



CentroGeo
19°17'30"N 99°13'17"O 2489m



CONACYT



Rutas seguras en Iztapalapa, CDMX. Análisis del robo a transeúnte orientado al desarrollo de una aplicación web.

Diciembre 2019

[Nava J. y Zepeda I.](#)

Centro Geo

Diseño y evaluación de proyectos en geomática

Cecilia Gutierrez Nieto y Luis Alejandro Castellanos Fajardo

Índice

Introducción.	2
Antecedentes.	4
Justificación.	7
Relevancia.	7
Objetivo general.	7
Objetivos particulares.	7
Modelo de Conocimiento.	8
Modelo conceptual.	8
Marco teórico metodológico	10
Modelo Cartográfico.	16
Modelo computacional.	18
Teoría de grafos	18
Algoritmo de A*	18
Solución Colaborativa.	19
Metodología y análisis.	19
Base de datos	19
Análisis por horario	20
LISA	21
<i>PG routing</i>	21
Visualizador web	22
Resultados.	22
Modelo de ruta	22
Conclusiones.	23
Propuesta a futuro.	24
Bibliografía.	25

Introducción.

La violencia y la inseguridad son temas relevantes en muchos países latinoamericanos, entre ellos México. Se trata de una problemática multifactorial con fundamentos psicosociales, culturales, políticos, económicos, institucionales, físicos y espaciales. En el caso de nuestro país, la inseguridad se ha convertido en un problema grave, por lo que debe ser eficazmente combatido, para ello se requiere del conocimiento especializado de diversos ámbitos. La perspectiva territorial otorga a los lugares un papel fundamental para que la operación de las instituciones de seguridad logren diseñar tácticas, estrategias y políticas. En tal contexto social, la geomática funciona como disciplina integradora de técnicas de cartografía digital, sistemas de información geográfica (SIG), percepción remota, fotogrametría y geodesia, conformando una unidad orientada a dar soluciones integrales a la sociedad, mismas que se abordan normalmente desde un marco teórico que suele tener como base el análisis espacial (Levi, 2008). Con el desarrollo de una aplicación web que ofrezca al usuario opciones de rutas con menor coste delictivo, se cumple una función preventiva del delito, acciones como estas que inician como un ejercicio académico, tienen el potencial de comprometerse con la sociedad en la búsqueda de mejorar la calidad de vida, desde el diseño ambiental de los espacios públicos.

En los antecedentes, se menciona la referencia histórica de las escuelas pioneras en analizar el crimen, así como la postura de instituciones internacionales al respecto. El tema de la creación y uso de los programas computacionales para el análisis del crimen, abre paso para explicar la importancia de nuestra propuesta tecnológica, el presente trabajo comienza analizando Iztapalapa, sin embargo lo ideal es integrar al proyecto las demás alcaldías de la ciudad. En este mismo apartado se encuentra una breve descripción del área de estudio, porque también es importante efectuar este acercamiento al espacio geográfico, su estructura brinda información de las relaciones y actividades que ocurren dentro, esta componente marca la perspectiva territorial que busca fomentar el proyecto.

Definir la justificación y la relevancia de esta propuesta de desarrollo web mantiene una pauta de solidaridad, más que comprender que el problema de seguridad está relacionado con características del lugar, es tomar una postura de acción y generar soluciones a corto y largo plazo, el proyecto es ambicioso, consume tiempo, demanda recursos humanos, recursos materiales, aunado a un equipo de trabajo con gran liderazgo.

El objetivo principal es el desarrollo de una aplicación web, que use un algoritmo de búsqueda informado para sugerir al usuario una ruta, como objetivos particulares, la ruta está basada en un criterio espacial y temporal, toma los reportes de robo a transeúnte ocurridos en los segmentos de calle, clasificados mediante análisis espacial del crimen.

El modelo de conocimiento comprende los temas de los conceptos clave que son el eje del desarrollo de la aplicación, tomando el caso de la alcaldía Iztapalapa, se tiene que

comprender al espacio en su dimensión euclidiana, para cumplir el objetivo de trazado de rutas. Además de comprender el espacio, los lugares son otro concepto básico son atravesados por la dimensión temporal, las personas que los habitan les asignan un valor social, la característica que se usa en esta investigación es la suma de los delitos que ocurren dentro del territorio, los identificadores que se usan son los de vialidad y colonia. Por último el concepto de crimen intersecta con los anteriores, el robo de calle se relaciona directamente con el diseño de las rutas seguras, para usuarios que se trasladan a pie. Una reseña de la tipificación del robo en el código penal de la CDMX cierra este subtema para dar paso al marco teórico metodológico, delimitado por la Criminología Ambiental de donde se retoma la Teoría de las actividades rutinarias, otra parte importante es el análisis del crimen (*crime analysis*) porque aporta las técnicas de mapeo del crimen usando *hot spots*, queda establecido un supuesto teórico, en el análisis de la repetición de eventos delictivos sobre el mismo lugar con diferentes víctimas, el papel del lugar es más importante que el papel del delincuente. Los análisis de autocorrelación espacial son técnicas avanzadas de análisis, razón por la cual los indicadores de asociación espacial local resultan de interés para este estudio. El modelo cartográfico ilustra el uso de las bases de datos, el procesamiento realizado a la información y se plantea la operatividad de la aplicación web. En el modelo computacional puede encontrarse la base técnica de la herramienta, la teoría de grafos y el algoritmo A* son los facilitadores del trazado de ruta.

En la solución colaborativa hay un cuerpo metodológico y de análisis, primero se explica el módulo de las bases de datos, luego hay un análisis por horarios a través del tiempo y a detalle en una sección de la alcaldía, después un grupo de tres subtemas, del mapa de asociación espacial positiva, la construcción de la red con la suma de robos e implementación del prototipo para visualizar la ruta en un servidor web.

Los resultados que se presentan son dos mapas donde se probó el algoritmo, siguiendo la lógica del mapa de asociación espacial, de igual forma se muestra una vista del funcionamiento del prototipo con marcadores y un *select box* que eventualmente será interactivo para el usuario. Se reconoce que la integración de variables de infraestructura y la normalización de la ruta con población, agregan un carácter riguroso al proyecto.

En las conclusiones partimos de los hallazgos del presente trabajo para elaborar una visión a futuro de las oportunidades de crecimiento que tiene el desarrollo de esta aplicación.

Antecedentes.

Los primeros trabajos relacionados con la espacialidad del crimen, se remontan a las investigaciones realizadas por el Departamento de Sociología de la Universidad de Chicago. Hacia el año 1930, buscaban comprender el espacio urbano como un componente de la comisión del delito, desde entonces los institutos de investigación de las universidades han trabajado el tema, incluso existen diversos proyectos gubernamentales en este sentido. Con el término anglosajón crime mapping o mapas del crimen, se conoce el proceso mediante el cual se llevan a cabo análisis geográficos de los delitos. Su uso había comenzado a mediados de la década de los sesenta, con autores que empezaban a realizar trabajos con esta nueva tecnología como Harries o Rengert (Harries, 1999, citado por Medina, 2013). Esta disciplina ha avanzado mucho en los últimos años debido al interés que ha tenido para la investigación y la práctica policial la aparición del software SIG, los mapas del crimen cumplen tres funciones:

1. Facilitan análisis estadísticos y visuales sobre la naturaleza espacial del delito y otro tipo de eventos.
2. Permiten relacionar fuentes de datos con variables geográficas comunes.
3. Proporcionan mapas que ayudan a comunicar los resultados de los análisis.

En el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), dentro del informe regional de desarrollo humano 2013-2014, se reconoce al delito callejero como una amenaza constante que afecta al ciudadano de forma cotidiana, siendo el robo el principal delito que se le asocia. En el mismo documento se define al delito callejero como los actos motivados por afán de lucro, como hurtos y robos de pequeña cuantía, que suelen ocurrir en lugares públicos y pueden involucrar amenazas, golpes y lesiones contra la víctima. Estos transcurren con mayor frecuencia en ambientes urbanos y por lo regular no son denunciados ante las autoridades (cifra negra). En ese sentido, en el informe sobre Desarrollo Humano para América Central 2009-2010, se define a la seguridad ciudadana como un elemento de la seguridad humana y puede ser definida como la protección universal contra el delito violento o predatorio. La seguridad ciudadana es la protección de ciertas opciones u oportunidades de todas las personas contra el delito callejero; es uno de los componentes de la seguridad humana, que considera los delitos contra la vida, la integridad y el patrimonio (United Nations Development Program, 2019).

