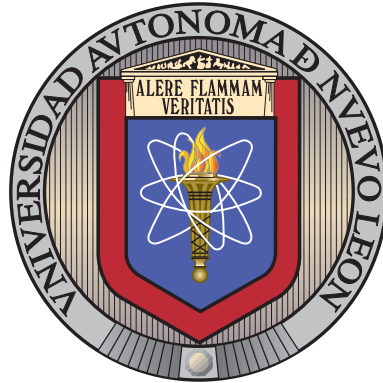


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



DISEÑO DE TERRITORIOS DE COBERTURA PARA
LAS PATRULLAS DE POLICÍAS

POR

ADRIAN ALEJANDRO ROMÁN ACOSTA

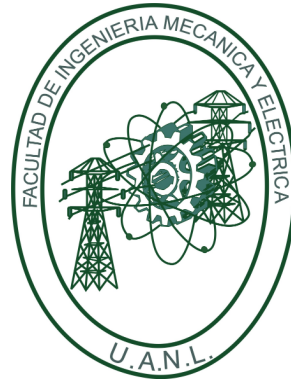
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

AGOSTO 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



DISEÑO DE TERRITORIOS DE COBERTURA PARA
LAS PATRULLAS DE POLICÍAS

POR

ADRIAN ALEJANDRO ROMÁN ACOSTA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

AGOSTO 2019

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Diseño de territorios de cobertura para las patrullas de policías», realizada por el alumno Adrian Alejandro Román Acosta, con número de matrícula 1937491, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez

Asesor



Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

Revisor



Dr. Eduardo Valdés García

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



*A mi familia por estar siempre presentes con su amor, apoyo y sacrificio
y ser mi principal fuente de inspiración.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XI
Resumen	XIII
1. Introducción	1
1.1. Descripción del Problema	4
1.2. Objetivo	5
1.2.1. Objetivos Específicos	5
1.3. Hipótesis	6
1.4. Justificación de la Investigación	6
1.5. Metodología	7
1.6. Estructura de la tesis	8
2. Antecedentes	10
2.1. Seguridad pública	11
2.1.1. Patrullas de policías	14
2.1.2. Zonificación de patrullas	16

ÍNDICE GENERAL	VI
2.2. Modelos de cobertura	18
2.2.1. Métodos de solución	18
2.3. Vehículos de Patrulla de Rutina (RPV)	27
2.4. Conclusiones del capítulo	29
3. Metodología	31
3.1. Modelo matemático propuesto	33
4. Experimentación y análisis	38
4.1. Caso de estudio: municipio de San Nicolás de los Garza	38
4.2. Herramientas computacionales utilizadas	40
4.2.1. Google Maps and KML shapes generator	41
4.2.2. RStudio	42
4.2.3. Gams	42
4.3. Recopilación de datos	42
4.4. Escenario 1	47
4.5. Escenario 2	50
4.6. Análisis de resultados	52
5. Conclusiones	55
5.1. Conclusiones Generales	55
5.2. Contribuciones	56

5.3. Trabajo a futuro	57
A. Matriz de distancias entre los distritos	58
B. Matriz de contigüidad entre los distritos	59

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Percepción social sobre inseguridad pública	11
2.2. Por ciento de la población que identifica las problemáticas que le afectan	12
2.3. Por ciento de la población que se siente insegura por tipo de lugar . . .	12
2.4. Desempeño de las autoridades de seguridad pública	13
2.5. Tasa de policías cada 100 000 habitantes	15
3.1. Principales etapas para resolver un problema de IO	32
4.1. Distritos del municipio San Nicolás de los Garza	39
4.2. Delimitación de coordenadas en la aplicación <i>Google Maps and KML</i> <i>shapes generator</i>	41
4.3. Comportamiento de incidentes registrados por distrito	46
4.4. Zonificación del escenario 1	47
4.5. Zonificación del escenario 1 con menor tiempo de respuesta	49
4.6. Zonificación del escenario 2	50
4.7. Zonificación del escenario 2 con menor tiempo de respuesta	51
4.8. Relación entre la cantidad de patrullas y la visibilidad en los territorios	53

4.9. Relación entre la cantidad de patrullas y el tiempo de respuesta . . .	53
A.1. Matriz de distancias entre los distritos	58
B.1. Matriz de contigüidad entre los distritos	59

ÍNDICE DE TABLAS

1.1. Incidencia delictiva en México	6
2.1. Robos registrados cada 100 000 habitantes	16
4.1. Distritos del municipio de San Nicolás de los Garza	40
4.2. Población por distritos del municipio de San Nicolás de los Garza en el año 2012	44
4.3. Hechos delictivos registrados por distritos en el período 2016-2018. . .	45
4.4. Escenarios desarrollados	46
4.5. Resultados del escenario 1	48
4.6. Resultados del escenario 1 con menor tiempo de respuesta	49
4.7. Resultados del escenario 2	51
4.8. Resultados del escenario 2 con menor tiempo de respuesta	52

AGRADECIMIENTOS

A **mis padres** por dar sus vidas por mí, por complacerme en todo y darme su ayuda siempre, por guiarme por el camino correcto, por enseñarme tantas cosas y sobre todo por el amor que me han dado.

A **mi esposa** por acompañarme en este camino y estar siempre ahí dispuesta a ofrecerme su ayuda en los momentos más difíciles.

A toda **mi familia** que aunque es muy numerosa todos me han dado un cariño inmenso y han estado siempre pendientes de mí para brindarme su apoyo.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por darme la oportunidad de venir a este país a realizar mis estudios de posgrado y por su apoyo económico durante estos dos años.

A la **Universidad Autónoma de Nuevo León** y a la **Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**, por las becas otorgadas para poder cumplir con todo el proceso de estudios.

A mi tutora la **Dra. Jania Saucedo**, que me ha apoyado siempre con sus ideas y sus conocimientos para hacer lo mejor posible este proyecto.

A mi comité de tesis compuesto por la **Dra. Edith Lucero Ozuna** y el **Dr. Eduardo Valdés**, por sus aportes realizados y estar siempre dispuestos a ayudarme.

A **mis profesores**, por sus enseñanzas.

A **mis compañeros**, por compartir este tiempo ayudándonos mutuamente.

A **todos** los que de una forma u otra han formado parte de esta tesis muchas gracias, les estaré eternamente agradecido.

RESUMEN

Adrian Alejandro Román Acosta.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: DISEÑO DE TERRITORIOS DE COBERTURA PARA LAS PATRULLAS DE POLICÍAS.

Número de páginas: 64.

En la actualidad la elevada inseguridad que existe en México afecta a la población que se siente víctima de la delincuencia, esta problemática puede ser atacada con el aumento del desempeño de las fuerzas policiales. Las patrullas juegan un papel importante en la seguridad pública y el diseño de sus territorios de cobertura impacta significativamente en la efectividad de sus operaciones. Los límites de patrullaje para cada unidad permiten responder a incidentes, disuadir y previniendo delitos.

En muchas ocasiones los departamentos policiales utilizan soluciones empíricas apoyadas en la experiencia de sus representantes lo cual no garantiza los mejores resultados. Para intentar revertir esta situación en la literatura se han aplicado métodos de solución más complejos basados en modelos de investigación de operaciones.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: El objetivo de la investigación es diseñar los territorios a cubrir por las patrullas de policías. Para ello, se utiliza como herramienta un modelo matemático que busca asignar los recursos policiales en los lugares de mayor incidencia delictiva dentro de la red analizada, aumentando su visibilidad y garantizando la cobertura en el tiempo establecido. El caso de estudio se lleva a cabo en el municipio de San Nicolás de los Garza y se desarrollan diferentes escenarios.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Los diferentes experimentos que se realizaron proponen una asignación de las patrullas de tal forma que se garantice una mayor presencia y una respuesta efectiva ante cualquier incidente. Se demostró que a medida que se aumente el número de patrullas la presencia y visibilidad serán mayores y se pueden disminuir los tiempos de respuesta.

Con los recursos actuales que cuenta el municipio de San Nicolás de los Garza es imposible cumplir con la norma de la ONU que establece que debe existir un agente policial por cada 300 habitantes. Sin embargo, lo más importante es gestionar los recursos de forma efectiva.

Con los recursos actuales de aproximadamente 60 patrullas se puede garantizar un tiempo de respuesta de hasta 6 minutos según los resultados obtenidos formándose un total de 10 territorios estando sus comandos móviles en los distritos con mayores índices delictivos. Si se aumenta a 80 las patrullas disponibles es posible una respuesta en 4 minutos que ya es un excelente indicador.

La implementación de los resultados obtenidos puede tener grandes beneficios sociales ofreciendo una mayor satisfacción de la población del municipio de San Nicolás de los Garza. Además, la herramienta puede ser replicada a otros casos de estudios con características similares, realizando los ajustes pertinentes.

Firma del asesor: _____

Jania Astrid Saucedo

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La Cadena de Suministro es definida por el Consejo de Profesionales de Gestión de la Cadena de Suministro como los intercambios de materiales e informativos en el proceso logístico que abarca desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de productos terminados al usuario final (CSCMP, 2013).

Según Chopra y Meindl (2006), una Cadena de Suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente e incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (o menudeo) e incluso a los mismos clientes.

De forma general se puede entender por Cadena de Suministro al ciclo de vida de un producto o servicio, desde que se concibe hasta que se consume. Esta secuencia está formada por diversos eslabones en los que participan los actores antes mencionados que trabajan de forma conjunta para satisfacer las necesidades del consumidor.

Por su parte la Logística es el proceso de planificación, implementación y control de procedimientos para la eficiencia y efectividad del transporte y almacenamiento de bienes, incluidos servicios, e información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el fin de cumplir con los requisitos del cliente,

siendo la gestión logística un proceso dentro de la Cadena de Suministro (CSCMP, 2013).

La logística ha evolucionado en el transcurso de los años y paralelamente a ello durante las últimas décadas la población mundial se ha concentrado cada vez más en los centros urbanos, surgiendo desafíos para los logísticos que buscan atender la demanda de los clientes de manera eficiente y efectiva.

En particular, las empresas pueden verse obligadas a reevaluar sus prácticas de logística cuando se trabaja con proveedores y clientes ubicados en zonas urbanas, enfrentando factores externos como las presiones de la urbanización, así como las regulaciones existentes lo que apunta a un conflicto de intereses entre las partes interesadas públicas y privadas.

La seguridad en las ciudades, los problemas del tráfico y la congestión, y las nuevas oportunidades tecnológicas disponibles se presentan como un reto a la calidad de los espacios urbanos (Lagorio y Ruggero, 2015).

La necesidad de adoptar una postura integral que globalice la planificación y gestión urbana provoca la aparición de la Logística Urbana como disciplina capaz de considerar de forma conjunta todas las operaciones y servicios presentes en la ciudad.

Un antecedente de la Logística Urbana es el libro de Larson y Odoni (1981) sobre investigación operativa urbana y aportes de autores como Dagazno (1994) y Dufour y Parier (1999) que la definen como “el arte, para las colectividades urbanas, de gobernar los flujos de bienes que le conciernen, o mejor para conseguir sus objetivos generales”.

Para Robusté *et al.* (2000), la Logística Urbana además de los temas tradicionales como el transporte de mercancías en las ciudades debe incluir el transporte urbano en todas sus acepciones (transporte público, tráfico, aparcamientos, peatones, motos y bicicletas), los servicios de correos, los servicios de limpieza, riego y

mantenimiento de calles, la recogida de basuras, los servicios de respuesta rápida (policía, bomberos, asistencia médica), las operaciones de mantenimiento de las redes de infraestructuras básicas urbanas, la gestión de parques y jardines, los servicios de nueva generación derivados del avance tecnológico en informática y telecomunicaciones (venta vía telefónica y el comercio a través de internet o *e-commerce*); así como los servicios urbanos básicos, como son las redes de agua, electricidad, gas y teléfono.

Siguiendo las consideraciones de estos autores se puede reflexionar que son muy aceptadas a partir de la lógica de su justificación de comprender bajo una misma perspectiva toda esta serie de operaciones y servicios urbanos diferenciados e independientes, pero con un funcionamiento similar; producción y entregas justo a tiempo, entregas en ventanas temporales, servicio a diario, adecuación de servicios a patrones de demanda, previsiones y prioridades. Además, consideran la incidencia de todos ellos en el viario público, de ahí la necesidad de integrarlos.

Haciendo énfasis en el servicio de respuesta rápida de patrullas de policía se puede hacer una pequeña comparación con la logística comercial, tomando a la persona que requiere el servicio policial como un cliente sería idéntico todo el proceso a llevar a cabo en materia de red de distribución y su localización que en el caso que demande un producto comercial, con la particularidad que el tiempo de entrega sería menor cuando se trate de un servicio de emergencia.

Estableciendo un análisis de los puntos de mayor conflicto se puede determinar hasta cierto punto una demanda de servicios de emergencia de la misma forma que se analiza la demanda de los productos comerciales. De esta forma se podrían utilizar métodos semejantes para resolver problemas de respuesta rápida de patrullas de policías y problemas de optimización y transporte de mercancías.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad en México existe gran preocupación debido a la elevada inseguridad que afecta a la población, por ello el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realiza la Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana (ENSU) para proporcionar estimaciones de la percepción de seguridad pública en las zonas urbanas de las personas mayores de 18 años. Esta herramienta se aplica trimestralmente y toma como referencia 67 ciudades de interés en todo el país.

Considerando los resultados de la ENSU en 2018, la población identificó las problemáticas que más les afectaban en sus ciudades, considerando el 67.8% de los ciudadanos que se sienten víctimas de la delincuencia reflejada en robos, extorsiones, secuestros, fraudes, etc. Los lugares donde coinciden un mayor número de personas son donde se manifiesta con mayor frecuencia, siendo estos los cajeros automáticos, transporte público, bancos, carreteras, parques y mercados (INEGI, 2019).

En México según la INEGI (2019) existen varias autoridades encargadas de la seguridad pública: la Marina, el Ejército, la Gendarmería Nacional, la Policía Federal, la Policía Estatal y la Policía Preventiva Municipal; siendo esta última la encargada de cuidar el orden público en los municipios para proteger la integridad, patrimonio y derechos de sus habitantes previniendo el delito y vigilando el tránsito de vehículos en carreteras y caminos vecinales.

La ENSU manifiesta que de todas las autoridades la que tiene un menor desempeño es la Policía Preventiva Municipal, considerada efectiva solo por el 39.4% de la población, resultando una situación preocupante dado que es la autoridad que se encuentra de manera más directa vinculada a la población (INEGI, 2019).

El tiempo de respuesta es considerado la principal medida de desempeño de la policía; las personas se sienten satisfechas cuando las autoridades llegan con rapidez al lugar donde ocurre un incidente (Demers y Langan, 2016).

