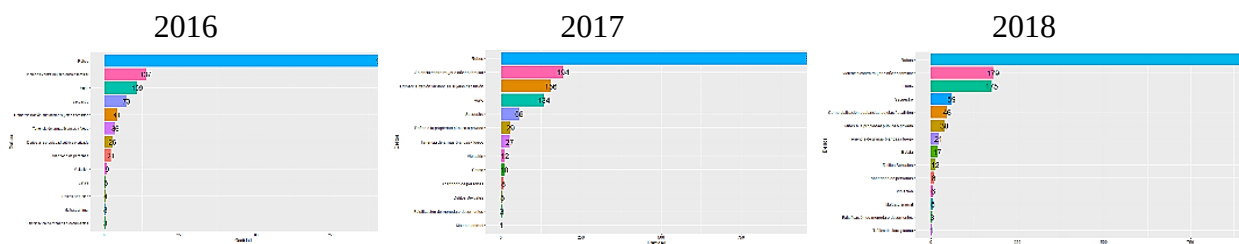
Tabla III Calendario de delitos del 2016, 2017 y 2018



B) Frecuencia de delitos

La representación por diagrama de barras de la cantidad de delitos del año 2016, 2017 y 2018 según su tipología refleja que los 3 delitos más comunes fueron: Robos, Violencia contra la mujer o núcleo familiar y Hurto. En cambio, los 3 delitos menos reportados fueron: Delitos sexuales, Maltrato animal y Falsificación de monedas.

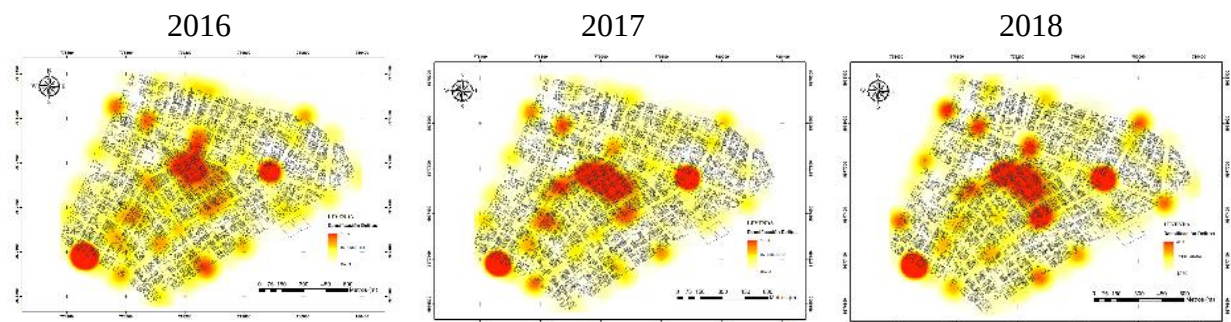
Tabla IV Diagrama de delitos del 2016,2017y 2018



C) Densificación y Patrón Espacial de delitos

Los resultados de la densificación espacial de delitos del año 2016, 2017 y 2018 a través del método KDE revelan que en el epicentro del sector La Mariscal existe una mayor concentración de la actividad criminal. También se reporta la presencia de otras 2 áreas que agrupan una concentración relativamente importante de delitos, mismas que se localizan al Nor-Este y Sur-Oeste de la zona de estudio.

Tabla V Método KDE de delitos del año 2016, 2017 y 2018



D) Patrones Espacio-Temporales de delitos

Todos los cubos espacio-tiempo generados se componen de contenedores y cada contenedor representa una ubicación dentro de la zona rosa más grande de quito en un período de tiempo en particular. Los cubos del año 2016, 2017 y 2018 presentan las siguientes características:

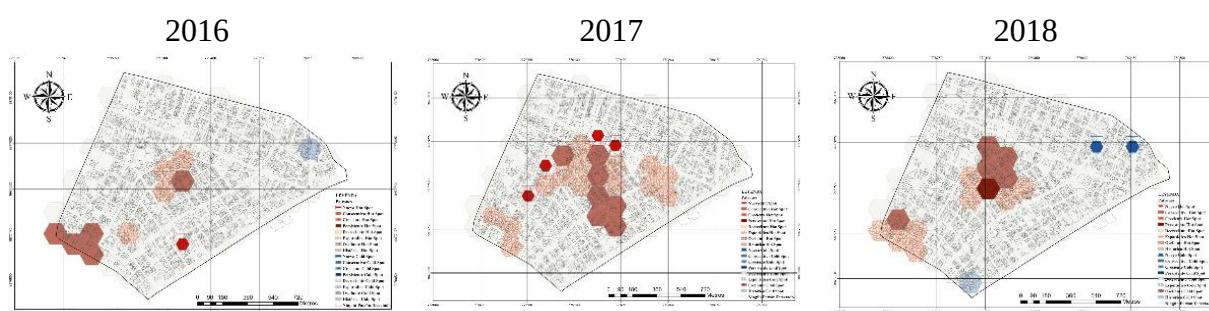
- El período de tiempo seleccionado es 1 mes, ya que el objetivo es evaluar las tendencias mensuales de delitos en los años respectivos.
- El intervalo de distancia que define la altura de cada cuadrícula hexagonal es de 150 metros. Ya que esa es la longitud aproximada de las calles que delimitan a las manzanas en el sector La Mariscal.