El análisis espacial permite realizar una serie de pruebas destinadas a experimentar con las partes del problema a investigar, tal cual se hace en un laboratorio, calibrar las herramientas y determinar los métodos debe corresponder a las dimensiones de la unidad de análisis, el modelado espacial requiere tanto fundamentación teórica como tecnológica. Al ser auxiliado el análisis espacial por SIG, en la recopilación, análisis, gestión y representación de información referenciada geográficamente, reafirma su utilidad para el

estudio y búsqueda de soluciones de problemas del mundo real, trabajando sobre un modelo cartográfico de dicha realidad. Aplicado al campo del delito, los SIG permiten visualizar y analizar geográficamente los datos de delitos en un área geográfica determinada, sea un país, región o ciudad (Vozmediano y San Juan, 2010). Solucionar una situación específica incluso puede involucrar la creación de un programa especializado. Los resultados obtenidos de una investigación con enfoque espacial y temporal, dependen mucho del uso de herramientas de análisis espacial, para el caso del análisis del crimen, se tiene acceso a una oferta considerable de software libre o comercial, se incluye la vista del menú principal de uno de ellos.

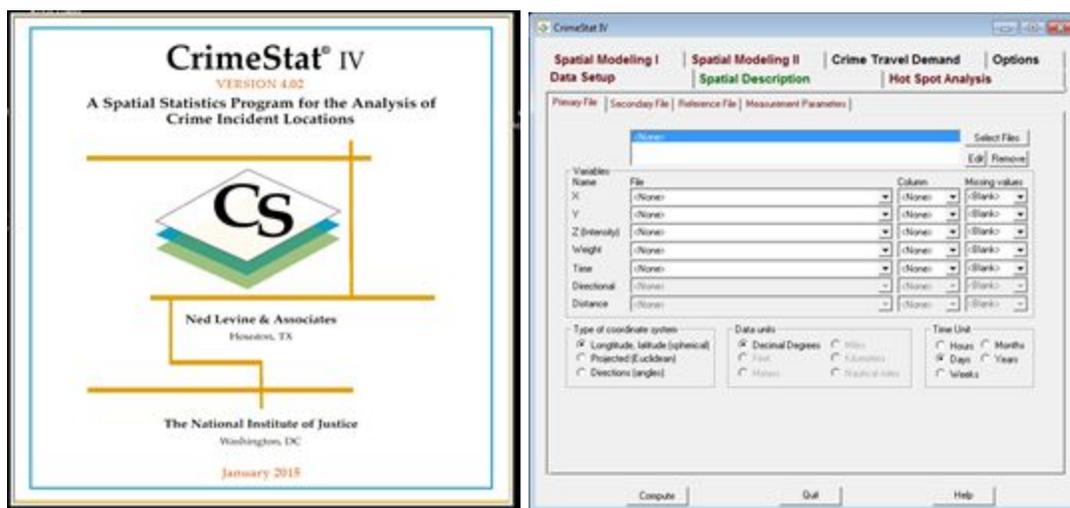


Figura 1. Pantalla y menú principal del programa Crime Stat® versión 4.02.

El CrimeStat es patrocinado por el Instituto Nacional de Justicia de Estados Unidos, siendo los policías detectives los consumidores primarios de este desarrollo, además en la misma página del instituto se puede descargar libremente. El módulo SpatialAnalyst de ArcView de Esri, proporciona herramientas de agrupamiento y de análisis espacial, pero requiere licencia. Por otra parte también es posible tener acceso libre a GeoDa™ con la ventaja de tener visuales rápidos. Las teorías fundamentales, la programación, los usos y aplicaciones están explicados en las respectivas documentaciones de cada software. Explorar estos recursos brinda un panorama de los alcances del análisis del crimen.

Ejemplos mundiales como el de la Agencia Geoespacial de Inteligencia de E.U. son referencia para reconocer que la geointeligencia puede incrementar la confianza de políticas desarrolladas con métodos y herramientas especializados, la misma agencia define la geointeligencia como “la explotación y análisis de imágenes e información geoespacial para analizar, evaluar y describir visualmente los rasgos físicos y las actividades georreferenciadas en la Tierra que tienen implicaciones para la seguridad nacional”. Dicha agencia propone a la geointeligencia como una actividad necesaria para

reducir la vulnerabilidad frente a los riesgos y las amenazas de la seguridad del país (Martínez Viveros 2008, en Calvillo 2013).

En México las áreas del conocimiento clásico y clínico del crimen son, la psicología criminal, la sociopatología, la criminología, la política criminal, la victimología y la criminalística. Puede verse que este grupo de investigación, por lo normal participan criminólogos, abogados, sociólogos, psicólogos y filósofos. La ciencia criminológica se hace presente en escuelas de licenciatura, posgrados, libros y revistas. Las criminologías específicas han sido clasificadas y estudiadas por Reyes Calderón en el 2004, Hikal en 2009 y Gómez Tagle en 2014, sintetizan una terminología en particular, misma que adopta el título del libro publicado por Vozmediano Sanz y Guillén en 2011, llamado Criminología Ambiental, concepto que se profundiza más adelante. Entender la postura institucional frente al crimen y conocer los tipos de herramientas que se aplican para combatirlo, abre camino sobre los materiales y las herramientas de la presente investigación.

Por lo que respecta a la unidad de estudio, Iztapalapa es una de las 16 demarcaciones de la Ciudad de México, colinda al norte con Iztacalco, al oeste con las alcaldías Benito Juárez y Coyoacán, al sur con Tláhuac y Xochimilco, en la región del este se encuentran los municipios de Nezahualcóyotl, La Paz y Valle de Chalco Solidaridad del Estado de México. Su extensión territorial es de 117 km² en ella el crecimiento demográfico representa una muy alta proporción del incremento total de la ciudad, el indicador entre las décadas de 1970 a 1980 y de 1980 a 1990, apunta a que Iztapalapa fue asiento de numerosas familias que abandonan las delegaciones centrales y destino de familias procedentes de otras entidades federativas, lo que significa que esa tendencia ha ido agotando la reserva de suelo utilizable, el crecimiento urbano comprende la construcción de nueva vivienda (Alcaldía Iztapalapa, 2018). Es sede de una festividad durante semana santa, en el Cerro de la estrella se vive la pasión de Cristo y aloja también la gran central de abasto de la CDMX.

Cabe mencionar que administrar la seguridad es una facultad que pertenece al poder ejecutivo en los tres niveles, municipal, estatal y federal. Una de las formas de esta autoridad es la fuerza policiaca, al respecto hay otras figuras importantes igualmente responsables de proteger, defender y vigilar, por ejemplo del poder judicial se obtienen los datos de las denuncias. Son muchas las tareas que convergen para entender, analizar, prevenir y perseguir el delito, de lo cual se trata más adelante. La creación de una aplicación capaz de respaldar a los usuarios con información actualizada y estructurada, abona para gestionar un espacio público seguro, la rehabilitación de lugares peligrosos es tarea de todos. Existen aplicaciones en el mercado que apuntan al mismo objetivo, por ejemplo en la ciudad de Puebla los botones de pánico del celular se activan cuando se está cerca de zonas con wi-fi, con otras aplicaciones oficiales, iniciar una denuncia de manera remota para ciertos delitos, se ofrece fácilmente. Sitios de internet independientes también publican información relacionada.

Justificación.

No basta con señalar puntualmente los hechos delictivos, estructurar un análisis es el siguiente paso, esta iniciativa académica es una postura frente a la forma de analizar el delito, la predisposición en los lugares para que ocurra el crimen puede estudiarse y conducir a políticas con enfoque de gestión territorial bien elaboradas. Autores se han inclinado a decir que la planificación urbana contribuye a prevenir la delincuencia. Dentro de este diseño ambiental, el modelado espacial que propone la presente herramienta tecnológica, señala los procesos que tienen lugar en el espacio geográfico, indica las dinámicas temporales y proporciona opciones de movilidad dentro de un área previamente analizada. La integración de varias disciplinas y formar mesas de trabajo conduce a potencializar los alcances y usos de la aplicación web que proponemos.

Relevancia.

El panorama actual de violencia en el país nos ha colocado a la cabeza de las listas de las ciudades más peligrosas del mundo. Entender el crimen en dos dimensiones, temporal y espacial (físico- social), es de gran importancia para el desarrollo de políticas públicas con perspectiva territorial. En el presente trabajo se desarrolla una metodología para trazar rutas seguras con ayuda de un mapa del crimen, nuestro análisis considera la suma de eventos puntuales, producto de las denuncias efectuadas en la fiscalía que corresponde a una demarcación. Dicho lo anterior, es la criminología ambiental la base teórica de la cual partimos para identificar los ejes centrales del modelado espacial, las rutinas de análisis del crimen con *hot spots*, hacen posible desarrollar esta propuesta tecnológica de un servicio web de consulta e interactivo para sugerir una ruta.

Objetivo general.

Generar un modelo de rutas seguras para transeúnte en áreas estratégicas de Iztapalapa.

Objetivos particulares.