El diseño de la red de cobertura de manera eficiente ayuda a mejorar los tiempos de respuesta siendo una oportunidad para enfrentar las problemáticas que afectan a la población en la actualidad.

La Policía Preventiva Municipal en la actualidad realiza el diseño de las zonas de patrullajes, denominadas por los encargados como zonas de comando, de manera manual. Por ello existe en los habitantes inconformidad en cuanto a su servicio prestado, existiendo demoras en su respuesta ante la ocurrencia de incidentes delictivos. Además, en algunos lugares su presencia es limitada y son zonas donde existen altos índices delictivos. Debido a esta situación se hace necesario proponer un diseño de las zonas de comando.

1.2 OBJETIVO

Diseñar los territorios a cubrir por las patrullas de policía utilizando una herramienta matemática que permita aumentar su presencia y visibilidad; así como la asistencia a los incidentes en el tiempo determinado.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de la bibliografía utilizada para el diseño de territorios de cobertura en los servicios de emergencia.
- Proponer el diseño de territorios de cobertura para aumentar la presencia de las patrullas de policías.
- Realizar la validación de la herramienta utilizada mediante la experimentación en un caso de estudio.

1.3 HIPÓTESIS

Si se implementa una herramienta matemática para el diseño de territorios de cobertura entonces se espera aumentar la presencia y visibilidad de las patrullas de policías; y su respuesta a incidentes en el tiempo determinado.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La preocupación de los ciudadanos por su seguridad es expuesta en la ENSU y denota que el 73.7% de la población se siente insegura en sus ciudades, siendo el sector femenino el más vulnerable a las incidencias delictivas. Otro dato que resulta relevante muestra un aumento en los últimos años de la percepción de que la delincuencia seguirá igual de mal o empeorará con el transcurso del tiempo, el 48.4% de los encuestados en diciembre del 2018 consideran que no se revertirá la situación, lo cual está dado por el pobre desempeño de las autoridades (INEGI, 2019).

Los datos registrados por el INEGI (2017) (ver Tabla 1.1) corroboran que en los últimos años la situación en el país no ha tenido mejorías siendo un alto porcentaje de la población víctima de la delincuencia.

Tabla 1.1: Incidencia delictiva en México

Índice delictivo cada cien mil habitantes							
Años	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total nacional	26,732	30,453	32,804	35,137	30,875	32,441	34,102

Fuente: Tomado de(INEGI, 2017).

Las autoridades encargadas de los departamentos policiales en la mayoría de las ocasiones planifican los recursos basados en conocimientos empíricos que no ofrecen buenas soluciones. Es más efectivo utilizar herramientas que tengan un soporte matemático, como las investigaciones de Sher *et al.* (2008), Jong *et al.* (2001) y Adler *et al.* (2013) que utilizando este tipo de técnicas logran mejoras en el servicio

policial en sus respectivos países. Sin embargo, es un tema en el cual no existe un gran número de investigaciones, no encontrándose estudios relacionados en México.

Algunas disciplinas como la Logística Urbana pueden atacar el problema de la seguridad pública, pero a pesar de que se ha investigado durante varios años, el tema aún está evolucionando y la mayoría de los documentos están enfocados al ruteo y la distribución del transporte en las ciudades, existiendo en menor medida trabajos en otras áreas como la planificación urbana y los servicios de emergencias (Lagorio y Ruggero, 2015).

Como parte de las estrategias de los departamentos de policía la creación de zonas para determinar los límites de patrullaje de cada unidad es una buena alternativa para diseñar la cobertura de la red mejorando los tiempos de respuesta a incidentes.

Debido a los argumentos antes expuestos que demuestran el pobre desempeño de las autoridades policiales en todo el país, no siendo la excepción el estado de Nuevo León que registra 978 104 personas víctimas de algún delito en el año 2016 según el INEGI (2017), es importante esta investigación que realiza el diseño de cobertura de patrullas basado en herramientas matemáticas para ayudar a mejorar la seguridad de los ciudadanos.

1.5 METODOLOGÍA

Como parte de la metodología a seguir en la presente investigación se realiza un diagnóstico de la problemática existente, en cuanto a la percepción de la seguridad pública por parte de los ciudadanos, lo cual contribuye a seleccionar el tema de tesis, siendo de interés por su impacto en la sociedad.

En la investigación se aplica un modelo matemático como herramienta cuantitativa, que permite cumplir el objetivo descrito anteriormente.

La metodología propuesta se basa en Hillier y Lieberman (2010), que proponen seis etapas para resolver un problema a través de la investigación de operaciones. Las cuales parten de la definición del problema de interés, para luego desarrollar la formulación matemática del mismo y obtener una solución al modelo planteado con la ayuda de un software especializado, en este caso se utiliza el GAMS.

Como parte de las etapas de la metodología se realizan pruebas para validar que el modelo diseñado ofrezca valores lógicos, y una vez que el modelo cuenta con una solución factible se interpretan los resultados matemáticos para llegar a la última etapa de implementación y finalmente se informan y capacitan a las personas involucradas en el proceso para la obtención de los beneficios esperados.

Todo lo anterior unido al estudio bibliográfico realizado permite contribuir a la proposición de mejoras, así como incluir aportaciones y recomendaciones para trabajos futuros relacionados con la temática.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente trabajo de tesis está estructurado en cinco capítulos, en el primer capítulo se desarrolla la introducción, donde se define el problema a resolver, su justificación y alcance.

En el segundo capítulo se revisan los antecedentes del problema planteado, donde se identifican los principales conceptos relacionados con la temática abordada, además de los métodos y herramientas más utilizadas en la literatura con sus ventajas y desventajas.

En el capítulo 3 se expone la metodología a desarrollar, detallando cada una de las etapas de la misma, así como el modelo matemático utilizado. La experimentación y análisis se realiza en el capítulo 4 para lo cual se utiliza un caso de estudio real.

Por último, en el capítulo 5 se analizan los resultados y se exponen las conclu-

siones y consideraciones finales.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Uno de los principales objetivos del Estado son la protección del patrimonio y la integridad física de las personas, elementos fundamentales para consolidar la normalidad de la convivencia social y promover el desarrollo humano sustentable.

Las patrullas policiales juegan un papel importante en la seguridad pública respondiendo a incidentes, disuadiendo y previniendo delitos. Pueden dar una sensación de seguridad a las personas que necesitan protección y desalentar a quienes puedan cometer delitos (Zhang y Brown, 2014).

El diseño de las zonas de patrullaje policial puede impactar significativamente en la efectividad de sus operaciones. Las áreas que definen cada zona y los recursos que deben asignarse a cada una de ellas determinan los tiempos de respuesta de emergencia. Los tiempos de respuesta son una medida de desempeño de gran importancia para las patrullas de policías y para ser mejorados se crean modelos de cobertura a partir de métodos de investigación de operaciones.

En este capítulo se realiza una revisión del estado del arte de los temas antes mencionados que están relacionados con la investigación actual.

2.1 SEGURIDAD PÚBLICA

Desde hace varios años el tema de la seguridad pública está en el centro del debate en México. En el ámbito social la seguridad ha pasado a ser objeto de análisis y crítica constantes siendo una de las reclamaciones más resentidas de la ciudadanía evidenciando la necesidad de ser atendida de manera eficiente y oportuna por el Gobierno. Estas exigencias de la población se respalda en los índices de inseguridad percibidos en todos los lugares del país (ver figura 2.1).

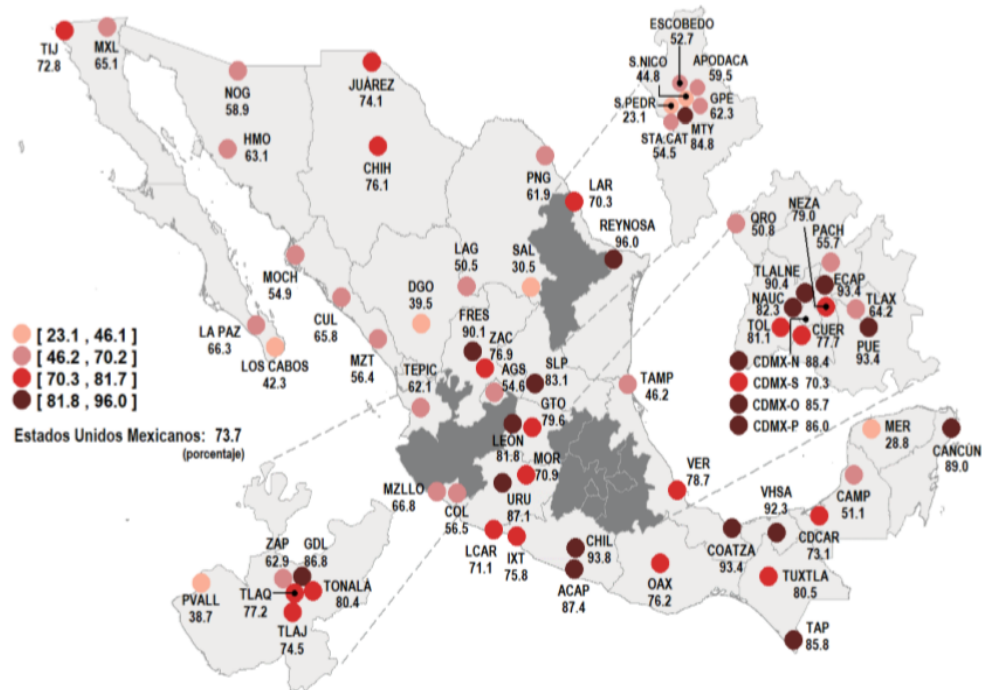


Figura 2.1: Percepción social sobre inseguridad pública

Fuente: (INEGI, 2019)

La seguridad pública forma parte esencial del bienestar de una sociedad, generando las condiciones que permiten al individuo realizar sus actividades cotidianas con la confianza de que su vida y sus bienes están ajenos de todo peligro. Dentro de la sociedad mexicana la delincuencia ocupa un lugar cimero entre las problemáticas que de forma general afectan a un mayor número de personas (ver figura 2.2),

viéndose reflejada en robos, extorsiones, fraudes, secuestros, etc.

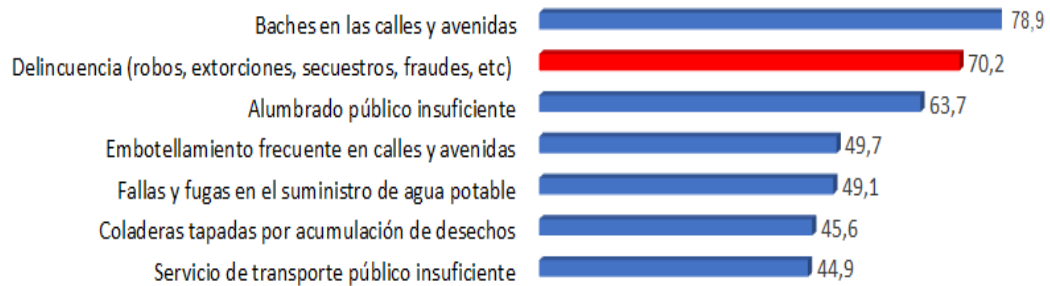


Figura 2.2: Porcentaje de la población que identifica las problemáticas que le afectan

Fuente: (INEGI, 2019)

Existen lugares donde ocurre con mayor frecuencia los incidentes delictivos (ver figura 2.3), siendo estos principalmente donde coinciden un mayor número de ciudadanos como es el caso del transporte público. Además, existen lugares propicios para cometer este tipo de hechos como los cajeros automáticos y los bancos. Estos sitios mencionados demandan de una mayor atención de las autoridades encargadas de proporcionar la seguridad pública.

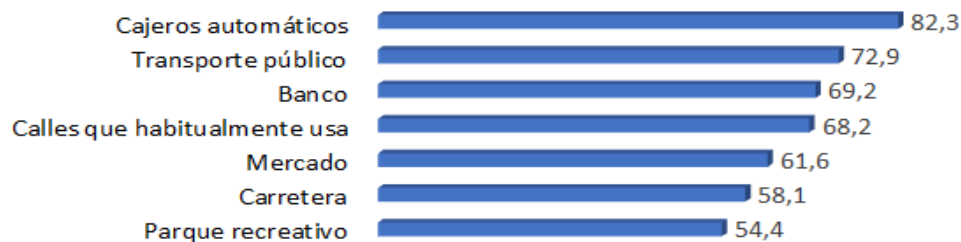


Figura 2.3: Porcentaje de la población que se siente insegura por tipo de lugar

Fuente: (INEGI, 2019)

La Constitución en el artículo 21 a partir de la reforma de diciembre 31 de 1994 establece que: “la Federación, el Distrito Federal, los Estados y los Municipios, se coordinarán, en los términos que la ley señale”, para establecer un Sistema Nacional de Seguridad Pública. La voluntad del legislador, integrado por senado-

res y diputados del parlamento fue establecer canales permanentes de articulación institucional, que permitan una mayor eficacia operacional (González, 2002).

En México, la Policía Preventiva Municipal y la Policía Estatal son las encargadas de la seguridad de los ciudadanos y el control de la delincuencia, siendo responsables del patrullaje y la vigilancia de las ciudades; teniendo a la Policía Federal como auxiliar en situaciones que requieran una mayor disposición de efectivos. En una escala superior se encuentran las Fuerzas Armadas de México formada por el Ejército, la Fuerza Área y la Marina constituidas legalmente para garantizar la defensa del territorio y soberanía nacional; además de colaborar con las autoridades para auxiliar a la población en situaciones de emergencia social.

Según la INEGI (2019), la Policía Preventiva Municipal es la que cuenta con un menor desempeño entre todas las autoridades (ver figura 2.4), surgiendo la necesidad de tomar medidas para mejorar sus indicadores.