Tabla VI Visualización 3D de los Cubos Espacio-Temporales de delitos del 2016, 2017 y 2018



Los resultados de la representación cartográfica de los patrones espacio-temporales de delitos del año 2016, 2017 y 2018 a través de la minería de datos revelan que en el epicentro y al Sur-Oeste del sector La Mariscal existe un patrón Consecutivo *Hot Spot* y alrededor de dicha zonas se reportan puntos emergentes de delitos.

Tabla VII Mapa de Puntos Calientes Emergentes de Delitos del año 2016, 2017 y 2018



E) Causalidad de Delitos

En primera instancia se evaluó la normalidad de las variables explicativas mediante la prueba no paramétrica Kolmogórov-Smirnov. Paso seguido, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman porque no todas las variables presentan una distribución normal; y con esta medida se determinó la fuerza de asociación entre las variables independientes. El modelo de regresión lineal cumple los 3 supuestos fundamentales. Es decir, no hay multicolinealidad, existe normalidad de residuales y homocedasticidad.

Por otra parte, se obtuvo que el número de cámaras (Nro_Camaras) y lugares de ocio (Nro_Ocio) podrían explicar en un 95% la ocurrencia de delitos (Nro_Delitos) en la Zona Rosa más grande

de Quito.

Tabla VIII Valor de significancia de los coeficientes del modelo de regresión lineal

Modelo	Coeficientes No Estandarizados		Coeficientes Estandarizados		Significancia
	B	Std. Error	Beta	t	
Constante	12,272	34,509		0,356	0,725
Nro_Camaras	25,625	11,816	0,388	2,169	0,038
Nro_Arbolado	0,388	0,273	0,234	1,421	0,166
Nro_Ocio	4,725	2,156	0,303	2,192	0,036
Nro_Población	0,083	0,146	0,074	0,571	0,572

VI. Conclusiones

- El uso de la minería de datos, técnicas de machine learning y herramientas geo-espaciales brindan la oportunidad de mapear puntos de delitos e identificar tendencias y variables urbanas que pueden influir en la ocurrencia de incidentes.
- Las nuevas herramientas de un SIG para la detección de delitos brindan la posibilidad a las autoridades encargadas del control y orden social de generar una logística adecuada y sobre todo una correcta planificación preventiva en contra de actos criminales.
- Los SIG pueden especificarse como un pilar fundamental para la planificación de una SmartCity.

VII. Referencias Bibliográficas

- Braga, Anthony A., Andrew V. Papachristos, and David M. Hureau. 2010. "The Concentration and Stability of Gun Violence at Micro Places in Boston, 1980-2008." *Journal of Quantitative Criminology* 26 (1): 33–53. <https://doi.org/10.1007/S10940-009-9082-X/TABLES/5>.
- Chainey, Spencer P., and Dennis L. Lazarus. 2021. "More Offenders, More Crime: Estimating the Size of the Offender Population in a Latin American Setting." *Social Sciences* 2021, Vol. 10, Page 348 10 (9): 348. <https://doi.org/10.3390/SOCSCI10090348>.
- Cueva, Daniela. 2022. "Análisis Del Crimen Urbano En Quito: Un Enfoque Cuantitativo y Espacial." Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/18164/2/TFLACSO-2022DFCC.pdf>.
- Escobedo, Francisco J., Nicola Clerici, Christina L. Staudhammer, Alejandro Feged-Rivadeneira, Juan Camilo Bohorquez, and German Tovar. 2018. "Trees and Crime in Bogota, Colombia: Is the Link an Ecosystem Disservice or Service?" *Land Use Policy* 78 (November): 583–92. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2018.07.029>.
- Hägerstrand, Torsten. 1970. "What about People in Regional Science?" *Papers in Regional Science* 24 (1): 7–24. <https://doi.org/10.1111/J.1435-5597.1970.TB01464.X>.
- Hashim, H., W. M.N. Wan Mohd, E. S.S.M. Sadek, and K. M. Dimiyati. 2019. "Modeling Urban Crime Patterns Using Spatial Space Time and Regression Analysis." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* 42 (October): 247–54. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLII-4-W16-247-2019>.

- Lal, Preet, Ankit Shekhar, Mana Gharun, and Narendra N. Das. 2023. "Spatiotemporal Evolution of Global Long-Term Patterns of Soil Moisture." *Science of The Total Environment* 867 (April): 161470. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.161470>.
- Muggah, Roberto, and Katherine Aguirre. 2017. "Targeting 'Hot Spots' Could Drastically Reduce Latin America's Murder Rate." 2017. <https://www.americasquarterly.org/article/targeting-hot-spots-could-drastically-reduce-latin-americas-murder-rate/>.
- Sánchez, Víctor Manuel. 2016. "¿Son Efectivas Las Cámaras de Video Vigilancia Para Reducirlos Delitos?" *URVIO - Revista Latinoamericana de Estudios de Seguridad*, no. 19 (December): 162. <https://doi.org/10.17141/URVIO.19.2016.2406>.
- Singh, Amar. 2005. "The Rise of Crime in Malaysia. An Academic and Statistical Analysis." *Journal of the Kuala Lumpur Royal Malaysia Police College*, no. 4: 1–28.
- Zahnow, Renee, and Jonathan Corcoran. 2019. "Crime and Bus Stops: An Examination Using Transit Smart Card and Crime Data." <https://doi.org/10.1177/2399808319890614> 48 (4): 706–23.