Aplicar técnicas de análisis del crimen.

Establecer los procesos de la aplicación web.

Modelo de Conocimiento.

Modelo conceptual.

Espacio

Entendido en su dimensión euclidiana tiene la capacidad de medir distancias en un sistema métrico. Conocer la concentración de los hechos delictivos de robo reportados del año 2016 al 2019, cumple con el objetivo de trazado de rutas, sin la dimensión física del espacio no sería posible establecer los nodos y segmentos usados por el algoritmo.

Lugar

Concepto básico en el análisis espacial del crimen, los lugares son atravesados por la dimensión temporal, los constituye un significado según las características objetivas y subjetivas atribuidas por parte de los habitantes del área de interés, el tipo de valor que importa para esta investigación es la suma de los delitos que ocurren dentro de un territorio administrativo, los identificadores que se usan son los de vialidad y colonia.

Crimen

El crimen de calle es un concepto que intersecta con los anteriores, son aquellos hechos que ocurren con o sin violencia, durante un trayecto al movilizarse dentro de la ciudad, se relaciona directamente con el diseño de las rutas seguras, para usuarios que se trasladan a pie, quienes son vulnerables por la condición de no contar con la protección adecuada.



Figura 2. Elaboración propia, con base en Vilalta, 2012

Robo.

El tipo de delito que se analiza para el desarrollo de una aplicación web es el robo de calle, esto quiere decir que la víctima es un transeúnte a quien se le aborda, con o sin violencia, para despojarlo de sus pertenencias. En México, el poder legislativo es el encargado de tipificar y sancionar los actos punibles mediante el código penal, existen los delitos de fuero federal que corresponden al código penal federal y los delitos de fuero común que corresponden a la aplicación del código penal de las entidades federativas.

En la CDMX se reconoce el Código Penal para el Distrito Federal, publicado en 2006 por el jefe de gobierno Andrés Manuel López Obrador y publicándose a la fecha la última reforma, en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 01 de agosto de 2019. Se entiende que el robo es un delito contra el patrimonio y se describe en el artículo 220 así:

“Al que con ánimo de dominio y sin consentimiento de quien legalmente pueda otorgarlo, se apodere de una cosa mueble ajena, se le impondrán:

Prisión de seis meses a dos años y sesenta a ciento cincuenta días multa, cuando el valor de lo robado no exceda de trescientas veces la Unidad de Cuenta de la Ciudad de México vigente o cuando no sea posible determinar el valor de lo robado;

Prisión de dos a cuatro años y de ciento cincuenta a cuatrocientos días multa, cuando el valor de lo robado exceda de trescientas pero no de setecientas cincuenta veces la Unidad de Cuenta de la Ciudad de México vigente, y

Prisión de cuatro a diez años y de cuatrocientos a seiscientos días multa, cuando el valor de lo robado exceda de setecientas cincuenta veces la Unidad de Cuenta de la Ciudad de México vigente.

Para determinar la cuantía del robo, se atenderá únicamente al valor de mercado que tenga la cosa en el momento del apoderamiento, mismo valor que será considerado para efectos de la reparación integral del daño.”

En el artículo 224 se enuncian agravantes a las penas de robo previstas en el 220:

“A) Se impondrá de dos a seis años de prisión, cuando el robo se cometa:

IX. Respecto de teléfonos celulares;”

Además el 225 añade la componente de la violencia en el cometimiento del hecho ilícito, como se cita a continuación:

“Las penas previstas en los artículos anteriores, se incrementarán con prisión de dos a ocho años, cuando el robo se cometa:

I. Con violencia física o moral, o cuando se ejerza violencia para darse a la fuga o defender lo robado;

II. Por una o más personas armadas; portando instrumentos peligrosos u otro objeto de apariencia similar que produzca en la víctima coacción en su ánimo, o bien, empleándose arma blanca u otro instrumento punzo cortante o punzo penetrante.

Se equipara a la violencia moral, la utilización de juguetes u otros objetos que tengan la apariencia, forma o configuración de armas de fuego, o de pistolas de municiones o aquéllas que arrojen proyectiles a través de aire o gas comprimido.”

Por su parte, el poder judicial está a cargo de ejecutar las sentencias una vez que se inicia el proceso ante los tribunales en caso de haber detenidos. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, designa que la investigación y persecución de los delitos incumbe al Ministerio Público, el cual se auxiliará con una policía que estará bajo su autoridad y mando inmediato, el Ministerio Público es presidido por un Procurador General de Justicia.

La Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México está a cargo de una Procuradora, quien cuenta con Subprocuradores, Agentes del Ministerio Público, Oficial Mayor, Contralor Interno, Directores Generales, Fiscales, Supervisores, Visitadores, Agentes de la Policía Investigadora, Peritos y Personal de Apoyo Administrativo. Todos forman parte del Servicio Civil de Carrera los Agentes del Ministerio Público, Agentes de la Policía Investigadora y los Peritos adscritos a los Servicios Periciales de la Institución (PGJ CDMX, 2019). El poder ejecutivo, mediante sus secretarías tiene la tarea de administrar la seguridad pública, a nivel federal una de las dependencias de la Secretaría de Gobernación es la policía federal, así mismo existen otros organismos como la Agencia de Investigación Criminal y el Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia, adscritos a la Fiscalía General de la República, antes PGR (FGR, 2017)

Marco teórico metodológico

Criminología ambiental

La criminología ambiental estudia la delincuencia, los delincuentes, su comportamiento y las sanciones, introduce la dimensión espacial de los eventos criminales, se centra en el papel del espacio y del lugar en relación con el tiempo, la ubicación y el tipo de delitos cometidos. Esta rama de la criminología busca en el contexto la explicación a los eventos

criminales. La relación espacio-temporal de los delitos es la principal fuente de información con la que los criminólogos ambientales trabajan (Fritz, 2007). Es una disciplina que estudia los sucesos criminales como resultado del encuentro entre un criminal motivado para cometer un delito, que se rodea de objetivos delictivos potenciales en momentos específicos del espacio y el tiempo (Vázquez, 2014).

Actualmente los criminólogos ambientales se centran en la toma de decisiones del delincuente, la prevención situacional del delito, perfiles geográficos, la organización espacial de los mercados de drogas, el análisis de *hot spots*, y la prevención del delito a través de diseño ambiental (CPTED).

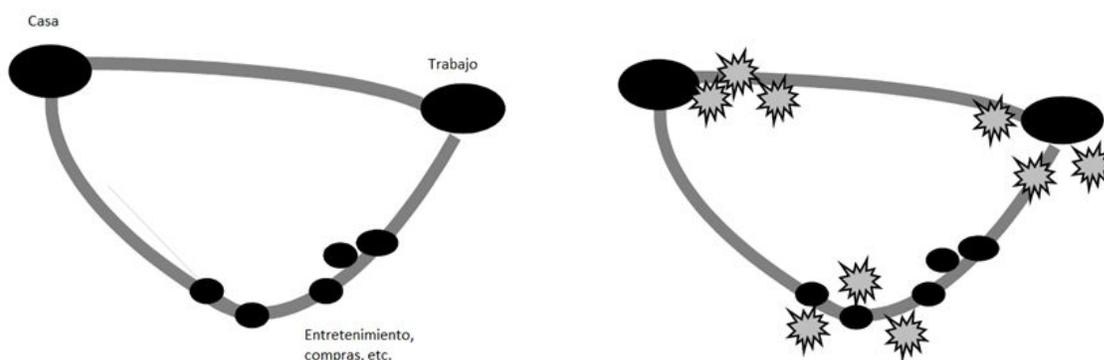


Figura 3. A la izquierda patrones típicos de nodos en la elección de ruta. A la derecha, patrón hipotético de asaltos a un individuo. Recuperado de Wortley y Mazerolle, 2008, p 85 y 86

De acuerdo con Vozmediano Sanz y Guillén (2011), la ecología del delito y de la seguridad son los enclaves de la criminología ambiental, ya que se trata de encontrar patrones delictivos con la asistencia de SIG, para plantear estrategias innovadoras de prevención de criminalidad mediante el diseño ambiental, sin duda los tópicos de esta emergente disciplina resultan de interés para las entidades responsables de evaluar y elaborar políticas de seguridad.

La teoría hace al mapa, por ello se retoma de la criminología ambiental el papel que juegan los lugares en el cometimiento de un hecho delictivo, se trata de robo de objetos mientras se cumplen actividades rutinarias, la figura de la víctima es la principal fuente de información, al estar reportando y estar llevando la autoridad, el registro de los eventos delictivos. Una base de datos bien producida, con la información disponible, pone en manos de los investigadores la posibilidad de experimentar. Contar con las teorías que han trazado la evolución de la ciencia forense, hasta transicionar al terreno de lo espacial.