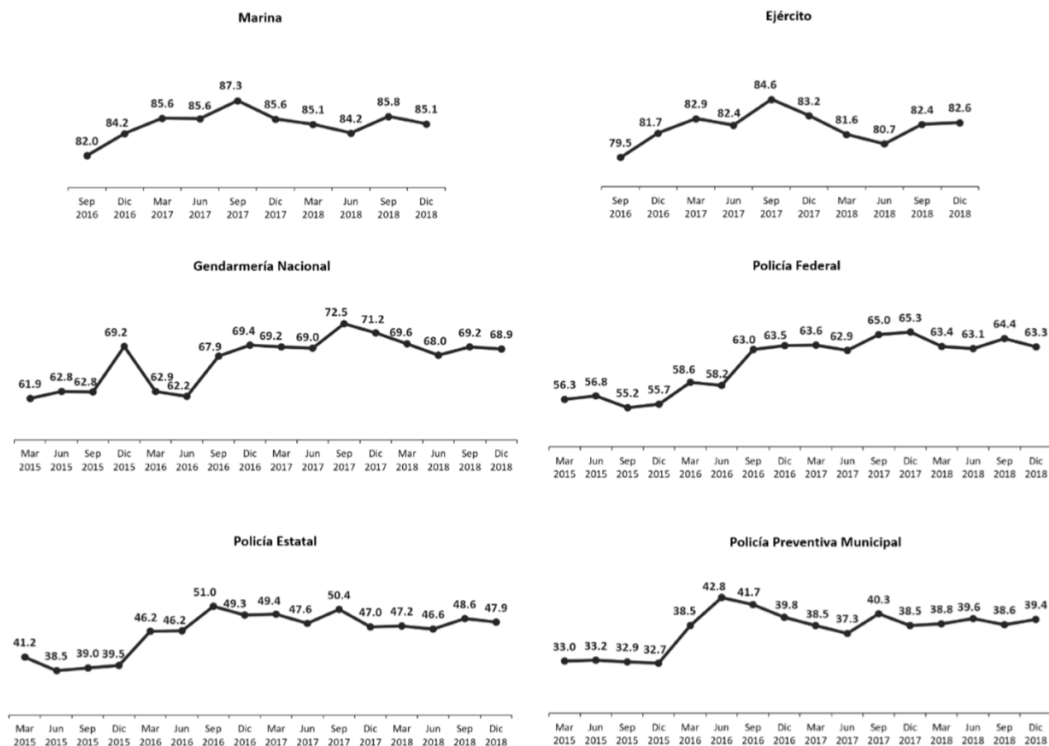


Figura 2.4: Desempeño de las autoridades de seguridad pública

Fuente: (INEGI, 2019)

El desempeño de las organizaciones policiales interesa no solo a la policía y administradores, sino también a los ciudadanos. La eficiencia de las organizaciones policiales en un vecindario puede ser una medida de éxito para la organización y los administradores, pero representa más para los ciudadanos que viven en ellos, significando un lugar más seguro para vivir y una mayor calidad de vida.

Las patrullas son un elemento indispensable dentro de los departamentos de policía, pues son encargadas de la prevención del crimen, la aprehensión criminal, el cumplimiento de la ley y el control de tráfico.

2.1.1 PATRULLAS DE POLICÍAS

Las principales funciones de un departamento de policía incluyen lo siguiente: proteger la vida y la propiedad, hacer cumplir las leyes, prevenir el crimen, preservar la paz, arrestar a los infractores, y servir al público.

El control del delito, uno de los principales deberes de la aplicación de la ley, se lleva a cabo a través de los servicios de oficiales de patrulla. Para ello se requiere tener la cantidad de efectivos necesarios y gestionarlos de manera correcta. La Organización de Naciones Unidas (ONU) recomienda una normativa de que debe de existir un policía por cada 300 habitantes (ONU, 2012). En México solo 7 estados cumplen con esta normativa esperada (ver figura 2.5).

Se evidencia la necesidad de gestionar los recursos de forma adecuada pues el Distrito Federal cumple ampliamente con este rubro y a pesar de ello tiene de los índices más altos de delincuencia en el país (ver figura 2.3), así como los niveles de desempeño más bajos de los policías.

El tiempo de respuestas de la policía es universalmente calificado como el principal elemento de los ciudadanos para medir su desempeño. Cuando la policía llega más tarde de lo esperado, los ciudadanos es más probable que estén insatisfechos,

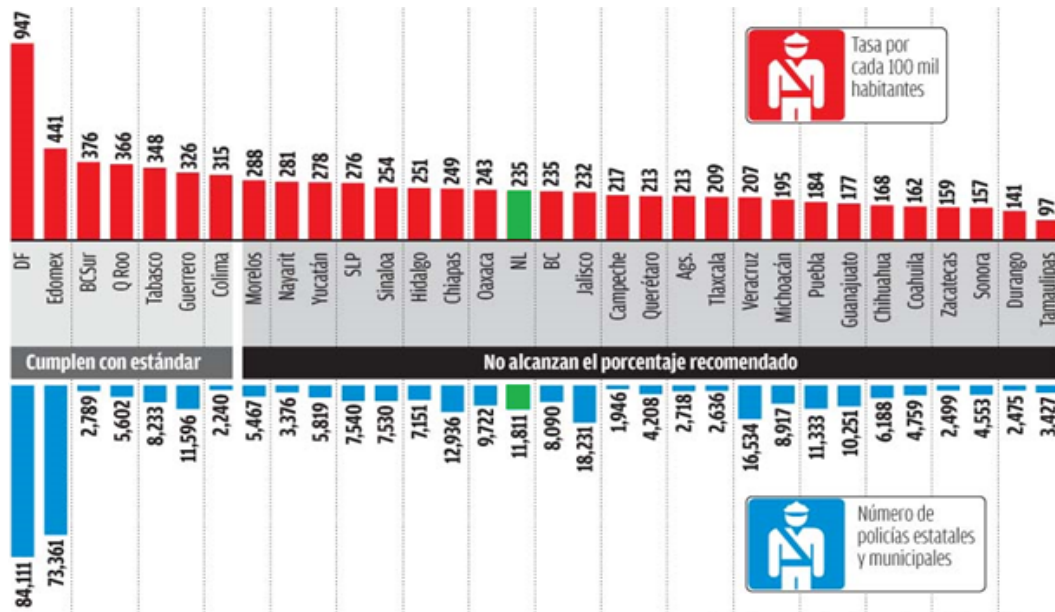


Figura 2.5: Tasa de policías cada 100 000 habitantes

Fuente: (ONU, 2012)

especialmente cuando sienten que una respuesta policial más rápida podría haber alterado el resultado del incidente (Demers y Langan, 2016).

Thorndyke (2015) plantea que cuanto más rápido los oficiales llegan al lugar de los incidentes es más probable que puedan ubicar y detener al sospechoso. Además, Cihan y Hoover (2012) afirman que la ocurrencia de más arrestos conduce a una disminución de la delincuencia.

En su investigación, Coupe y Blake (2005) plantearon que varias características, incluido el tiempo de respuesta y la carga de trabajo por oficial, contribuyeron al arresto de los sospechosos de robo.

Las consideraciones de estos autores demuestran la importancia de las patrullas de policías y su respuesta de manera rápida cobrando gran relevancia en México si se tiene en cuenta los registros de robos en sus diferentes denominaciones reflejados por el INEGI (2019), (ver tabla 2.1). Como se aprecia el número de robo ha aumentado en el transcurso de los años evidenciando la necesidad de tomar medidas al respecto.

Tabla 2.1: Robos registrados cada 100 000 habitantes

Denominación	2015	2016	2017
Robo o asalto en la calle o transporte público	9,995	9,599	11,081
Robo parcial de vehículo	3,457	3,611	3,755
Robo en casa habitación	2,496	2,437	2,745
Robo total de vehículo	547	589	733
Robo en forma distinta a las anteriores	1,318	1,882	1,782
Total	17,813	18,118	20,096

Fuente: Tomado de(INEGI, 2017).

Teniendo en cuenta los criterios revisados se pueden resumir algunas de las ventajas de la respuesta rápida a incidentes a continuación:

- Mejora las posibilidades de captura del delincuente en la escena o en una distancia cercana.
- Aumenta las posibilidades de identificar y localizar testigos.
- Facilita una recolección inmediata de evidencia física.
- Proporciona primeros auxilios de manera inmediata.
- Mejora la reputación del departamento de policía.
- Crea satisfacción de los ciudadanos con la policía.

Para tener un menor tiempo de respuesta y obtener estos beneficios se establecen zonas de patrullaje como un método de gestión estándar para generar una distribución equitativa y una utilización más eficiente del personal.

2.1.2 ZONIFICACIÓN DE PATRULLAS

Generalmente una ciudad se divide en zonas de comando (formadas normalmente por zonas de patrullaje) para gestionar y supervisar las operaciones de las

patrullas de policía. Estas divisiones son un problema geográfico y si se realizan de forma óptima pueden distribuir eficientemente los recursos policiales y aumentar el número de incidentes cubiertos reduciendo los tiempos de respuesta.

Las zonas de patrullaje deben ser diseñadas de manera racional y sistemática y se deben considerar varios factores para su diseño como:

- El tamaño del área a ser patrullada no debe exceder el límite que un solo oficial puede cubrir.
- Barreras naturales o artificiales, (ríos, vías férreas, carreteras, valles etc.).
- Indicadores de carga de trabajo (incidentes criminales y patrones de tráfico).

Por otro lado, en la literatura autores como Bucarey López (2014), han establecido algunas características básicas que se deben tomar en cuenta para diseñar los territorios, no siendo estas desapercibidas en el desarrollo de la tesis. Los criterios se mencionan a continuación:

Asignación única (integridad espacial): Cada zona básica se debe asignar únicamente a un solo territorio. En el caso de la investigación estas unidades básicas son los distritos que conforman el municipio, definiéndose los territorios por conjuntos distintos de distritos.

Homogeneidad (balance o equilibrio): Es importante que los territorios estén balanceados con respecto a una medida de actividad. Lo antes mencionado se establece a partir de la restricción que contempla la cantidad de habitantes que debe ser atendida por un agente policial.

La contigüidad (conectividad): Esto implica que entre las zonas básicas pertenecientes al territorio existe una ruta que las comunique, compuesta exclusivamente por zonas colindantes entre sí. La contigüidad es definida en la tesis a partir de una matriz entre los distritos, tomando el valor de 1 si tienen al menos un punto de contacto.

Compacidad: Los territorios deben ser geográficamente compactos. Esto significa que la distancia entre las zonas básicas dentro de un mismo territorio debe ser pequeña y las figuras geométricas de los territorios relativamente regulares. En la investigación el tiempo de recorrido es definido a partir del máximo tiempo de respuesta que se quiere alcanzar. Debido a las características tanto del municipio como de los distritos los cuales forman polígonos irregulares y diferentes entre sí no se considera que los territorios tengan un aspecto geométrico similar.

La zonificación determina los límites de patrullaje para cada unidad y es una de las importantes estrategias de asignación de recursos del departamento de policía para diseñar la cobertura de la red (Amico *et al.*, 2002).

2.2 MODELOS DE COBERTURA

Los modelos de cobertura se basan en el concepto de proximidad aceptable. En los modelos de cobertura, un valor máximo es preestablecido para la distancia o el tiempo de viaje. Un servicio es proporcionado por un recurso si el cliente está localizado dentro de este máximo.

Por su parte un cliente es considerado cubierto por el servicio si tiene una instalación ubicada dentro de la distancia o tiempo permitido.

2.2.1 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Los modelos de cobertura han sido resueltos con diferentes métodos de solución, desde más simples a más complejos. En muchas ocasiones son resueltos con soluciones empíricas que no tienen ningún fundamento matemático, se basan en la experiencia de los encargados de la planificación.

Por otro lado, se encuentran las soluciones cuantitativas que es un proceso

ordenado mediante el cual se van desarrollando una serie de pasos para la toma de decisiones con una estrategia orientada a la obtención de respuestas adecuadas al problema planteado, este tipo de soluciones usualmente tienen un argumento matemático.

2.2.1.1 HERRAMIENTAS CUALITATIVAS

La mayoría de los departamentos de policía crean los límites geográficos basados en la experiencia de un oficial o administrador del área total a ser patrullada. Históricamente, fueron dibujados a mano con base a los conocimientos del departamento de policía (Zhang y Brown, 2013).

La limitación que presenta dibujar a mano es que el ser humano está limitado en el número de opciones que pueden considerar y en su evaluación formal de las alternativas. Cada alternativa representa una posibilidad diferente en términos de carga de trabajo y tiempos de respuesta y evaluándolos de forma manual puede consumir mucho tiempo.

La evaluación manual es particularmente difícil ya que tanto la carga de trabajo como los tiempos de respuesta son variables. Esta incapacidad para medir la eficiencia de las alternativas distritarias significan que los métodos manuales no son apropiados.

Otro método muy utilizado en estos casos es prueba y error, que consiste en realizar movimientos según se vayan detectando los problemas, hasta obtener la mejor solución. Estos métodos provocan que los recursos no sean utilizados de manera correcta. Por tanto se necesitan buenos métodos matemáticos para crear la solución que impacte positivamente en la toma de decisiones por parte de la policía.

En la actualidad, la policía preventiva municipal crea sus zonas de patrullaje utilizando este tipo de métodos, a partir de las experiencias y decisiones tomadas por sus administradores.

2.2.1.2 HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS

Para diseñar la cobertura de la red en la literatura se han desarrollado modelos de investigación de operaciones, dado que en muchos casos los recursos de la policía son limitados, por tanto, hay un interés evidente en brindar seguridad a un costo mínimo.

Los problemas han sido resueltos por métodos exactos, y debido a la complejidad de algunos de ellos se han desarrollado heurísticas y metaheurísticas que ofrecen buenas soluciones. También se ha aplicado la simulación matemática sobre todo en modelos con comportamiento estocástico o de un gran número de variables.

Los modelos de cobertura se pueden clasificar según varios criterios. Uno de ellos es el tipo de objetivo, que permite distinguir dos tipos de formulaciones. En primer lugar, aquellos que buscan minimizar la cantidad de instalaciones necesarias para una cobertura completa de la población conocidos como Problema de Cobertura de Conjuntos (SCP) y, en segundo lugar, aquellos que maximizan la cobertura población, dado un número limitado de instalaciones o servidores conocido como Modelo de Máxima Cobertura de Localizaciones (MLCP).

Los modelos de cobertura también se pueden clasificar en formulaciones para sistemas con servidores fijos y sistemas con servidores móviles. A su vez, cualquiera de estos puede ser clasificado como capacitados o no capacitados, dependiendo de los límites de capacidad de las instalaciones o servidores a ubicar.

Existen dos modelos básicos de cobertura el modelo SCP, planteado como una formulación de programación lineal por Toregas *et al.* (1971). Este modelo busca ubicar un número mínimo de servidores necesarios para obtener cobertura obligatoria de todas las demandas. Es decir, que cada punto de demanda tiene al menos un servidor ubicado a cierta distancia o tiempo estándar determinado.

Church y ReVelle (1974) formularon el segundo modelo básico, conocido como MCLP. Este modelo reconoce que la cobertura de todos los clientes en algunas

ocasiones podría requerir recursos excesivos. Por lo tanto, MCLP no obliga a la cobertura de toda la demanda, sin embargo, busca la ubicación de un número fijo de instalaciones de tal manera que se maximiza la demanda cubierta por el servicio. Este modelo puede resultar útil cuando se tienen recursos limitados.

La formulación del modelo SCP es la siguiente:

$$\min z = \sum_{j \in J} x_j \quad (2.1)$$

$$s.a : \sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (2.3)$$

donde:

I = El conjunto de clientes $i \in I$.

J = El conjunto de instalaciones potenciales (ubicaciones) $j \in J$.

N_i = $\{i \in I \mid d_{ij} \leq S\}$, donde d_{ij} es la distancia más corta desde el cliente $i \in I$ a la ubicación $j \in J$ y S es la distancia máxima permitida.

x_j = Variable binaria, toma el valor de 1 si una instalación $j \in J$ es habilitada, y 0 en caso contrario.