Las teorías de criminología ambiental están destinadas para la investigación, persecución y prevención del delito, son elementales para transformar la información georreferenciada en el formato visual por excelencia un mapa, el análisis de los patrones espaciales del delito es un foco de atención de esta disciplina.

Año	Autor	Tema
1909	Agust Volmer (Jefe de policía)	Padre de los mapas policiales.
1931	Shaw y McKay	Teoría de la desorganización social
1979	Marcus Felson y Laurance E. Cohen.	Teoría de las actividades rutinarias.
1982	Wilson y Kelling	Teoría de las ventanas rotas
1986	Cornish y Clarke	Teoría de la elección racional.
1993	Valerie Alford	Relación entre incidentes y el flujo peatonal.
1998	Felson y Clarke	Teoría del patrón delictivo.
2003	Mark Stevens	Teoría de los estilos de vida.
SXX	Varios	Teoría de la eficacia social
SXX	Varios	Teoría de la oportunidad del crimen.

Cuadro 1 Listado de autores y su área de estudio respecto al análisis del crimen.

Se tienen teorías del lugar, de víctima, de calle y de vecindario. La teoría de las Actividades Rutinarias tiene características que resultan útiles para la propuesta de rutas seguras. De acuerdo con la disponibilidad de los datos, en este trabajo se extraen las características que mejor se apliquen al modelo de rutas, lo cual se discute más adelante.

Análisis del crimen

Los lugares poseen características que facilitan el cometimiento del crimen, es la postura fundamental de la cual partimos, se dice que la delincuencia no se distribuye de manera uniforme o aleatoria en el espacio. En algunos casos, los crímenes con mayor registro son los cometidos de acuerdo al objetivo, por ejemplo los robos de tiendas de conveniencia 24 horas del día, los robos de autos en estacionamientos grandes, o los robos de los compradores en zonas con fuerte presión comercial (Anselin, Cohen, & Cook, 2000).

Anselin señala que “las preocupaciones teóricas se centran en cómo el lugar puede ser un factor en el crimen, ya sea por la influencia o la configuración de los tipos y niveles de la conducta criminal de acuerdo a las personas que frecuentan el área, o de acuerdo a lo atractivo que puede ser un área para las personas que comparten inclinaciones criminales similares” (Anselin, Cohen, & Cook, 2000: 215). Los mismos autores mencionan que en investigaciones empíricas se ha encontrado una clara e importante relación entre lugares específicos y *hot spots* de delincuencia, hecho consecuente es la posterior realización de investigaciones de los rasgos distintivos criminógenos asociados al lugar.

El análisis del crimen se desprende del análisis espacial, porque sigue los métodos y técnicas que se usan en el análisis espacial, se especializa en analizar el crimen usando como base las teorías elaboradas por la ciencia forense o por disciplinas como la criminología ambiental. Los distintos tipos de delito tienen diferentes relaciones espaciales, dependencias, estructuras y distribuciones, los cuales son el resultado de diferentes procesos sociales y espaciales en un área.

El autor británico Spencer Chainey (2005) especifica que es importante obtener estadísticos globales de los datos, para conocer la información que se está trabajando, a continuación se presenta un cuadro descriptivo de las recomendaciones.

Tipo	Descripción
Punto central medio.	Medida relativa para comparar distribuciones espaciales entre diferentes tipos de delitos o contra el mismo delito durante periodos de tiempo.
Distancia de desviación estándar.	Explica el nivel y la alineación de la dispersión del delito. Medida relativa comparando los tipos de delitos entre sí o los mismos tipos de delitos en periodos de tiempo.
Elipses de desviación estándar.	El tamaño, forma y alineación de la elipse explican el grado de dispersión y la orientación del tipo de delito.
Pruebas de agrupamiento.	Revelan si los datos tienen puntos críticos de delincuencia, con el índice del vecino más cercano y autocorrelación espacial.

Cuadro 2. Pruebas estadísticas globales preliminares.

Agrega que existen diferentes aproximaciones que se pueden usar para el análisis espacial del crimen con mapas, como se explica en la siguiente lista de técnicas. El mapeo es un proceso iterativo, difícilmente el primer mapa es el definitivo.

Nombre	Descripción
Mapa de puntos	Interpreta patrones espaciales y hot spots en los datos puntuales, particular atención al tamaño del conjunto de datos.
Elipses espaciales	Crea elipses de desviaciones estándar alrededor de los grupos de puntos delictivos, el agrupamiento jerárquico y por k-medias son otras opciones.
Mapa temático de límites geográficos	El usuario identifica el tipo de rango para representar la distribución del delito, por ejemplo conteo igual, rangos iguales, ruptura natural, desviación estándar, cuantil o rango personalizado
Mapa temático de cuadrantes	La unidad podría ser un recuento de delitos por celda de una cuadrícula o valor de densidad calculado a partir del recuento y área de la celda. Identifica puntos críticos de delincuencia.
Interpolación y suavizado continuo de superficies	La interpolación representa la densidad o el volumen de los eventos delictivos distribuidos en el área, la ponderación de distancia inversa, la triangulación con suavizado, kriging y splining son técnicas que usan una intensidad, población o valor 'z' tomado de ubicaciones de muestra para estimar valores para todas las ubicaciones.
	Estimación de kernel de densidad, método más adecuado para visualizar los datos delictivos como una superficie continua

Cuadro 3. Técnicas de mapeo del crimen.

Los análisis de autocorrelación espacial se muestran como métodos avanzados en el análisis espacial del crimen, ya sea el estadístico G_i^* que se aplica a la salida de una celda de cuadrícula, como un mapa de estimación de densidad de kernel, a partir del cual se comparan las asociaciones locales con el promedio global. O los indicadores locales desarrollados por Luc Anselin (1995), Getis y Ord (1996). El análisis de patrones espaciales requiere de pruebas estadísticas formales para determinar si las ubicaciones de los delitos muestran evidencia de agrupamiento o están distribuidas al azar.

Análisis del crimen con *hot spots*.

La exploración de las distribuciones y el agrupamiento del tipo de delito es fundamentalmente importante para determinar qué tipo de método de *hot spot* debe usarse. Sin las teorías resultaría difícil interpretar un mapa por esta razón son relevantes, porque ayudan a responder qué son los *hot spots*, por qué se presentan y cómo se pueden representar. Como resume John E. Eck (2005), los hot spots son el análisis por excelencia en los temas relacionados al estudio espacial del crimen, identificarlos requiere de

múltiples técnicas no obstante ningún método individual es suficiente para analizar todos los tipos de delitos, a continuación se presenta un listado de las teorías y los tipos de *hot spots*.

Teorías de *hot spots* del crimen

1. Teorías del lugar, cuando se tiene información puntual, una coordenada a la cual se asocia información del evento delictivo. Se reconoce que tienen una dimensionalidad de cero (0). En este tipo de mapas es común usar los puntos graduados, de modo que el tamaño de punto es proporcional al número de delitos en el lugar. Si se usa degradado de color en los puntos, es para superar el problema de la superposición.
2. Teorías de calle, en ocasiones la información puntual tiene una disposición en el espacio con apariencia de líneas, la sucesión de puntos dibuja un patrón lineal con dimensión uno (1). Coinciden con vías de comunicación y a menudo se les conoce como hot lines.
3. Teorías de vecindario, la información no es puntual sino está dada por área, su dimensión es dos (2). La forma de representación es con polígonos que corresponden principalmente a asentamientos que pueden o no corresponder a demarcaciones administrativas.

Tipos de *hot spots*

1. Puntos repetidos de eventos, la teoría de las actividades rutinarias ayuda a explicar por qué el crimen se concentra en lugares específicos. Se deben observar las ocupaciones, los patrones de viaje, por mencionar algunas variables.
2. Puntos repetidos de víctimas, teorías de los estilos de vida cuando se presentan ataques contra el mismo individuo, independientemente de su ubicación, revela patrones con poblaciones vulnerables. Si los eventos ocurren en las mismas vías entonces la representación pasa a ser lineal. Si ocurren en los mismos vecindarios se representa con polígonos. Es importante observar que la repetición de lugares con diferentes víctimas, corresponde a un comportamiento de los delincuentes, mientras que la repetición de eventos en diferentes lugares, los delincuentes juegan un menor papel.
3. Puntos repetidos de eventos en calles, se relaciona con los tipos anteriores, cuando los eventos se concentran a lo largo de avenidas principales o nodos de actividad, los programas de mapeo facilitan la identificación de puntos y áreas calientes, hacerlo para líneas requiere un nivel de precisión que los algoritmos de agrupamiento no reconocen, resulta apropiado usar puntos.

-
4. Vecindarios y zonas, este tipo está relacionado con la teoría de la desorganización social, la teoría de la eficacia social y la teoría de las ventanas rotas. Analizar los componentes sociodemográficos es común en este tipo de mapas.

Para los investigadores James G. Cameron, M. D. Marketing y Michael Leitner (2005), identificar el agrupamiento de los eventos delictivos, es una rutina de análisis del crimen mediante *hot spots*, la cual es un procesamiento que utiliza la I de Moran local basado en el concepto de indicadores locales de asociación espacial, del inglés local indicators of spatial association (LISA). En donde a cada observación se le asigna una puntuación basada en la medida en que existe una agrupación significativa de valores similares en torno a esa observación. En este caso la puntuación asignada a cada observación es la I de Moran para la autocorrelación espacial. Las ubicaciones con puntajes altos de I de Moran tienen valores de intensidad más altos, que la intensidad del valor promedio para todas las demás observaciones, mientras que las ubicaciones con puntajes bajos de I de Moran tienen valores de intensidad más bajos, que la intensidad del valor promedio para todas las demás observaciones. El procedimiento local de Moran proporciona información sobre el grado de similitud de valores entre vecinos cercanos.

Siendo el análisis LISA el que se usa en esta investigación, ya que se parte de dos supuestos, que los lugares tienen características para facilitar el cometimiento de actividades delictivas y que hay puntos repetidos de eventos de robo en diferentes lugares, sin que haya la influencia de agentes locales.

Modelo Cartográfico.

En un modelo cartográfico cada objeto es representado en un mapa y se utilizan operaciones basadas en mapas para la generación de información. Algunas de estas operaciones son el álgebra de mapas, la cartografía participativa y la regionalización. En este trabajo mediante geoprocесamientos a las capas de información, se elabora un diagrama explicativo del tipo de modelado cartográfico que se usó en este desarrollo.

En el modelo del presente trabajo se utilizan las bases de datos de las carpetas de investigación de la PGJ, obtenidas en el portal de los datos abiertos de la CDMX, junto con la capa de colonias de la alcaldía Iztapalapa ya que se cuenta con una oferta considerable de formatos para trabajar la información. La red vial de la misma alcaldía descargada de *Open Street Map* y se procesa para usar en un formato conocido.

La primera capa contiene la información puntual de los eventos delictivos, los cuales serán cuantificados y asociados a la capa de colonias y a la red de segmentos de calle.

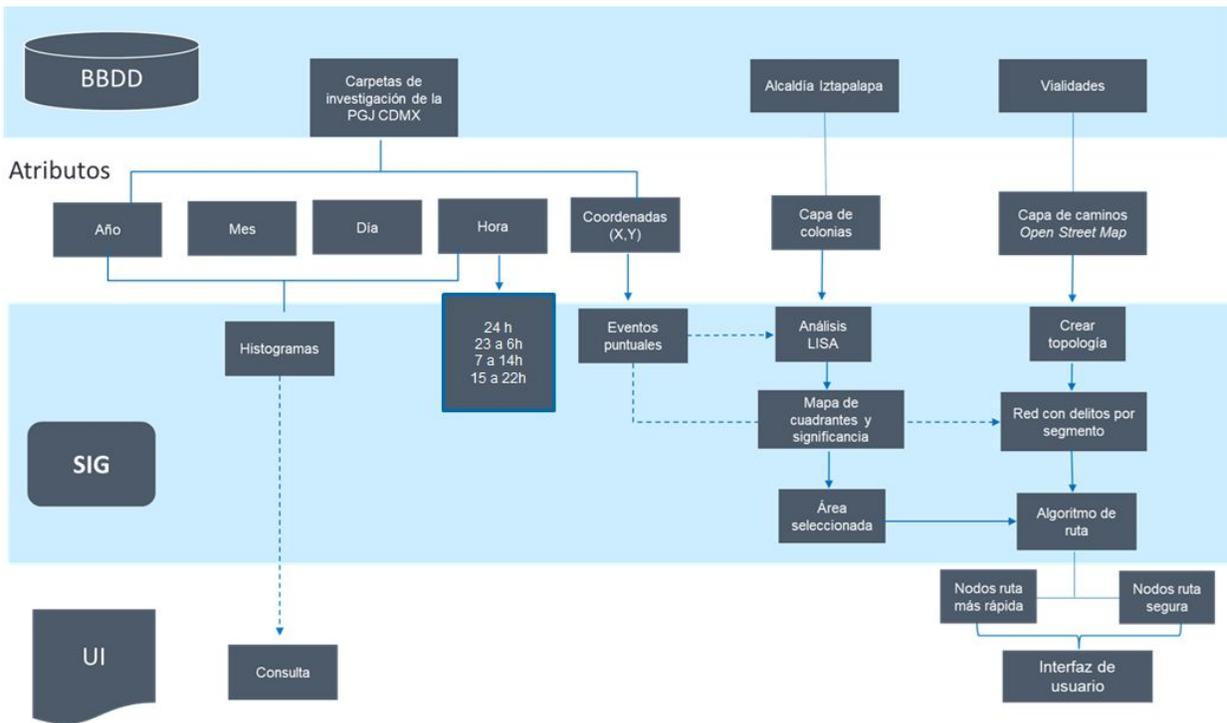


Figura 4. Mapa de procesos empleados en el modelo de ruta.

De los datos de robo se desglosan los atributos de año, mes, día del mes y de la semana, junto con la hora. Las ventanas de horario que se analizan son la cuenta total de 24 hrs, luego de las 23 a las 06 de la madrugada, de las 07 a las 14 horas del día, y 15 a 22h. La función de contar con histogramas cubre dos necesidades, la primera es conocer el patrón temporal de la movilidad del delito, la segunda es incorporar esta información de manera consultiva para el usuario en la aplicación web.

El mapa de análisis LISA se realizó contabilizando las observaciones por colonia, este análisis de *hot spot* hace posible seleccionar un área que cumple con las condiciones espaciales donde se puede probar el algoritmo de ruta. Se hace un proceso en SIG que consiste en un *snap* para alinear los puntos georreferenciados de robo en diferentes modalidades a la red de calles, un *spatial join* asigna a todos los puntos el identificador (ID) del segmento sobre el que se alinearon. En seguida se hace una estadística por categoría, donde se suma el número de puntos que caen en cada segmento, de este cálculo resulta el valor de coste delictivo. Finalmente se hace un *join* para agregar estos valores a la capa de redes viales.

De esa forma la base de datos está lista para enviar la información necesaria al algoritmo de ruta, el cual va a devolver una serie de nodos, que al ser convertidos en *geojson* se pueden renderizar para visualizarlos en la página web.

Modelo computacional.

Teoría de grafos

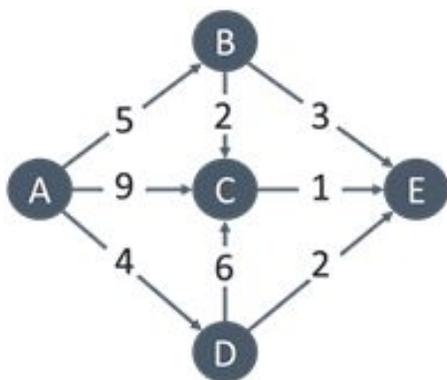
La teoría de grafos, también llamada teoría de gráficas, es una rama de las matemáticas y las ciencias de la computación que estudia las propiedades de los grafos. Los grafos no deben ser confundidos con las gráficas, que es un término muy amplio. Formalmente, un grafo $G = (V, E)$ es una pareja ordenada en la que V es un conjunto no vacío de nodos y E es un conjunto de arcos. La teoría de grafos tiene sus fundamentos en las matemáticas discretas y de las matemáticas aplicadas, esta teoría requiere de diferentes conceptos de diversas áreas como combinatoria, álgebra, probabilidad, geometría de polígonos, aritmética y topología.

Actualmente ha tenido mayor influencia en el campo de la informática, las ciencias de la computación y telecomunicaciones. Debido a la gran cantidad de aplicaciones en la optimización de recorridos, procesos, flujos, algoritmos de búsquedas, entre otros, se generó toda una nueva teoría que se conoce como análisis de redes.

En el campo de trabajo se toma el enfoque de la geomática para combinar la teoría de grafos que sucede en el plano físico del espacio, para aplicarlo en la dimensión temporal y social de los lugares.

Algoritmo de A*

Es un algoritmo de búsqueda informado, es decir, está formulado en términos de grafos ponderados. Su objetivo es encontrar una ruta del nodo de origen al nodo objetivo que tenga el menor costo, ya sea menor distancia recorrida, menor tiempo, por mencionar algunos ejemplos.