El objetivo (2.1) es minimizar el número de instalaciones asignadas. La restricción (2.2) establece que la demanda en cada cliente $i \in I$ debe ser cubierta por al menos un servidor ubicado dentro del tiempo o la distancia estándar S . La restricción (2.3) son las restricciones lógicas o de estado.

La formulación de programación entera del MCLP es la siguiente:

$$\max z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (2.4)$$

$$s.a : \quad y_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i \in I \quad (2.5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (2.6)$$

$$x_j, y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.7)$$

donde:

$I =$ El conjunto de ubicaciones de incidentes conocidos o llamadas para servicio $i \in I$.

$J =$ El conjunto de lugares potenciales para los centros de mando de patrullas policiales $j \in J$.

$a_i =$ Peso o prioridad de los incidentes de delitos en la ubicación $i \in I$.

$p =$ El número de áreas de patrullas policíacas disponibles en cada instalación.

$N_i = \{i \in I \mid d_{ij} \leq S\}$, donde d_{ij} es la distancia más corta desde la ubicación del incidente $i \in I$ al centro de mando de patrullas policiales $j \in J$ y S es la distancia máxima permitida para la cobertura.

$x_j =$ Variable binaria, toma el valor de 1 si una patrulla está localizada en el sitio potencial $j \in J$, y 0 en caso contrario.

$y_i =$ Variable binaria, toma valor de 1 si un lugar de incidencia $i \in I$ está cubierto por al menos una patrulla, y 0 en caso contrario.

El objetivo (2.4) es maximizar los pesos de los incidentes servidos. La restricción (2.5) establece que una ubicación $i \in I$ de incidentes conocidos será considerada cubierta si al menos existe un servidor ubicado dentro del tiempo o la distancia estándar. La restricción (2.6) que se ubiquen únicamente las patrullas disponibles. La restricción (2.7) son las restricciones lógicas o de estado.

En la literatura se han presentado varios modelos de cobertura como extensiones más complejas de los típicos antes mencionados, Li *et al.* (2011) en su revisión

aborda algunos de ellos, incluyendo el Doble Modelo Estándar (DSM), Modelo de Ubicación de Cobertura Máxima Esperada (MEXCLP), y el Problema de Ubicación Máxima Disponible (MALP).

Los modelos de cobertura tienen gran aplicabilidad en la vida real, especialmente para instalaciones de servicio y emergencia. Muchos de los problemas buscan como determinar el número y ubicaciones de los servidores públicos (Farahani *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta la naturaleza del problema se han desarrollados diferentes métodos de solución de forma óptima o aproximada. A continuación se muestran algunos ejemplos donde se han aplicado este tipo de soluciones.

Métodos exactos

El uso de la optimización relacionada con el funcionamiento de la policía se ha resuelto mediante programación lineal entera aplicando la idea del MCLP formulado por Church y ReVelle (1974) y del SCP planteado por (Toregas *et al.*, 1971) .

El problema de ubicación de las instalaciones busca un conjunto óptimo de ubicaciones de las instalaciones para satisfacer objetivos predefinidos mientras está sujeto a ciertas restricciones dadas. Objetivos típicos incluyen la minimización de los costos o tiempos de viaje, la maximización de la cobertura espacial o la combinación de ambos tipos de restricciones en los problemas de optimización de ubicación van desde la disponibilidad de presupuesto, tiempo, recursos, requerimiento de demanda y conectividad espacial entre diferentes ubicaciones o nodos.

Es importante señalar que los planes de despliegue de una serie de instalaciones urbanas (por ejemplo, estaciones de policía, oficinas, terminales de transporte público, etc.) en la práctica generalmente no están optimizados (Curtin *et al.*, 2007).

Jong *et al.* (2001) adoptan una formulación de minimización de distancia que busca un óptimo plan de localización de las comisarías de policía con la aplicación de sistemas de información geográfica para una región en Sudáfrica. Sher *et al.* (2008)

con su objetivo de maximizar la cobertura logran un aumento del 5% en el área cubierta asociada con el mismo número de vehículos de emergencia con el uso de técnicas de optimización (programación lineal) en la ubicación de los vehículos.

Por su parte Curtin *et al.* (2007) presentan un problema de optimización de ubicación que maximiza el área cubierta con un número determinado de oficiales de policía. Para diseñar la cobertura de la red en la literatura se han desarrollado modelos de investigación de operaciones, dado que en muchos casos los recursos de la policía son limitados, por tanto, hay un interés evidente en brindar seguridad a un costo mínimo.

Heurísticas y metaheurísticas

Debido a la complejidad del MCLP se recurre al uso de heurísticas innovadoras para su solución. Según Golden *et al.* (1980) estos métodos de solución se pueden categorizar en dos clases : algoritmos de construcción y algoritmos de mejora.

Los algoritmos de construcción intentan construir una buena solución desde el principio. Un ejemplo es el algoritmo miope presentado en Daskin (2013), donde las decisiones se toman utilizando únicamente la información disponible en cada paso sin tener en cuenta los efectos que puedan tener en el futuro.

Un algoritmo de mejora conocido es el de sustitución (basado en el intercambio), introducido por primera vez por Teitz y Bart (1968). Este método se basa en el intercambio de instalaciones predeterminadas con no instalaciones. Si hay una mejora de la función objetivo después del intercambio, se realiza y el procedimiento se repite.

Mitchell (1972) presenta un modelo de optimización de ubicación de las instalaciones que minimiza las distancias entre servicio y llamadas esperadas en el área de Anaheim, California. Los algoritmos de solución heurística aplicados conducen a una reducción de 13% a 24% en distancias de respuesta promedio sobre el caso existente.

Por su parte, Whitaker (1983) introduce una heurística de intercambio rápido, que es una mejora del algoritmo de sustitución. La ventaja de este algoritmo es que ubica mejor candidato en tiempo polinomial $O(n)$, donde n es el número de instalaciones disponibles.

En los últimos tiempos, Berman y Krass (2005) proponen un enfoque de programación entera (IP). Su nueva formulación conduce a una mejora en el tiempo de computación. Para resolver incluso problemas más grandes. Jia *et al.* (2007) desarrollan un método de algoritmo genético. Berman *et al.* (2009) extienden la formulación de cobertura máxima, donde algunas de las funciones de costos pueden ser negativo para dar cuenta de algunos puntos que se consideran como instalaciones rigurosas.

En el caso específico de las patrullas policiales Camacho y Liberatore (2015) proponen un modelo para el diseño de áreas de patrullaje predictivo probado con un estudio en el Distrito Central de Madrid. Dado que el tiempo computacional es crítico para este problema y el usuario espera una solución en un tiempo razonable los autores desarrollaron un Algoritmo de Búsqueda Adaptativa Aleatoria Codiciosa (GRASP).

Simulación

La simulación de eventos discretos se ha utilizado en la optimización de las operaciones de *Emergency Response Systems* (ERS). Zhang y Brown (2013) enfatiza el tiempo de respuesta de los parámetros de rendimiento clave para ser incluido entre las medidas de rendimiento más típicas de un servicio de patrulla policial, e investiga la calidad del servicio en los sistemas del servicio de patrulla policial alternando períodos moderados con poco personal y exceso de personal mediante simulación. Zhang y Brown (2013), utilizan un modelo de simulación basado en agentes para evaluar las estrategias de redistribución de distritos policiales como un factor de optimización para mejorar el tiempo promedio de respuesta.

Además, Zhang y Brown (2014) aplicaron recocido simulado para optimizar el diseño del distrito de patrulla policial y evaluaron el rendimiento de las alternativas,

incluido el tiempo de respuesta promedio aplicando un modelo de simulación de eventos discretos.

En un sistema de respuesta médica de emergencia, podemos identificar el mismo problema de optimización para mejorar el tiempo de respuesta. Aboueljinane *et al.* (2013) afirman que la implementación es el problema más estudiado en el diseño y operación de servicios médicos de emergencia, e identifican los requisitos de capacidad, incluida la cantidad de equipos de rescate necesarios para aumentar el porcentaje de eventos atendidos en un tiempo de respuesta ideal (De La Cruz, 2016).

Cada método de solución puede ser utilizado dependiendo del escenario en el cual se vaya a aplicar. Según (Farahani *et al.*, 2012) los modelos de cobertura son de tipo difícil, por ello debido a su complejidad no encontrará soluciones por métodos exactos, o muy costosas en cuanto al tiempo de procesamiento de la información.

En el caso específico del diseño de territorios de cobertura para las patrullas, estas no requieren que se generen soluciones en espacios cortos de tiempo, debido a que será necesario cuando se modifique la cantidad de patrullas disponibles. Estos cambios se realizan generalmente con un período anual debido la planificación del presupuesto de las diferentes administraciones, y en muchas ocasiones varían únicamente con el cambio de la administración. Además, los indicadores de incidencia delictiva utilizados en la investigación como parámetros se actualizan con frecuencia anual.

Esta investigación está basada en el modelo de asignación de vehículos de patrulla de rutina (RPV) en una red vial inter-urbana, propuesto por Adler *et al.* (2013) a través de una serie de programas lineales enteros.

2.3 VEHÍCULOS DE PATRULLA DE RUTINA (RPV)

Los modelos de asignación de servicios de emergencia generalmente se basan en el algoritmo de ruta más corta; sin embargo, la policía de tráfico RPV también maneja otros roles como patrullar para crear una presencia y visibilidad que actúa como intento de prevenir o reducir las infracciones, accidentes y congestión de tráfico (Adler *et al.*, 2013).

El modelo RPV fue diseñado para las patrullas de tránsito específicamente, pero en la actual investigación se pretende utilizar para las patrullas de policía encargadas de atender cualquier incidente de carácter delictivo. Teniendo en cuenta que la investigación está dirigida a la localización y asignación de los recursos de la policía preventiva municipal resulta de gran importancia que además de atender los incidentes tenga un objetivo preventivo que busque disminuir el número de incidentes, contribuyendo a ello la presencia y la visibilidad, pues se espera que al apreciar más vigilancia los delincuentes cometan menos delitos.

La asignación de los RPV debido a la importancia de la patrulla de tráfico con respecto a sus funciones adicionales incluye una restricción de tiempo de llegada. En el caso de la investigación actual esta restricción de tiempo por lo general va a ser menor que en el caso de las patrullas de tránsito, lo cual no representa ningún inconveniente pues el tiempo de llegada es un parámetro definido generalmente a partir de regulaciones legales o protocolos policiales.

El problema de asignación de ubicación de RPV de tráfico es diferente en algunos aspectos de otros servicios de emergencia descritos en la literatura. Inicialmente, hay más que el número mínimo de vehículos necesarios para cubrir la demanda, por lo tanto, la cobertura de la red se convierte en una restricción y los objetivos se derivan del beneficio público de la seguridad.

El RPV es presentado en cuatro variantes las cuales se comparan entre sí en re-

lación con las ubicaciones elegidas. Las múltiples formulaciones brindan alternativas que responden conjuntamente a los objetivos de seguridad vial y vigilancia policial que ayudan a los tomadores de decisiones en la selección de sus asignaciones preferidas. Teniendo en cuenta que esta investigación considera los índices delictivos y está dirigida a la policía preventiva se selecciona como referencia el modelo de equilibrio y visibilidad, el cual se detalla a continuación.

Modelo de equilibrio de visibilidad y cobertura

La función objetivo (2.8) maximiza la visibilidad de la policía medida en términos de volumen de tráfico (número de vehículos por período de tiempo) por ubicación. Por lo tanto, se eligió el tamaño de las áreas operativas para maximizar la visibilidad de las ubicaciones de RPV en lugar de minimizar la ruta más corta a la probable.

Notación

I = Conjunto de área de responsabilidad a atender en la red.

i, j = Índices que representan el área extendida de responsabilidad donde $i, j \in I$.

u_j = Número de vehículos por hora que pasan por el área de responsabilidad $j \in I$.

p = Número de vehículos de patrulla de rutina.

N_i = $\{i \in I \mid d_{ij} \leq S, d_{ij}$ distancia más corta entre el área extendida de responsabilidad $i, j \in I$ y S es la máxima distancia de servicio aceptable.

x_j = Variable binaria, 1 si un vehículo de rutina de patrulla se encuentra en el área de responsabilidad $j \in I$, 0 en caso contrario.

z_{ij} = Variable binaria 1 si un vehículo de rutina de patrulla cubre el área de responsabilidad $j \in I$ desde $i \in I$, 0 en caso contrario.

Modelo:

$$\max z = \sum_{j \in I} u_j x_j \quad (2.8)$$

$$s.a : \sum_{j \in J} x_j = p \quad (2.9)$$

$$\sum_{j \in N_i} z_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.10)$$

$$z_{ij} \leq x_j \quad \forall i, j \in I \quad (2.11)$$

$$z_{ij}, x_j \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in I \quad (2.12)$$

donde la restricción (2.9) establece que la solución ubique exactamente todos los RPV disponibles. La restricción (2.10) asegura que cada área de responsabilidad está cubierta por exactamente un RPV ubicado desde i hasta j , asignando así las áreas operativas, estando estas dentro de la distancia aceptable. La restricción (2.11) permite que se considere que un RPV se encuentra en el área de responsabilidad si es capaz de cubrir toda el área.

Debido a que la investigación está dirigida a la policía preventiva municipal se selecciona este modelo para tomarlo como referencia. Como propiamente su nombre lo indica esta autoridad además de atender los incidentes necesita tener un carácter de prevención, siendo este factor determinante en la decisión de utilizar un modelo para aumentar la presencia y visibilidad.

2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

La ubicación óptima de instalaciones es importante tanto en el sector privado (ubicación de las plantas, almacenes, tiendas, asignación de clientes, etc.), como en el sector público (ubicación de las escuelas, sitios de desechos, asignación de estudiantes, viviendas, etc.). Por lo general, el sector privado se ocupa de objetivos de costo-beneficio, mientras que en el sector público el objetivo es el beneficio social que debe ser definido por cada sector de acuerdo con sus objetivos, siendo este último

el enfoque al cual está dirigida la investigación.

La cobertura de la red es un tema muy atractivo para los investigadores por su aplicación en la vida real, las distintas variantes utilizadas han llevado a su resolución de manera óptima, heurística y por simulación. Para determinar el mejor método de solución es necesario conocer la complejidad de la red a cubrir, y las limitaciones de tiempo para obtener una solución, así como la frecuencia de modificación de los parámetros. La solución de forma exacta garantiza el resultado óptimo siendo la causa por la cual se selecciona como alternativa para esta investigación, teniendo como factor determinante las condiciones favorables para su aplicación de acuerdo con las limitaciones antes mencionadas.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La revisión de la literatura realizada en el capítulo anterior muestra diferentes metodologías que han sido utilizadas para resolver el problema de diseño de territorios.