En el presente trabajo, los arcos son los segmentos de calle y cuentan con un valor que corresponde a la suma de delitos de robo a transeúnte. Dicha información es considerada por el algoritmo para determinar la ruta de menor coste delictivo, que no necesariamente coincide con la ruta más rápida. Por otro lado, los cruces entre los segmentos están asociados a los nodos de la red, que son los puntos donde se evalúa el valor de los posibles arcos a recorrer. Lo hace manteniendo un árbol de rutas que se originan en el nodo de inicio y extendiendo esas rutas a un arco a la vez hasta que se alcance el nodo objetivo.

Figura 5. Esquema del algoritmo

Solución Colaborativa.

Metodología y análisis.

De los conceptos teórico metodológicos parte la propuesta del proyecto de rutas seguras, de la criminología ambiental se toma la teoría de las actividades rutinarias desarrollada por Cohen y Felson, entender que en los traslados entre el hogar y los lugares productivos y de esparcimiento, existen conductas delictivas punibles, reafirma la necesidad de proponer el uso de esta aplicación. Del análisis del crimen, la teoría de la distribución del delito funciona para elaborar el mapa del comportamiento de esta modalidad de robo en el espacio público. Por último la teoría de grafos es la parte técnica de esta herramienta web.

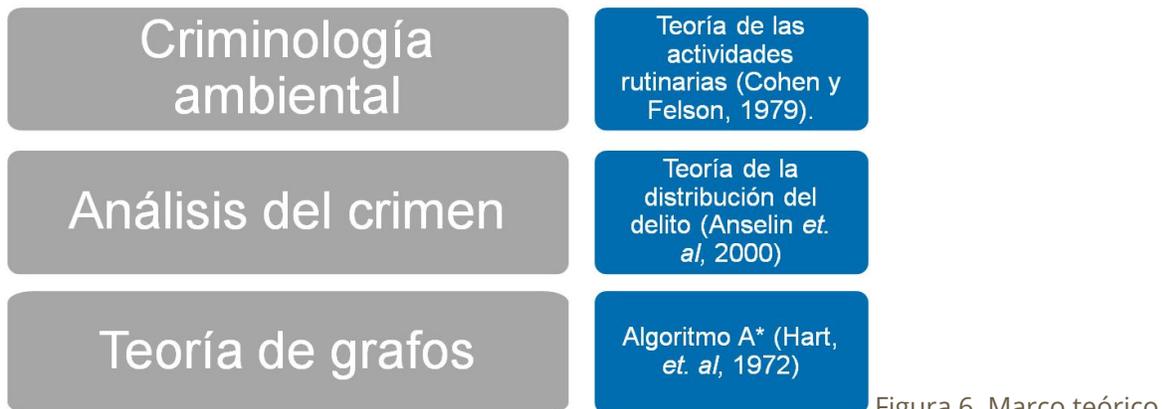


Figura 6. Marco teórico metodológico, elaboración propia con base en la bibliografía consultada

Base de datos

Las capas de información de datos abiertos de la CDMX se encuentran en grados decimales, para facilitar el funcionamiento del algoritmo se proyectó a UTM y así trabajar con unidades métricas. Lo cual es de gran utilidad si se está trabajando una ruta. Las unidades de análisis en todos los casos son formato vectorial de punto, línea y polígono, en el caso de los reportes de robo, las vialidades y las 293 colonias de Iztapalapa, respectivamente. En el caso del continuo de delitos por suavizado se cuenta con un mapa ráster, para ilustrar la saturación de punto de la información.

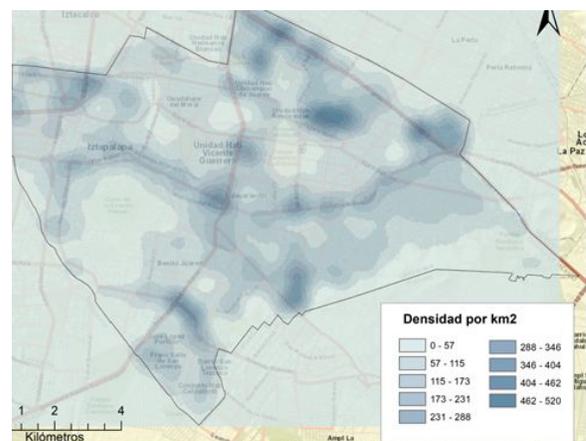


Figura. 7 Kernel de densidad del robo

Análisis por horario

Dentro de las prácticas en el estudio y análisis del comportamiento del delito, las series de tiempo son una referencia de la movilidad del crimen. Su relevancia para este desarrollo cumple dos objetivos, por un lado tener el panorama temporal del momento anual, mensual y semanal en el que ocurren los robos en esta parte de la ciudad, por otro lado es meramente consultivo, en la aplicación se desea que el usuario pueda acceder a este análisis de histogramas a través del tiempo.

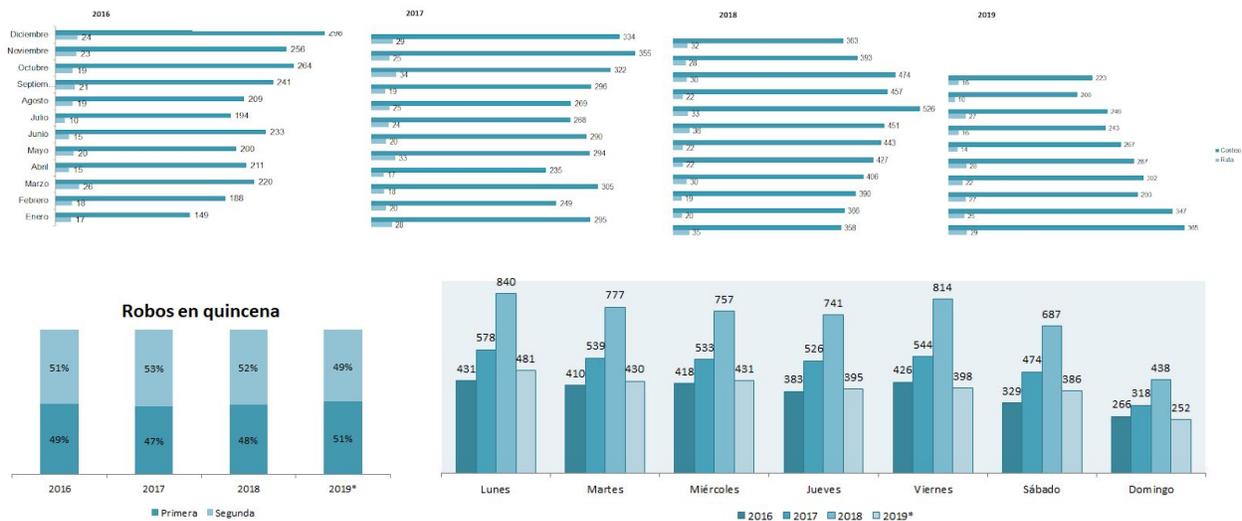


Figura 8. Serie de histogramas a) Conteo general y sobre el área de ruta dentro de la misma alcaldía. b) Porcentaje de los eventos por quincena. c) Distribución por día de la semana

Es posible relacionar la componente temporal y espacial, donde se grafica el tiempo en términos de vialidades, comparar el histórico con datos recientes enriquece el análisis.

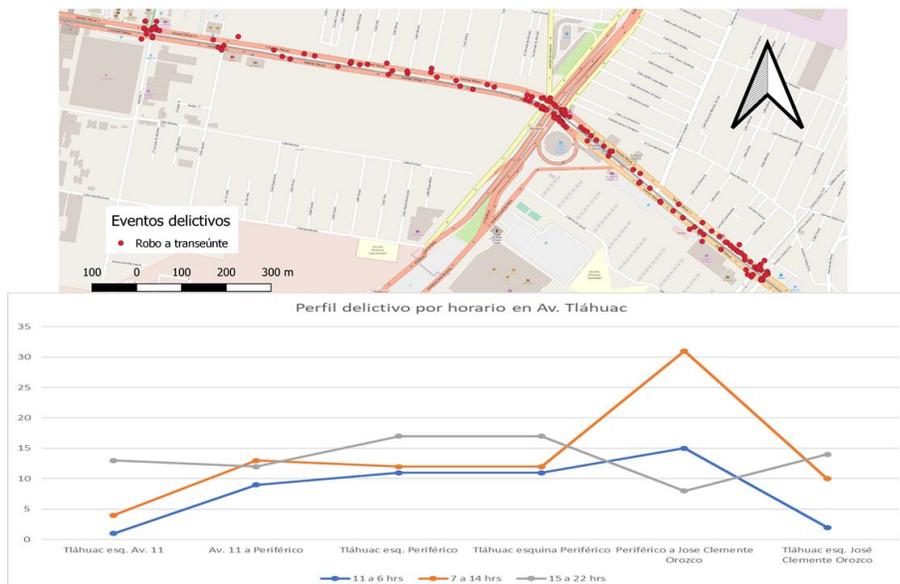
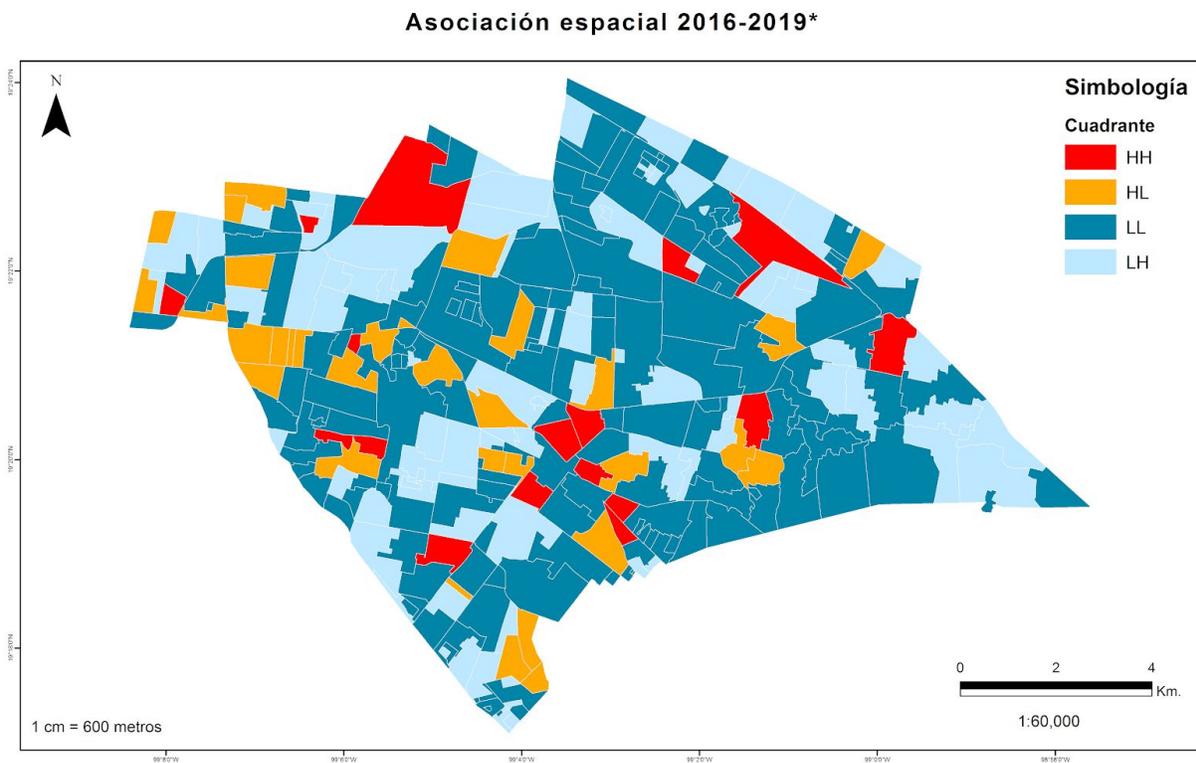


Figura 9. Perfil temporal.

LISA

El lenguaje de programación *Python* y la librería de *PySAL* son empleados mediante *jupyter notebook*, para efectuar el análisis de indicadores de asociación espacial local. Los parámetros a considerar son una matriz simétrica de contigüidad tipo reina de orden 1, pesos estandarizados en el rezago espacial y el nivel de significancia es de 5 por ciento. Los estadísticos muestran en los vecinos una media de 5.28, el mínimo de vecinos es 1, y el máximo de vecinos que tiene un polígono de colonia es de 19, tiene 0 islas. La *I* de Moran local es de 0.03, lo cual es indicador de autocorrelación espacial baja, sin embargo la pendiente del gráfico se mantiene positiva, el ajuste se logra con los pesos estandarizados.



Mapa 1. Mapa de análisis LISA los HH son valores altos rodeados de altos, los HL altos rodeados de bajos, LL son bajos rodeados de bajos y LH bajos rodeados de altos.

PG routing

Es una extensión de *PostgreSQL* para desarrollar aplicaciones de ruteo sobre redes y análisis de grafos. Tiene base en la extensión espacial *PostGIS*, por lo que es ideal para su uso sobre bases de datos geográficas y resolver problemas comunes de ruteo como encontrar el camino más corto o de menor coste entre dos locaciones.

Cuenta con funciones que permiten crear y revisar la topología de la red y ejecutar todos los algoritmos clásicos de ruteo, como son el Dijkstra, el A* o TSP, por mencionar algunos ejemplos. *pgRouting* es un proyecto iniciado por Sylvain Pasche de *Camptocamp*, posteriormente fue mejorado por la compañía Orkney y actualmente recibe mantenimiento de la compañía *Georepublic*. Es posible utilizar esta extensión en el programa *QuantumGIS* (QGIS) o en el entorno de *pgAdmin*. *pgRouting* resulta de gran utilidad para conectar la base de datos generada en el presente proyecto, con la parte de la interfaz de usuario del HTML para poder generar y visualizar rutas ponderadas en base a la cantidad de delitos calculada por segmento.

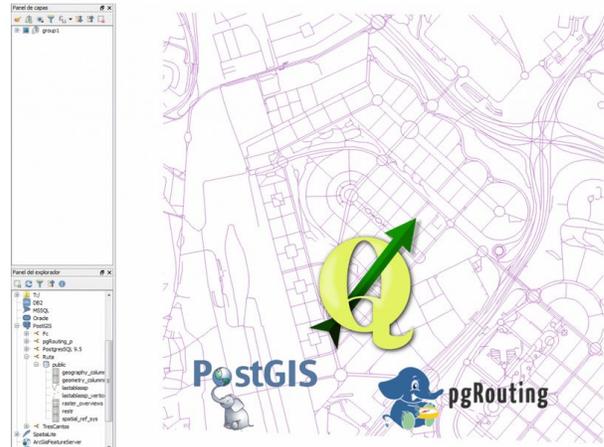


Figura 10. Vista del administrador de BBDD

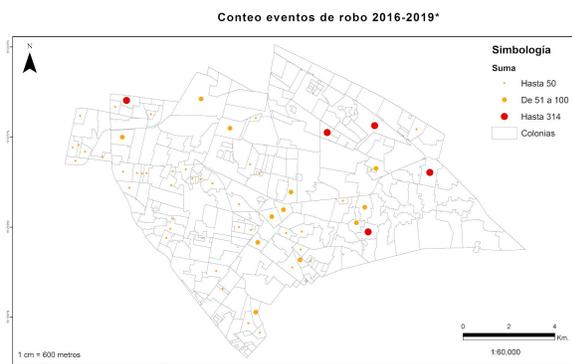
Visualizador web

El prototipo de la aplicación se generó mediante el ambiente de trabajo *Django*, que utiliza el lenguaje de programación *Python*.

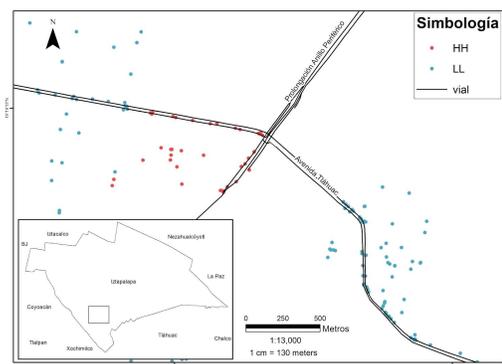
Resultados.

Modelo de ruta

Una vez que mediante SIG y análisis del crimen se han estudiado los patrones de distribución de las observaciones, se procede a seleccionar un área ejemplar para probar el algoritmo, el criterio del ejercicio considera aquellas colonias del cuadrante HH y LL.



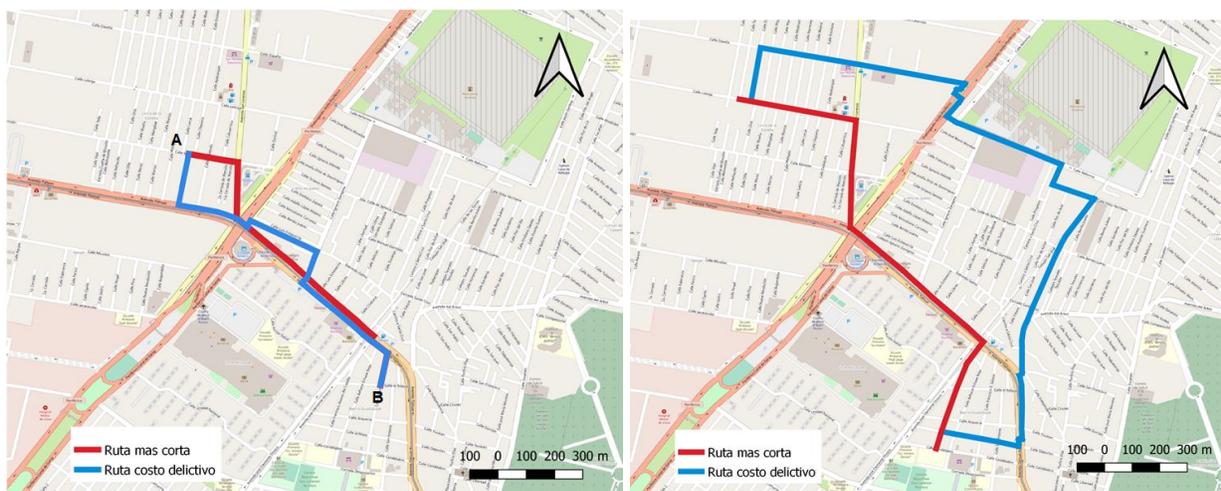
Mapa 2. Polígonos concentrados y vacíos.