La aplicación de herramientas cuantitativas para solucionar el problema ha ofrecido mejores resultados que los métodos tradicionales basados en decisiones subjetivas a partir de la experiencia.

Dentro de los métodos cuantitativos se encuentran los modelos matemáticos, los cuales buscan reflejar un problema de la vida real mediante formulaciones matemáticas, teniendo como objetivo la optimización de los procesos aprovechando al máximo los recursos disponibles.

La Investigación de Operaciones (IO) es una rama de las matemáticas que consiste en la aplicación de métodos científicos para el análisis de sistemas complejos.

Hillier y Lieberman (2010) proponen una serie de etapas para resolver un problema a través de la IO, las cuales se muestran en la figura 3.1.

La primera etapa es la definición del problema de interés y la recolección de información importante. Partiendo de esta definición se realizará el resto de la metodología, por lo cual se considera parte decisiva del proceso, incluye determinar los

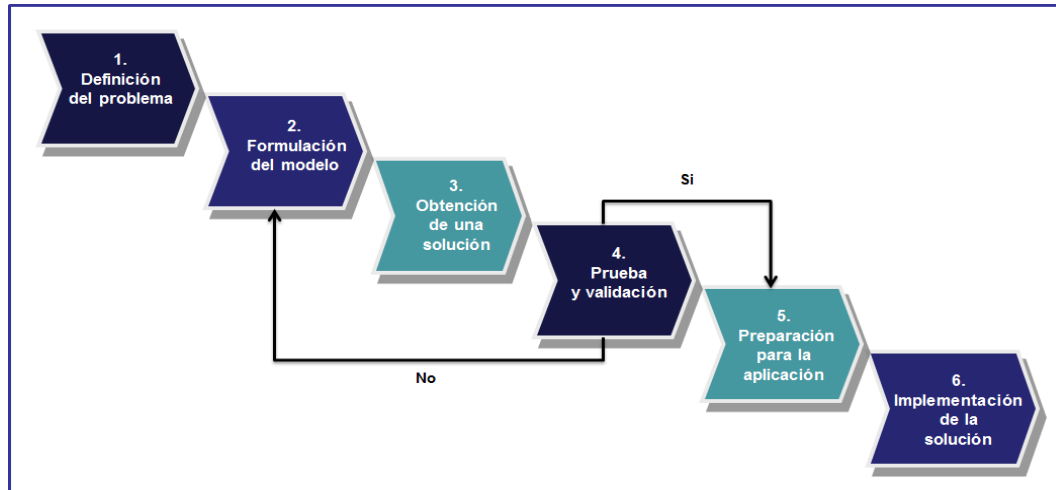


Figura 3.1: Principales etapas para resolver un problema de IO

Fuente: Elaboración propia basado en (Hillier y Lieberman, 2010)

objetivos que se quieren alcanzar y la delimitación del problema a resolver.

En la segunda etapa se desarrolla la formulación matemática del problema definido en la etapa anterior, siendo esta lo más real posible y contemplando los supuestos definidos, parámetros, variables, la función objetivo y sus restricciones.

Posteriormente para obtener una solución al modelo matemático planteado, es necesario la ayuda de un software especializado que permita obtener un mejor tiempo de respuesta. En algunos casos existen problemas que debido a su nivel de complejidad a pesar de utilizar herramientas tecnológicas requieren un amplio espacio de tiempo para ofrecer una solución.

En la cuarta etapa se realizan pruebas para validar que el modelo diseñado ofrezca valores lógicos en la herramienta computacional utilizada a través de la experimentación. Los resultados obtenidos permiten realizar ajustes al modelo de ser necesario y contribuyen a medir su alcance respecto a la cantidad de restricciones que puede manejar y su tiempo de solución.

En la quinta etapa, una vez el modelo cuenta con una solución factible deben interpretarse los resultados matemáticos y se crean las condiciones necesarias para la

aplicación del modelo en la organización. Además, se evalúa que cambios operativos y administrativos conllevan los resultados obtenidos.

Finalmente, para la implementación de la solución se debe de informar y capacitar a todas las personas involucradas en el proceso para que se puedan obtener los beneficios esperados de la aplicación de la herramienta.

Tomando en cuenta las características del problema de diseños de territorios planteado anteriormente y después de realizar un análisis de las soluciones propuestas en la literatura, se determina como alternativa la aplicación de un modelo de programación lineal entera mixta con solución exacta; el cual tomará como referencia el modelo RPV debido a las consideraciones expuestas en el capítulo de antecedentes.

3.1 MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO

Una vez identificado el problema a resolver y seleccionado la herramienta a utilizar para su solución se procede a la formulación del modelo matemático, siendo esta etapa el grueso fundamental del capítulo de metodología.

Para la formación del modelo se deben crear los supuestos que determinan las condiciones bajo los cuales va a funcionar. Luego, se identifican los conjuntos de factores que intervienen en el problema, los parámetros que son los datos conocidos que se ingresan como entrada del modelo y las variables de decisión requeridas para la solución que se pretende lograr.

Posteriormente, se formula el modelo comenzando por la función objetivo que brinda la mejor solución posible sujeta a una serie de restricciones presentadas por el problema planteado. Por lo general estas limitante determinan la complejidad computacional del modelo.

El problema de asignación de ubicación RPV tomado como punto de partida se deriva de las emergencias y las disciplinas de seguridad pública. Las patrullas se

ubicar en una red de carreteras, que está representada como un gráfico no dirigido, $G = (V, E)$. La red comprende un conjunto V de vértices representando intersecciones de caminos junto con un conjunto E de arcos que representan caminos que conectan las intersecciones. Cada patrulla se encuentra en un tramo de ejecución, que es una sección de carretera.

En el caso de esta investigación la zona a cubrir estará formada por la extensión territorial del municipio de San Nicolás de los Garza y la delimitación geográfica se apoya en los distritos establecidos por la gobernación para la gestión de recursos urbanos. Esta demarcación está determinada de manera estratégica y facilita tanto la ejecución como la implementación de los resultados del modelo.

Las patrullas serán ubicadas para maximizar la presencia y la visibilidad y cuenta con una restricción de cobertura característica del modelo VRP tomado como base. También contempla la asignación de las patrullas partiendo de la cantidad de habitantes que debe ser atendido por agente policial según lo contemplado por la ONU; otra restricción a tener en cuenta es la de contigüidad marcada por el contacto de al menos un punto de un territorio con el que se encuentra a su lado.

La estructura del modelo propuesto se muestra a continuación:

Supuestos

- Está definida el área total a cubrir por las patrullas.
- Las patrullas pueden ser ubicadas en cualquier zona.
- Se conocen los índices delictivos y la cantidad de habitantes por zonas geográficas los cuales son constantes y tienen un período de actualización de al menos un año.
- Se conocen las distancias de un punto a otro dentro del área total, así como el tiempo máximo de respuesta permitido a un incidente en un escenario ideal

(no se consideran variables como por ejemplo; el tráfico, horario y condiciones climáticas).

- **La cantidad de patrullas disponible es conocida, y son al menos la cantidad necesaria para cubrir las zonas geográficas cumpliendo con el indicador de la ONU que establece que debe existir un agente policial por cada 300 habitantes.**

Conjuntos

$I =$ Conjunto de distritos (donde se encuentran los sitios de demanda) $i \in I$.

$J \subset I =$ Posibles ubicaciones de los comandos móviles $j \in I$.

Parámetros

$u_j =$ Índice delictivo en las posibles ubicaciones de los comandos móviles $j \in I$.

$k_i =$ Población en los distritos $i \in I$.

$p =$ Número de vehículos de patrulla disponibles.

$A = [a_{ij}]$ Matriz de adyacencia, toma el valor de 1 si el distrito i es adyacente al distrito j , 0 en caso contrario (se considera adyacente si tiene al menos un punto de contacto con algún otro territorio).

$n =$ Norma establecida de cantidad de policías por número de habitantes.

$N_i = \{i \in I \mid d_{ij} \leq S\}$, donde d_{ij} es la distancia más larga entre los distritos $i \in I$ y la ubicación del comando móvil $j \in I$.

$S =$ Tiempo máximo de servicio aceptable.

Variables

$x_j =$ Cantidad de patrullas asignadas a la ubicación de los comandos móviles $j \in I$.

$y_{ij} =$ Variable binaria, toma el valor de 1 si un distrito $i \in I$ es cubierto por la ubicación de los comandos móviles $j \in I$, 0 en caso contrario.

$z_j =$ Variable binaria, toma el valor de 1 si una ubicación de los comandos móviles $j \in I$ es habilitada, 0 en caso contrario.

Modelo

$$\max z_{RPV} = \sum_{j \in I} u_j z_j \quad (3.1)$$

$$s.a : \sum_{j \in I} z_j \leq p \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in N_i} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.3)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} k_i \leq n z_j \quad \forall j \in I \quad (3.4)$$

$$z_j \geq x_j \quad \forall j \in I \quad (3.5)$$

$$x_j \leq y_{jj} \quad \forall j \in I \quad (3.6)$$

$$a_{ij} x_j \geq y_{ij} \quad \forall i, j \in I \quad (3.7)$$

$$z_j \geq 0 \quad \forall j \in I \quad (3.8)$$

$$y_{ij}, x_j \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in I \quad (3.9)$$

donde la función objetivo (3.1) permite crear áreas operativas para maximizar la visibilidad de la policía en los lugares con mayor incidencia delictiva. La restricción (3.2) establece que la solución no asigne más patrullas de las que se tienen disponibles. La restricción (3.3) garantiza que cada sitio de demanda este cubierto por un comando móvil, donde las patrullas puedan intervenir dentro del tiempo de respuesta aceptable. La restricción (3.4) asegura que la cantidad de patrullas asignadas a cada comando cumplan con la norma establecida de policías por número de habitantes. La restricción (3.5) considera que si una patrulla es asignada a una ubicación deba satisfacer la demanda de ese sitio. La restricción (3.6) permite que los sitios de de-

manda se consideren cubiertos si tienen presencia de patrullas, la (3.7) la contigüidad de los distritos y las (3.8) y (3.9) define la naturaleza de las variables.

Para el desarrollo de la investigación se toman en cuenta los índices delictivos registrados; para determinar la distancia se forma una matriz la cual se basa en herramientas de localización existentes, específicamente a partir de las coordenadas geográficas se forman polígonos con la ayuda del software Rstudio que representan los distritos y se calculan los puntos más alejados de un distrito a otro. Además el tiempo de servicio aceptable será definido por protocolos y procedimientos de los departamentos policiales, y la cantidad de patrullas se verifica su disponibilidad en el momento de realizar la experimentación.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS

En este capítulo se desarrolla una pequeña descripción del municipio en el cual fue aplicado el modelo matemático planteado en el capítulo anterior. Además, se presentan las herramientas computacionales que fueron utilizadas y la forma en que fue recopilada la información de entrada del modelo; posteriormente se muestran las pruebas y experimentaciones.

4.1 CASO DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE SAN NICOLÁS DE LOS GARZA

La Zona Metropolitana de Monterrey la conforman nueve municipios del estado de Nuevo León y constituye la tercera conurbación más poblada de la República Mexicana; acorde con el más reciente conteo y delimitación oficial realizada en el año 2010, en forma conjunta, por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el Consejo Nacional de Población y la Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno Federal.

En este complejo marco metropolitano se encuentra el municipio de San Nicolás de los Garza, el cual alberga importantes áreas industriales, comerciales y habitacionales.

San Nicolás de los Garza se encuentra ubicado en la zona centro del Estado y cuenta con una superficie de 60.83 kilómetros cuadrados, limitando al norte con los municipios de General Escobedo y Apodaca; al sur con los municipios de Monterrey y Guadalupe, al oriente con los municipios de Apodaca y Guadalupe y al poniente con el municipio de Monterrey.

La Ley de Desarrollo Urbano consigna en su artículo 5, fracción LXIII, que las zonas o distritos son las superficies de suelo en que se divide un centro de población o de un municipio en las que está previsto un uso de suelo predominante de la superficie total de cada zona y pueden existir usos de suelo complementario y compatible con ese uso de suelo predominante (GobiernoMunicipal, 2013).

El municipio está dividido en 24 distritos que ocupan la totalidad de su extensión territorial, mostrándose en la figura 4.1, (ver Tabla 4.1) . Esta organización espacial agrupa los barrios y/o colonias, estableciendo así una delimitación concreta y congruente.

Estas demarcaciones estratégicas son utilizadas para la gestión de los servicios públicos urbanos y en la investigación se toman como punto de partida para el diseño de los territorios de cobertura de las patrullas de policía.



Figura 4.1: Distritos del municipio San Nicolás de los Garza

Fuente: (Alvarado, 2017)

Tabla 4.1: Distritos del municipio de San Nicolás de los Garza

No.	Distrito	No.	Distrito
1	Casa Bella	13	Del Vidrio
2	Balcones	14	Constituyentes
3	Centro	15	Nogalar
4	CEDECO	16	Pedregal
5	El Refugio	17	Residencial Anáhuac
6	Vicente Guerrero	18	La Grange
7	Santo Domingo	19	Industrial
8	Del Paseo	20	Andalucia
9	San Cristobal	21	Cuauhtémoc
10	La Fe	22	Las Puentes
11	Casa Blanca	23	Anáhuac
12	Talavera	24	Jardines de Anáhuac

Fuente: Tomado de(Alvarado, 2017)

A finales del año 2015 la alcaldía del municipio estableció la Polisan como policías de proximidad para hacer frente a los delitos que se registran en la localidad. Como consecuencia de su funcionamiento existe insatisfacción entre la población porque en algunas colonias sus recorridos son limitados y cuando ocurre un incidente delictivo tardan demasiado en presentarse en el lugar del hecho, incumpliendo con sus funciones de reforzar la seguridad en los barrios del municipio. Las expectativas de la población en el municipio es alta debido a que ocupa el segundo lugar en el índice de desarrollo humano (IDH) en el estado de Nuevo León.

4.2 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES UTILIZADAS

En la investigación se utilizan softwares para obtener los parámetros del modelo y la aplicación de este; siendo detallados brevemente a continuación.

4.2.1 GOOGLE MAPS AND KML SHAPES GENERATOR

Los archivos KML (*keyhole markup language*) permiten crear superposiciones de mapas utilizando coordenadas geográficas (longitud, latitud) para el conjunto de muchos puntos que crean una forma y un área contenida. A través de estos archivos se pueden crear cualquier forma en el mapa del mundo utilizando coordenadas geográficas pudiéndose codificar por colores, mostrar mapas de calor, etc.

Para representar polígonos en un mapa la aplicación *Google Maps and KML shapes generator* simplifica el proceso de encontrar la latitud y longitud de cada punto que lo conforman; esta herramienta resulta útil en la investigación para establecer los límites de los distritos. Un ejemplo del funcionamiento se muestra en la figura 4.2. donde se trazaron los límites del distrito Centro y la aplicación generó sus coordenadas geográficas.

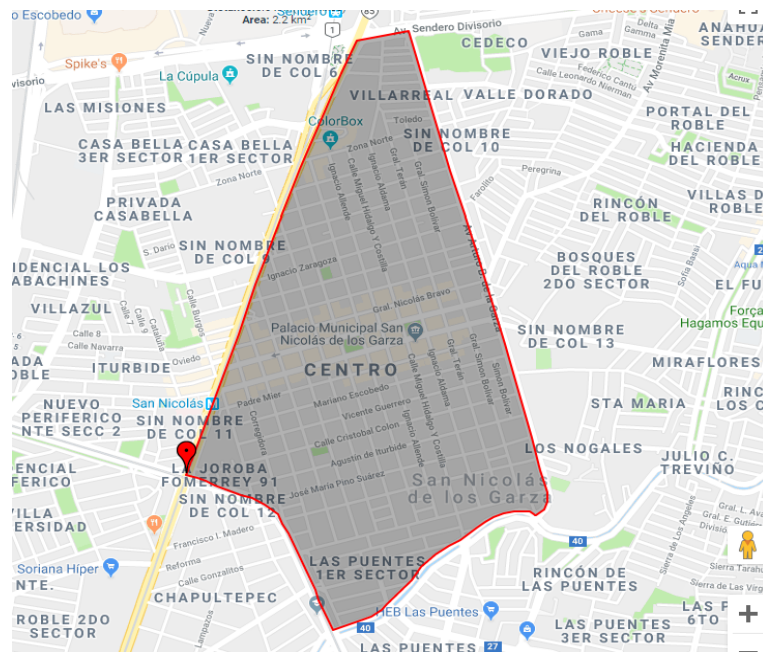


Figura 4.2: Delimitación de coordenadas en la aplicación *Google Maps and KML shapes generator*

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 RSTUDIO

RStudio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráficos. Incluye una consola, editor de sintaxis que apoya la ejecución de código, así como herramientas para el trazado, la depuración y la gestión del espacio de trabajo.

En la tesis se utiliza una programación a partir de las coordenadas geográficas generadas para determinar las distancias lineales.

4.2.3 GAMS

El GAMS (General Algebraic Modeling System) es un software de alto nivel para el modelado de sistema para la optimización matemática. GAMS está diseñado para modelar y resolver problemas lineales, no lineales y optimización entera mixta. El sistema está creado para aplicaciones de modelado a gran escala complejas y permite al usuario construir grandes modelos que pueden adaptarse a las nuevas situaciones.

En esta ocasión se utiliza el optimizador GAMS/CPLEX y el equipo de cómputo seleccionado fue NEOS, un servidor gratuito de internet para resolver problemas de optimización.

4.3 RECOPIACIÓN DE DATOS

En la investigación para recopilar los datos de entrada del modelo las herramientas utilizadas son: bases de datos del INEGI, el sitio web de transparencia del Gobierno Municipal de San Nicolás de los Garza, los sistemas cartográficos, las informaciones publicadas en periódicos de la ciudad y Excel.

El municipio de San Nicolás de los Garza como se menciona anteriormente cuenta con 24 distritos los cuales están perfectamente delimitados y se encuentran publicados en el portal de transparencia. A partir de esta información se dibuja cada uno de ellos en la aplicación *Google Maps and KML shapes generator* y se genera un archivo con las coordenadas geográficas que forman sus límites.

Posteriormente en el software Rstudio se forman los polígonos que representan cada distrito con la información generada y se programa un algoritmo para calcular la distancia en línea recta entre los dos puntos más alejados de cada uno de ellos y se crea la matriz de distancia entre las 24 ubicaciones (ver figura A.1).

Se seleccionan los puntos más distantes pues sería el escenario más crítico que tardaría una patrulla en trasladarse dentro de los distritos, siendo información relevante para el modelo en cuanto al tiempo de respuesta aceptable definido.

La distancia en línea recta (euclidiana) se utiliza con mayor frecuencia debido a la facilidad de su cálculo. En la literatura se han desarrollado investigaciones que abordan su relación con la distancia real en una red de carreteras.

Para esta tesis se toma como referencia el estudio de Boscoe *et al.* (2012) realizado en los Estados Unidos donde los autores toman alrededor de 66 000 muestras utilizando softwares comerciales que determinan las distancias recorridas y demuestran que al aplicar un factor de multiplicación de 1.417 los resultados obtenidos tienen una correlación entre la distancia de viaje y la euclidiana de 0.94, siendo validado a partir de diseños de experimentos.

En cuanto a la velocidad media de circulación de los automóviles en el estado de Nuevo León existen estadísticas que mencionan que dentro de la ciudad el promedio es de alrededor de 35 km/h (Galán González, 2004). Teniendo en consideración que las patrullas de policía ante la ocurrencia de un incidente tienen prioridad en la vía se establece que la distancia media será de 70 km/h para efectos de esta investigación.

Todos estos datos se necesitan para realizar las conversiones porque el tiempo

de respuesta de las patrullas se fija en minutos.

Una propiedad importante que considerar en el diseño de territorios es la contigüidad y en el caso de estudio actual si los distritos tienen al menos un punto de contacto son considerados contiguos, no se toma en cuenta la existencia o no de caminos que los conecten, la matriz formada se muestra en la figura B.1.

El portal de transparencia del municipio de San Nicolás de los Garza cuenta en el apartado del Instituto de Planeación y Desarrollo Municipal (IPLADEM) con las estadísticas de la cantidad de población por zonas en el municipio, a partir de esta información se establece la población de cada distrito (ver tabla 4.2).

Tabla 4.2: Población por distritos del municipio de San Nicolás de los Garza en el año 2012

Distritos	Población	Distritos	Población
1. Casa Bella	14 048	13. Del Vidrio	24 939
2. Balcones	7 428	14. Constituyentes	21 276
3. Centro	13 300	15. Nogalar	20 855
4. CEDECO	15 662	16. Pedregal	15 906
5. El Refugio	28 023	17. Residencial Anahuác	9 575
6. Vicente Guerrero	23 148	18. La Grange	12 083
7. Santo Domingo	24 153	19. Industrial	4 972
8. Del Paseo	26 544	20. Andalucía	26 315
9. San Cristobal	15 929	21. Cuauhtémoc	12 528
10. La Fe	5 685	22. Las Puentes	36 992
11. Casa Blanca	22 233	23. Anahuác	13 067
12. Talavera	26 423	24. Jardines de Anahuác	22 189

Fuente: Elaboración propia, tomado de (GobiernoMunicipal, 2013)

La incidencia delictiva por zonas geográficas es tomada del periódico Norte (2019) que es uno de los principales diarios de la ciudad de Monterrey, en su sitio digital cuenta con el registro de delitos cometidos desde el año 2016 en el estado de Nuevo León por zonas geográficas, con esta referencia se crea la tabla 4.3 con los hechos registrados en cada uno de los distritos en el período 2016-2018.

Tabla 4.3: Hechos delictivos registrados por distritos en el período 2016-2018.

Distritos	2016	2017	2018	Promedio	Índice delictivo (%)
1. Casa Bella	21	36	29	28.67	3.03
2. Balcones	20	35	21	25.33	2.68
3. Centro	24	56	54	44.67	4.72
4. CEDECO	31	47	41	39.67	4.19
5. El Refugio	13	56	38	35.67	3.77
6. Vicente Guerrero	62	43	28	44.33	4.69
7. Santo Domingo	12	35	22	23.00	2.43
8. Del Paseo	19	37	31	29.00	3.07
9. San Cristobal	12	17	25	18.00	1.90
10. La Fe	33	66	46	48.33	5.11
11. Casa Blanca	39	41	32	37.33	3.95
12. Talavera	63	102	89	84.67	8.95
13. Del Vidrio	67	58	55	60.00	6.34
14. Constituyentes	29	45	35	36.33	3.84
15. Nogalar	59	39	38	45.33	4.79
16. Pedregal	24	17	40	27.00	2.86
17. Residencial Anahuác	20	30	29	26.33	2.78
18. La Grange	13	43	40	32.00	3.38
19. Industrial	34	39	30	34.33	3.63
20. Andalucía	24	32	33	29.67	3.14
21. Cuauhtémoc	26	41	34	33.67	3.56
22. Las Puentes	50	52	37	46.33	4.90
23. Anahuác	76	104	69	83.00	8.78
24. Jardines de Anahuác	14	59	26	33.00	3.49

Fuente: Elaboración propia, (Norte, 2019)

Realizando un análisis de las estadísticas (ver figura 4.3) se puede apreciar que en el 2017 hubo un alza en el registro de delitos y además que el comportamiento por distritos es similar en los tres años, siendo el orden ocupado en cuanto a conflictos relativamente igual. Debido a ello, el índice delictivo es definido por el porcentaje que representa cada distrito del promedio de incidentes registrados en los últimos

tres años.

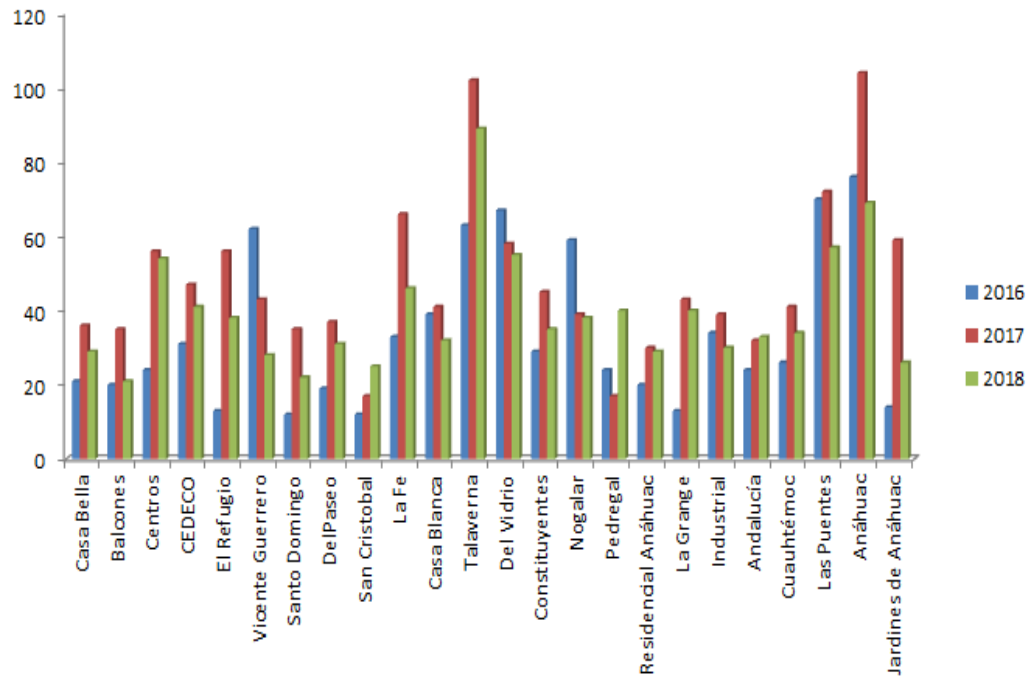


Figura 4.3: Comportamiento de incidentes registrados por distrito

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos los parámetros de entrada del modelo se comienzan a realizar experimentaciones creando diferentes escenarios. En ellos se realizan combinaciones variando la cantidad de patrullas y el tiempo de respuesta, mostrándose algunos a continuación (ver tabla 4.4).

Tabla 4.4: Escenarios desarrollados

Escenarios	Cantidad de patrullas (u)	Tiempos de Respuesta (min)
1	60	8
2	60	6
3	80	6
4	80	4

Fuente: Elaboración propia

4.4 ESCENARIO 1

Inicialmente se desarrolla un escenario con 60 patrullas disponibles tomando en cuenta que en mayo del 2019 en el municipio se hizo entrega de 80 vehículos de patrullas para aumentar el parque vehicular que estaba en muy malas condiciones, estas nuevas unidades sustituyen la gran mayoría existentes anteriormente que presentaban muchas fallas mecánicas que le impedían desarrollar sus actividades. Las patrullas fueron destinadas a los tránsitos y policía preventiva.

Teniendo en cuenta este escenario y el hecho de que en cada vehículo viajan dos agentes resulta imposible que se cumpla con la norma establecida por la ONU de que cada 300 habitantes debe existir la custodia de un agente policial. Por el déficit existente en este escenario planteado y los parámetros del modelo es posible una solución factible si se considera la presencia de un policía por cada 3804 habitantes.

Estableciendo un tiempo de respuesta de 8 minutos ante la ocurrencia de un incidente los territorios de cobertura formados (ver figura 4.4) maximizan la presencia de las patrullas en los lugares de mayor incidencia delictiva respetando las restricciones planteadas.

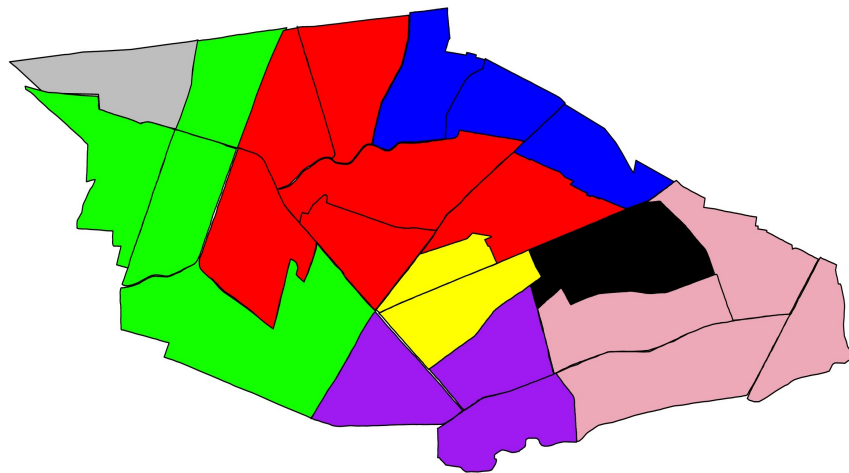


Figura 4.4: Zonificación del escenario 1

Fuente: Elaboración propia

Los recursos son distribuidos como se muestra en la tabla 4.5. Los centros de comandos son situados en los distritos que tienen un mayor índice delictivo dentro del territorio formado. Como el rango de cobertura es amplia algunos territorios tienen una gran extensión.