Mapa 3. Selección de área de prueba.

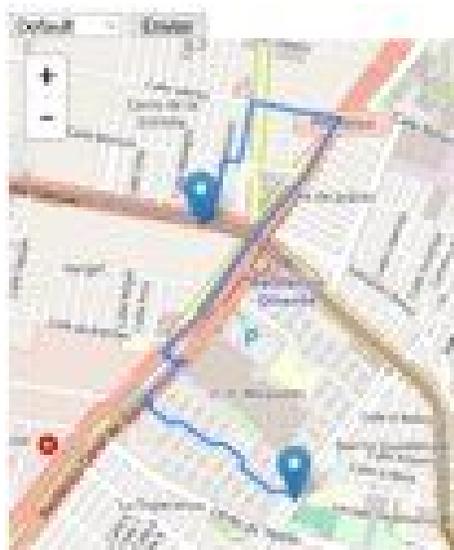
Perfeccionar los parámetros del análisis LISA es un proceso iterativo, vale la pena usar los programas especializados como el CrimeStat, donde hay acceso a herramientas desarrolladas especialmente para estudiar la criminalidad. En este caso, la proporción de polígonos de asociación espacial positiva, es baja respecto al total de 293 colonias.

Investigar y añadir otros atributos de infraestructura, como impedancias al momento de diseñar los criterios de búsqueda del algoritmo, mejora la calidad del mismo. Porque la dimensión del espacio es puramente física, al trabajarse a nivel de red topológica no se toma como una vialidad con características de lugar, o sea destacando los rasgos sociales.



Mapa 4. En rojo, la ruta sin considerar los robos. Mapa 5. En azul, la ruta considera impedancia.

La primer prueba recorre un total de 23 segmentos de vialidad, lo cual es un recorrido de 1.2 km., en un tiempo de 15 minutos con una suma delictiva de 85 eventos. Por su parte la ruta con menor coste delictivo, cubre 16 segmentos a lo largo de 1.4 km., en 16.8 minutos y la suma es de 52 delitos.



La segunda prueba corresponde a una ruta de 2 km., con 38 segmentos en un tiempo de 23 minutos y la suma delictiva de 102 robos. En cuanto a la de menor coste delictivo se obtuvo un total de 43 segmentos recorridos, incrementó la distancia en un kilómetro con un tiempo de 38 minutos, pero la suma delictiva es baja de 31 reportes.

No hay forma de asegurar la probabilidad de ser víctima de robo sin conocer el conteo del flujo peatonal, por lo que normalizar con población es una tarea pendiente.

Figura 11. Avance del desarrollo de la aplicación web

Conclusiones.

Se busca confirmar dos supuestos fundamentales, que los delitos no se distribuyen uniformemente en el espacio y además que la repetición de eventos en los mismos lugares o calles con diferentes víctimas, el lugar cobra más relevancia y no el delincuente. Con ello se reconoce que los espacios públicos suelen tener características que favorecen el cometimiento de un delito, esto queda explícito en las técnicas de análisis del crimen, por ejemplo con un mapa LISA bien ajustado se pueden establecer zonas donde hace falta realizar los dispositivos de seguridad, para que la acción sea contundente. Por otra parte se encontraron calles en las que cada año se comete una mayor cantidad de delitos a diferentes víctimas, y de igual forma hay calles que han permanecido libres de reporte de robo en esta modalidad. Subsanan la cifra negra con los reportes al 911 es una opción innovadora que ha de mejorar el sistema de impedancias.

El enfoque territorial desde la geomática permite el manejo de datos georreferenciados para generar información nueva y encontrar soluciones a temas complejos que requieren un análisis integral. Este tipo de ejercicios académicos sobre el crimen deben extenderse hacia las instituciones públicas y privadas para lograr un análisis más completo de los delitos y por tanto ofrecer mejores servicios de seguridad.

Propuesta a futuro.

Como parte de la visión a futuro del aplicativo, es importante agregar otros tipos de usuario en el aplicativo ya que los delitos a automovilistas y/o ciclistas se observan con frecuencia en distintas zonas de la CDMX. Así mismo, extender el análisis de redes viales y delitos hacia otras alcaldías y municipios del país permitiría abarcar un mayor número de zonas conflictivas bajo un enfoque territorial. Otra propuesta para mejorar el proyecto, es la posibilidad de sugerir al usuario la segunda o tercer ruta de menor riesgo en base a un costo de oportunidad, para ofrecer distintos escenarios que faciliten la decisión del camino a seguir.

Bibliografía.

1. Alcaldía Iztapalapa. (2018). *Alcaldía Iztapalapa 2018-2021*. Recuperado el 2019, de Geografía y Demografía : <http://www.iztapalapa.cdmx.gob.mx>
2. Anselin, L., Cohen, J., & Cook, D. (2000). Spatial Analyses of Crime. En U. D. Justice, *Measurement and analysis of crime and justice* (Vol. 4, págs. 213-262). Washington DC: Department of Justice.
3. Calvillo, Y. (2013). Análisis de la vulnerabilidad en zonas calientes delictivas del centro histórico de la Ciudad de México. Un enfoque de análisis socioespacial. Tesis para obtener el grado de Maestría en Geomática. Centro de investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo.
4. Chainey, S., & Desyllas, J. (2008). Modelling Pedestrian Movement to Measure On-Street Crime Risk. In *Artificial Crime Analysis Systems: Using Computer Simulations and Geographic Information Systems* (pp. 71-91). IGI Global.
5. Cohen, L. E., & Felson, M. (1979). Social change and crime rate trends: A routine activity approach. *American sociological review*, 588-608.
6. Eck, J., Chainey, S., Cameron, J., & Wilson, R. (2005). Mapping crime: Understanding hotspots.
7. FGR. (13 de octubre de 2017). *Fiscalía General de la República*. Recuperado el 2019, de Blog: <https://www.gob.mx/fgr/articulos/agencia-de-investigacion-criminal>
8. Gutiérrez, S. F. (2015). La percepción de inseguridad y el miedo al delito en los diagnósticos de inseguridad. Una propuesta metodológica desde la geomática.
9. Fisher, M. (2006) *Spatial analysis and geocomputation. Selected essays*. Viena University of Economics and Business administration. Institute for economic geography and GIScience.
10. Hart, Peter E.; Nilsson, Nils J.; Raphael, Bertram (1972). Correction to 'A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths'. *ACM SIGART Bulletin* (37): 28-29.
11. Hikal-Carreón, W. S., Erosa, R. A. R., & Tolentino, J. A. P. (2018). Nacimiento, sistematización y evolución de las criminologías específicas en México. *Archivos de Criminología, Seguridad Privada y Criminalística*, (21), 8-37.

-
12. National Institute of Justice, "Mapping and Analysis for Public Safety," April 17, 2018, [nij.ojp.gov: https://nij.ojp.gov/topics/articles/mapping-and-analysis-public-safety](https://nij.ojp.gov/topics/articles/mapping-and-analysis-public-safety)
 13. PGJ CDMX. (2019). *Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México* . Recuperado el Octubre de 2019, de Gobierno de la Ciudad de México : <https://www.ciudadanos.cdmx.gob.mx/gobierno/gabinete/secretarias>
 14. Pozuelo Fúnez, C. Criminología ambiental. La prevención del delito a través del estudio del diseño urbano.
 15. Vilalta, C (2013). How Exactly Does Place Matter in Crime Analysis? Place, Space, and Spatial Heterogeneity. *Journal of Criminal Justice Education*
 16. Vozmediano Sanz y San Juan Guillén (2010). *Criminología ambiental. Ecología del delito y de la seguridad*. España, editorial UOC.
 17. Eck, J., Chainey, S., Cameron, J., & Wilson, R. (2005). *Mapping crime: Understanding hotspots*.
 18. Wortley, R. y Mazerolle, L. (2008). *Environmental Criminology and Crime Analysis*. Willan Publishing, UK.