Tabla 4.5: Resultados del escenario 1

No.	Territorios (Colores)	Centro de Comando	Distritos	Patrullas asignadas
1	Gris	Balcones	Balcones	1
2	Rojo	Las Puentes	Las Puentes, Jardines de Anahuác, Cuauhtémoc, CEDECO, Centro y Del Paseo	17
3	Azul	Vicente Guerrero	Vicente Guerrero, Refugio y Santo Domingo	10
4	Rosa	Talaverna	Talaverna, Andalucía, La Fe y San Cristobal	10
5	Amarillo	La Grange	La Grange y Pedregal	4
6	Verde	Anahuác	Anahuác, Industrial, Casa Bella y Residencial Anahuác	6
7	Morado	Del Vidrio	Del Vidrio, Nogalar y Constituyentes	9
8	Negro	Casa Blanca	Casa Blanca	3

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se reduce el tiempo de respuesta a 6 minutos y se vuelve a correr el modelo resultando el diseño nuevos territorios (ver figura 4.5).

En esta ocasión debido a la disminución del tiempo de respuesta se forman un mayor número de particiones siendo estas más compactas (ver tabla 4.6). Existen distritos con características especiales como el Industrial que cuenta con una población muy pequeña pero tiene una gran extensión territorial por eso es definido como un territorio y se le asigna una única patrulla.

Con la norma establecida para este escenario de habitantes por cada policía y la cantidad de patrullas definidas el modelo no ofrece solución para un tiempo de

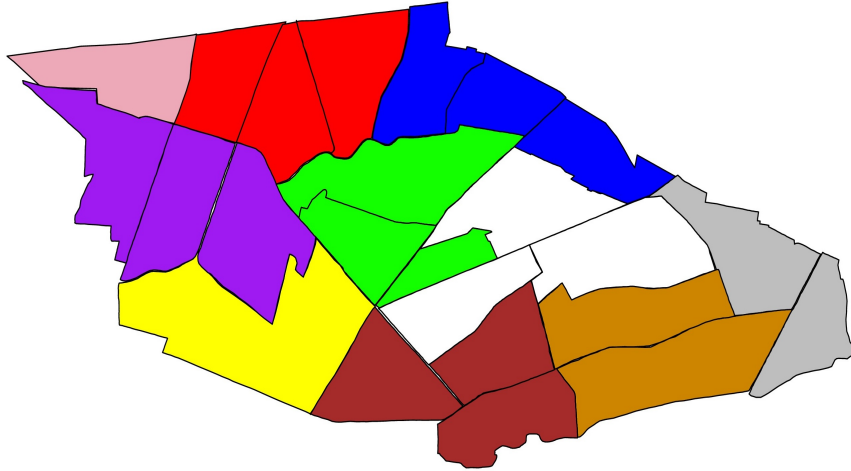


Figura 4.5: Zonificación del escenario 1 con menor tiempo de respuesta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6: Resultados del escenario 1 con menor tiempo de respuesta

No.	Territorios (colores)	Centro de Comando	Distritos	Patrullas asignadas
1	Rosa	Balcones	Balcones	1
2	Rojo	Centro	Centro, CEDECO y Casa Bella	6
3	Azul	Vicente Guerrero	Vicente Guerrero, Refugio y Santo Domingo	10
4	Gris	La Fe	La Fe y San Critóbal	3
5	Blanco	Del Paseo	Del Paseo, Casa Blanca y La Grange	8
6	Naranja	Talaverna	Talaverna y Andalucía	7
7	Amarillo	Industrial	Industrial	1
8	Morado	Anahuác	Anahuác, Cuauhtémoc y Residencial Anahuác	5
9	Verde	Jardines de Anahuác	Jardines de Anahuác, Pedregal y Las Puentes	10
10	Marrón	Del Vidrio	Del Vidrio, Nogalar y Constituyentes	9

Fuente: Elaboración propia

respuesta menor a 6 minutos. Se propone entonces desarrollar un nuevo escenario aumentando el número de patrullas.

4.5 ESCENARIO 2

El nuevo escenario es planteado con un total de 80 vehículos y la primera replica es realizada con un tiempo de respuesta de 6 minutos como en el caso anterior para realizar comparaciones entre ambos. Los territorios formados se muestran en el mapa (ver figura 4.6).

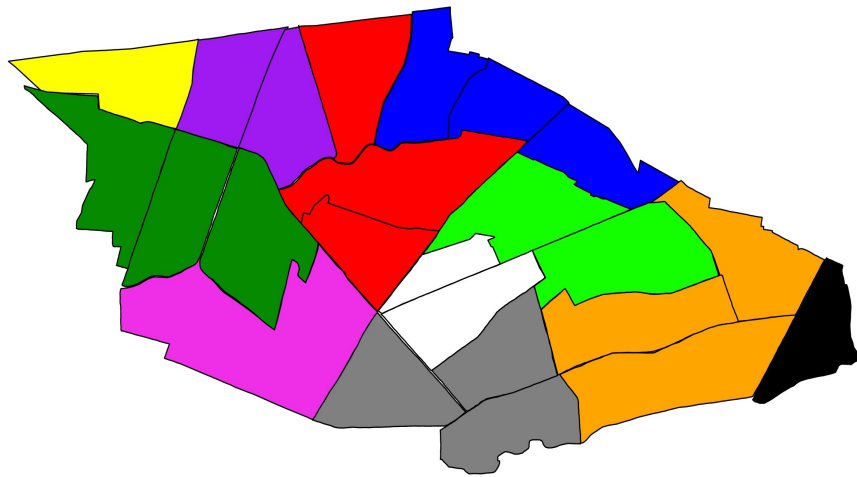


Figura 4.6: Zonificación del escenario 2

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia (tabla 4.7) en este caso la distribución de los recursos el modelo asigna gran parte del número de patrullas excedentes con respecto al caso anterior al territorio formado por los distritos Talavera, Andalucía y San Cristóbal usando como centro de comando el primero de ellos, la situación esta ocasionada debido al alto índice delictivo existente en esta zona que es el mayor del municipio y una vez que el modelo cumple con todas sus restricciones busca ubicar el resto de patrullas en las zonas más conflictivas.

En la siguiente instancia se disminuye el rango de cobertura a 4 minutos que ya es un excelente escenario en este sentido pues una respuesta en este tiempo es un indicador satisfactorio para un departamento policial. Los territorios formados se detallan a continuación (ver figura 4.7).

Tabla 4.7: Resultados del escenario 2

No.	Territorios (colores)	Centro de Comando	Distritos	Patrullas asignadas
1	Amarillo	Balcones	Balcones	1
2	Morado	Centro	Centro y Casa Bella	4
3	Rojo	Las Puentes	Las Puentes, Jardines de Anahuác y CEDECO	10
4	Azul	Vicente Guerrero	Vicente Guerrero, Refugio y Santo Domingo	10
5	Negro	La Fe	La Fe	1
6	Blanco	La Grange	La Grange y Pedregal	4
7	Verde Oscuro	Anahuác	Anahuác, Cuauhtémoc y Residencial Anahuác	5
8	Gris	Del Vidrio	Del Vidrio, Nogalar y Constituyentes	9
9	Verde	Casa Blanca	Casa Blanca y Del Paseo	7
10	Fucsia	Industrial	Industrial	1
11	Talavera	Talavera	Talavera, San Cristóbal y Andalucía	28

Fuente: Elaboración propia

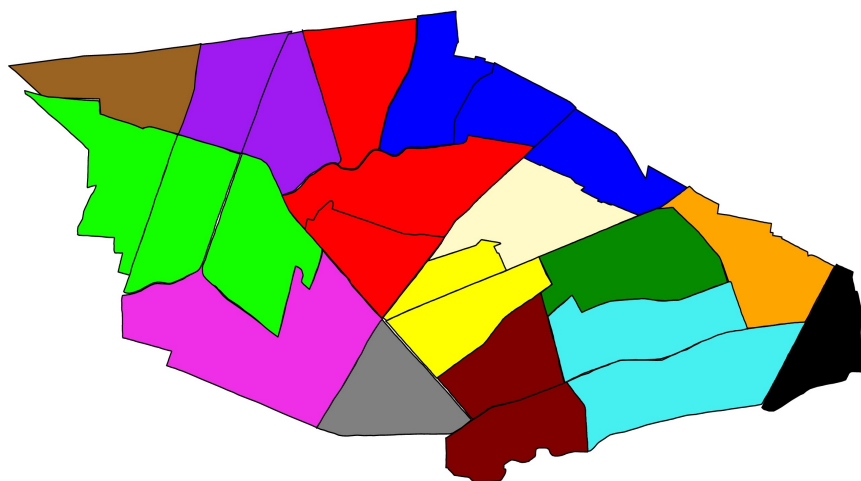


Figura 4.7: Zonificación del escenario 2 con menor tiempo de respuesta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Resultados del escenario 2 con menor tiempo de respuesta

No.	Territorios (colores)	Centro de Comando	Distritos	Patrullas asignadas
1	Carmelita	Balcones	Balcones	1
2	Morado	Centro	Centro y Casa Bella	4
3	Rojo	Las Puentes	Las Puentes, Jardines de Anahuác y CEDECO	10
4	Azul	Vicente Guerrero	Vicente Guerrero, Refugio y Santo Domingo	10
5	Naranja	San Cristóbal	San Cristóbal	3
6	Negro	La Fe	La Fe	1
7	Amarillo	La Grange	La Grange y Pedregal	4
8	Beige	Del Paseo	Del Paseo	4
9	Verde	Anahuác	Anahuác, Cuauhtémoc y Residencial Anahuác	5
10	Morado	Del Vidrio	Del Vidrio y Constituyentes	7
11	Verde Oscuro	Casa Blanca	Casa Blanca	3
12	Gris	Nogalar	Nogalar	3
13	Fucsia	Industrial	Industrial	1
14	Azul Claro	Talavera	Talavera y Andalucía	24

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados (tabla 4.8) se aprecia que de todos los ejemplos es el que crea un mayor número de territorios debido a la restricción de cobertura e igualmente sigue asignando la mayor cantidad de recursos a la zona más conflictiva donde se encuentra el distrito Talavera.

4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizado diferentes experimentaciones se puede observar que el modelo propuesto realiza el diseño de territorios ubicando las patrullas en los distritos donde existe un mayor índice delictivo siendo los centros de comando.

A medida que el tiempo de respuesta va disminuyendo la cantidad de territorios formados aumenta debido a la necesidad de estar cerca de cada uno de los puntos del municipio para intervenir ante cualquier hecho.

Un mayor número de patrullas garantiza más presencia y visibilidad de policías en los lugares más problemáticos (ver figura 4.8) y es posible disminuir los tiempos de respuestas (ver figura 4.9) cumpliendo con la norma de cantidad de personas por agente policial definida.

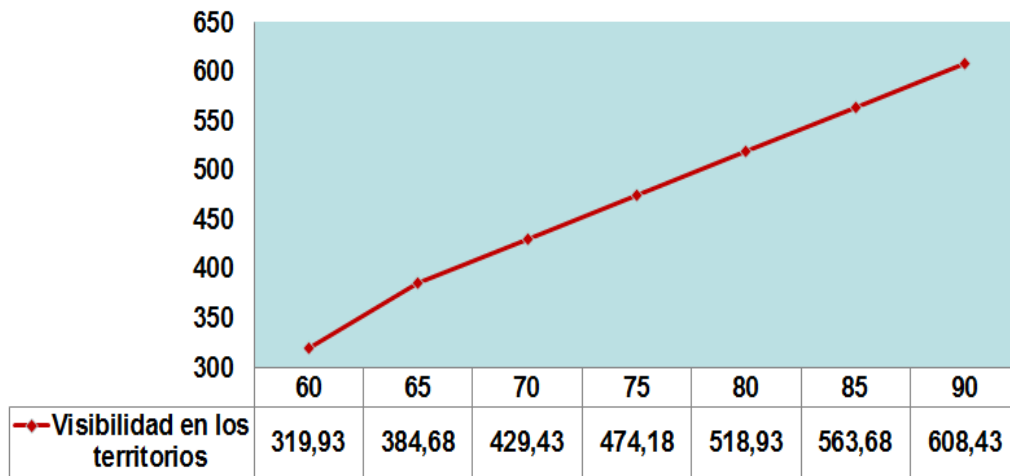


Figura 4.8: Relación entre la cantidad de patrullas y la visibilidad en los territorios

Fuente: Elaboración propia

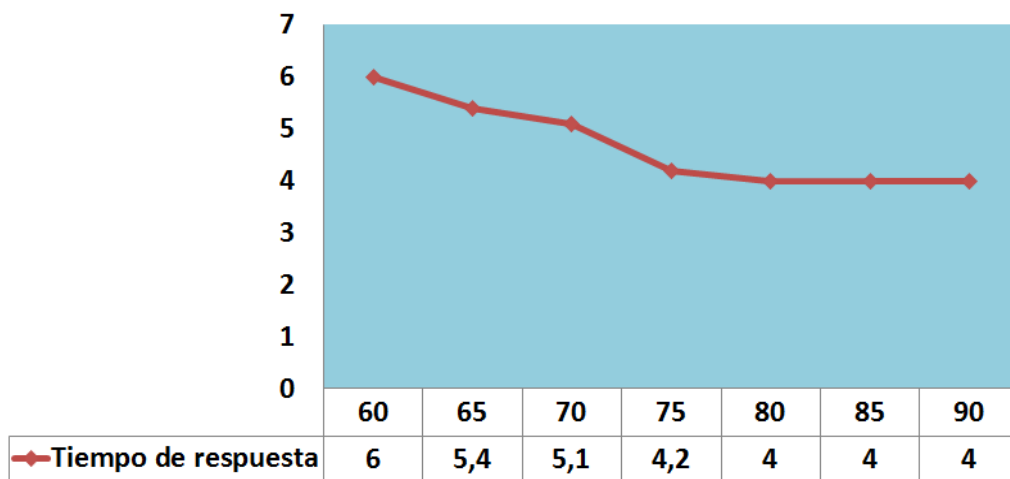


Figura 4.9: Relación entre la cantidad de patrullas y el tiempo de respuesta

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de respuesta correspondiente al número de patrullas es el mínimo que puede asumir el modelo para ofrecer una solución factible con los parámetros definidos para la experimentación.

Por las características de los distritos que forman el municipio si el tiempo de respuesta se disminuye de 4 minutos cada territorio esta formado por un único distrito, formándose 24 particiones.

Los territorios formados garantizan la mayor visibilidad posible con las características y limitaciones definidas para cada uno de los escenarios. Cada vez que ocurra un cambio en la cantidad de patrullas disponibles para los recorridos se debe ejecutar el modelo nuevamente. También según se actualicen las estadísticas de la población así como los índices delictivos es conveniente hacer nuevas corridas para determinar el mejor diseño de territorios.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

El capítulo se encuentra organizado en tres apartados. Primeramente, se exponen las conclusiones derivadas de la investigación, luego se relatan las contribuciones de la misma y por último se describe el trabajo futuro a desarrollar.

5.1 CONCLUSIONES GENERALES

La logística urbana puede ser vista como un proceso de optimización en diferentes operaciones y servicios que existen dentro de la ciudad. A pesar de que la distribución de mercancías en zonas urbanas es el tema más estudiado esta disciplina debe prestar a interés a otras áreas como es el caso de los servicios de respuesta rápida abordado en la investigación.

En la investigación se realizó una revisión de los diferentes métodos y herramientas utilizadas para el diseño de territorios y la optimización de los recursos policiales seleccionando un modelo matemático como herramienta a utilizar debido a las características de la policía preventiva municipal.

Los diferentes experimentos que se realizaron proponen una asignación de las patrullas de tal forma que se garantice una mayor presencia y una respuesta efectiva ante cualquier incidente.

Con los recursos actuales que cuenta el municipio de San Nicolás de los Garza es imposible cumplir con la norma de la ONU que establece que debe existir un agente policial por cada 300 habitantes, para ello se necesitan aproximadamente 740 patrullas. Sin embargo, lo más importante es gestionar los recursos de forma efectiva dado que en la Ciudad de México se cumple ampliamente con este indicador y es de las ciudades con mayor incidencia delictiva en el país.

Con los recursos actuales de aproximadamente 60 patrullas se puede garantizar un tiempo de respuesta de hasta 6 minutos según los resultados obtenidos en el escenario número uno, formándose un total de 10 territorios estando sus comandos móviles en los distritos con mayores índices delictivos. Si se aumenta a 80 las patrullas disponibles es posible una respuesta en 4 minutos formándose 14 distritos que garantizan la presencia en los lugares más críticos en cuanto a incidencia delictiva.

A medida que se aumente el número de patrullas la presencia y visibilidad serán mayores y se podrá mejorar el indicador establecido. Mientras menor sea el tiempo de respuesta establecido se crearán un mayor número de territorios para poder garantizar su respuesta.

5.2 CONTRIBUCIONES

Se desarrolló un modelo matemático que resulta útil para la toma de decisiones en la asignación de las patrullas de policía por parte de los responsables en el municipio de San Nicolás de los Garza.

La implementación de los resultados obtenidos puede tener grandes beneficios sociales ofreciendo una mayor satisfacción de la población del municipio de San Nicolás de los Garza.

La herramienta puede ser replicada a otros casos de estudios con características similares, realizando los ajustes pertinentes.

5.3 TRABAJO A FUTURO

La implementación de los resultados obtenidos con esta metodología depende de los responsables de los servicios policiales en el municipio de San Nicolás de los Garza los cuales realizan su asignación de manera manual y pueden ver en esta tesis una herramienta de apoyo para sus decisiones.

Se pueden agregar más municipios en la experimentación para ver el comportamiento del modelo con instancias más grandes.

Una vez realizada la asignación y el diseño se puede hacer el ruteo de los recorridos en cada uno de los territorios.

APÉNDICE A

MATRIZ DE DISTANCIAS ENTRE LOS DISTRITOS

Los resultados obtenidos en el software Rstudio generan la matriz de máximas distancias entre los diferentes distritos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	4328	2865	4085	4936	6055	7783	7213	10292	11484	8901	10353	8884	7819	7420	5936	4735	6619	6508	9523	5004	5403	4967	5253
2	4328	0	5263	6229	7359	8627	10484	9850	12943	13988	11457	12789	10812	9892	9093	8252	3939	8972	7533	12000	6026	8068	4407	7173
3	2865	5263	0	3539	4100	5123	6788	6100	9183	10395	7799	9388	8203	7076	6985	5084	4924	6058	6483	8470	5013	4431	5051	4854
4	4085	6229	3539	0	3089	4342	6388	5924	9001	10253	7656	9272	8146	7009	6977	5003	6235	6048	6861	8337	5616	4012	6296	4923
5	4936	7359	4100	3089	0	3124	4973	4673	7743	8981	6415	8224	7715	6675	7156	5166	7131	6005	7348	7165	5971	4235	6810	5137
6	6055	8627	5123	4342	3124	0	3701	3404	6359	7603	5040	6900	6867	5839	6574	4527	8362	5231	7831	5806	6278	4683	7486	4563
7	7783	10484	6788	6388	4973	3701	0	4126	5099	6333	3736	5614	6306	5321	6863	5083	10176	5070	8907	4486	7484	6152	8717	5840
8	7213	9850	6100	5924	4673	3404	4126	0	6178	6965	4565	5824	5362	4349	5997	4219	9521	4205	8070	4982	6673	5411	7903	5058
9	10292	12943	9183	9001	7743	6359	5099	6178	0	4140	4486	4816	6755	6307	8292	6900	12611	6867	10859	4511	9588	8459	10789	8054
10	11484	13988	10395	10253	8981	7603	6333	6965	4140	0	5366	4978	6954	6605	8526	7460	13622	7413	11432	4986	10284	9378	11415	8900
11	8901	11457	7799	7656	6415	5040	3736	4565	4486	5366	0	4191	5492	4723	6720	5254	11107	5220	9214	3377	7965	6901	9156	6464
12	10353	12789	9388	9272	8224	6900	5614	5824	4816	4978	4191	0	5955	5672	7619	6411	12432	6369	10380	3912	9192	8206	10355	7744
13	8884	10812	8203	8146	7715	6867	6306	5362	6755	6954	5492	5955	0	3248	4130	3966	10381	3813	7504	5283	7159	6247	8096	5708
14	7819	9892	7076	7009	6675	5839	5321	4349	6307	6605	4723	5672	3248	0	4046	2951	9477	2892	6854	4783	6160	5264	7131	4730
15	7420	9093	6985	6977	7156	6574	6863	5997	8292	8526	6720	7619	4130	4046	0	4113	8651	4384	5667	6735	5584	5654	6447	4226
16	5936	8252	5084	5003	5166	4527	5083	4219	6900	7460	5254	6411	3966	2951	4113	0	7871	2618	5933	5531	4610	3614	5813	3132
17	4735	3939	4924	6235	7131	8362	10176	9521	12611	13622	11107	12432	10381	9477	8651	7871	0	8593	7066	11633	5566	7771	3943	6797
18	6619	8972	6058	6048	6005	5231	5070	4205	6867	7413	5220	6369	3813	2892	4384	2618	8593	0	6565	5489	5305	4337	6493	3855
19	6508	7533	6483	6861	7348	7831	8907	8070	10859	11432	9214	10380	7504	6854	5667	5933	7066	6565	0	9503	4621	6966	5229	5145
20	9523	12000	8470	8337	7165	5806	4486	4982	4511	4986	3377	3912	5283	4783	6735	5531	11633	5489	9503	0	8327	7389	9481	6913
21	5004	6026	5013	5616	5971	6278	7484	6673	9588	10284	7965	9192	7159	6160	5584	4610	5566	5305	4621	8327	0	5430	3639	3712
22	5403	8068	4431	4012	4235	4683	6152	5411	8459	9378	6901	8206	6247	5264	5654	3614	7771	4337	6966	7389	5430	0	6650	3718
23	4967	4407	5051	6296	6810	7486	8717	7903	10789	11415	9156	10355	8096	7131	6447	5813	3943	6493	5229	9481	3639	6650	0	4943
24	5253	7173	4854	4923	5137	4563	5840	5058	8054	8900	6464	7744	5708	4730	4226	3132	6797	3855	5145	6913	3712	3718	4943	0

Figura A.1: Matriz de distancias entre los distritos

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE B

MATRIZ DE CONTIGÜIDAD ENTRE LOS DISTRITOS

Los resultados obtenidos en el software Rstudio generan la matriz de contigüidad entre los distritos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
4	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
17	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
21	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
22	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
23	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1

Figura B.1: Matriz de contigüidad entre los distritos

Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

- ABOUELJINANE, L., Z. JEMAI y E. SAHIN (2013), «A review on simulation models applied to emergency medical service operations», *Computers and Industrial Engineering*, **66**(4), págs. 734–750.
- ADLER, N., A. S. HAKKERT, T. RAVIV, J. KORNBLUTH y M. SHER (2013), «Location allocation models for traffic police patrol vehicles on an interurban network», *Annals Operations Research*.
- ALVARADO, M. R. (2017), «Diseno de territorios para la recolección de residuos sólidos en áreas municipales», Tesis de Maestría, UANL, N.L., México.
- AMICO, S. J., J. WANG y C. M. BATTÀ, R. AND RUMP (2002), «A simulated annealing approach to police district design», *Computers and Operations Research*, (29), págs. 667–684.
- BERMAN, O., Z. DREZNER, D. KRASS y G. WESOŁOWSKY (2009), «The variable radius covering problem», *European Journal of Operational Research*, **196**(2), págs. 516–525.
- BERMAN, O. y D. KRASS (2005), «An improved IP formulation for the uncapacitated facility location problem», *Annals of Operations Research*, **136**(1), págs. 21–34.
- BOSCOE, F. P., H. A. y M. ZDEB (2012), «A Nationwide Comparison of Driving Distance Versus Straight-Line Distance to Hospitals», *The Professional Geographer*, **2**(64), págs. 188–196.

- BUCAREY LÓPEZ, V. (2014), «Un modelo matemático para el diseño de territorios basados en el plan cuadrante de seguridad preventiva de Carabineros de Chile», Tesis de Maestría, Universidad de Chile.
- CAMACHO, M. y F. LIBERATORE (2015), «A Decision Support System for predictive police patrolling», *Decision Support Systems*, (75), págs. 25–37.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2006), *Administración de la cadena de suministro estrategia, planeación y operación*, tercera edición.
- CIHAN, Y., A. AND ZHANG y L. HOOVER (2012), «Police response time to in-progress burglary. A multilevel analysis», *Police Quarterly*, **15**(3), págs. 308–327.
- COUPE, R. y L. BLAKE (2005), «The effects of patrol on workloads and response strength on arrests at burglary emergencies», *Journal of Criminal Justice*, **33**, págs. 239–255.
- CSCMP (2013), «Supply Chain Management Terms and Glossary of Council of Supply Chain Management Professionals», .
- CURTIN, K., K. HAYSLETT MCCALL y F. QIU (2007), «Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models», *Networks and Spatial Economics*.
- DAGAZNO, C. F. (1994), *Logistics systems analysis*, segunda edición, Springer Verlag.
- DASKIN, M. (2013), *Network and Discrete Location*, segunda edición, John Wiley and Sons.
- DE LA CRUZ, J. (2016), «Optimum allocation of police patrols in an ERS using stochastic simulation based on a performance restriction», *International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation*, **5**, págs. 22–26.
- DEMERS, S. y C. LANGAN (2016), «A note on the square root law for urban police travel times», *Journal of the Operational Research Society*.

- DUFOUR, J. G. y D. PARIER (1999), «Les transports de marchandises et la ville. L'expérience Française», Paper presented at the Conference Européenne des Ministres des Transports.
- FARAHANI, R. Z., N. ASGARI, N. HEIDARI, M. HOSSEININIA y M. GOH (2012), «Covering problems in facility location A review», *Computers and Industrial Engineering*, **62**, págs. 368–407.
- GALÁN GONZÁLEZ, J. R. (2004), «Posesión de coches y elección modal, el caso del Area Metropolitana de Monterrey», *Ensayos*, **2**(1), págs. 77–138.
- GOBIERNOMUNICIPAL (2013), «Plan de Desarrollo Urbano Sustentable 2013 2033 San Nicolás de los Garza», .
- GOLDEN, B., L. BODIN, T. DOYLE y W. J. STEWART (1980), «Approximate travelling salesman algorithms», *Operations Research*, **28**, págs. 694–711.
- GÓNZALEZ, J. A. (2002), «La Seguridad Pública en México», Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM.
- HILLIER, F. y G. LIEBERMAN (2010), *Introducción a la Investigación de Operaciones*, 9ª edición, McGraw Hill.
- INEGI (2017), «Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana», .
- INEGI (2019), «Informes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía», .
- JIA, H., F. ORDONEZ y M. DESSOUKY (2007), «Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies», *Computers and Operations Research*, **52**(2), págs. 257–276.
- JONG, T., J. MARITZ y J. RITSEMA VAN ECK (2001), *Using optimisation techniques for comparison of the accessibility criteria of facility siting scenarios; a case study of siting police stations in South Africa Bushbuckridge area*, segunda edición, John Wiley and Sons.

- LAGORIO, A. y G. R. RUGGERO (2015), «Research in urban logistics: a systematic literature review», *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **46**.
- LARSON, R. C. y A. R. ODONI (1981), *Urban Operations Research*, Prentice Hall.
- LI, X., Z. ZHAO, X. ZHU y T. WYATT (2011), «Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning a review», *Mathematical Methods of Operations Research*, **74**(3), págs. 281–310.
- MITCHELL, P. (1972), «Optimal selection of police patrol beats», *Journal of Criminal Law and Criminology*, **63**(4), págs. 577–584.
- NORTE, E. (2019), «Mapas de robos», Grupo Reforma, <https://gruporeforma.elnorte.com/libre/offlines/mty/mapas/mapaderobos.htm>.
- ONU (2012), «Encuesta sobre tendencias criminales», Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), Austria.
- ROBUSTÉ, F., J. M. CAMPOS y D. GALVÁN (2000), «Nace la Logística Urbana», Actas del IV Congreso de Ingeniería del Transporte.
- SHER, M., N. ADLER y A. HAKKERT (2008), «The police vehicle location-allocation problem», International Conference on Industrial Logistics, Israel.
- TEITZ, M. y P. BART (1968), «Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph», *Operations Research*, **16**(5), págs. 955–961.
- THORNDYKE, B. (2015), «Police response time to domestic violence calls and its effects», Master's thesis, Boise State University: Boise, ID.
- TOREGAS, C., R. SWAIN, C. REVELLE y L. BERGMAN (1971), «The location of emergency services facilities», *Operations Research*, (19), págs. 1363–1373.
- WHITAKER, R. (1983), «A fast algorithm for the greedy interchange of large-scale clustering and medianlocationproblems», *INFOR*, **21**, págs. 95–108.

ZHANG, Y. y D. BROWN (2013), «Police patrol is tricting method and simulation evaluationusingagent-basedmodel and GIS», *SecurityInformatics*.

ZHANG, Y. y D. BROWN (2014), «Simulation Optimization of Police Patrol District Design Usingan Adjusted Simulated Annealing Approach», Symposium on Theory of Modeling and Simulation, Tampa- Florida.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Adrian Alejandro Román Acosta

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

DISEÑO DE TERRITORIOS DE COBERTURA PARA LAS PATRULLAS
DE POLICÍAS

Nacido en Cienfuegos, Cuba, el 11 de noviembre de 1992. Mis padres, Juan Andrés Román Albelo y Odalys Acosta Rodríguez de origen igualmente cienfueguero. Graduado de Ingeniería Industrial en la Universidad de Cienfuegos en Cuba en el año 2016. Experiencia laboral de un año en una empresa de servicios portuarios en el área de gestión comercial. En el año 2017 me trasladé a México para dedicarme a tiempo completo a la Maestría en Logística y Cadena de Suministro en la Universidad Autónoma de Nuevo León.