



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE SERVICIOS DE EMERGENCIA,
CASO MÉXICO - TOLUCA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. DAGOBERTO ZAMORA ERAZO

TUTOR PRINCIPAL
DR. JOSÉ JESÚS ACOSTA FLORES
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. NOVIEMBRE 2015

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. Rivera Colmenero José Antonio

Secretario: Dr. Aceves García Ricardo

Vocal: Dr. Acosta Flores José Jesús

1^{er} Suplente: M. I. Guzmán Castro Luis Alejandro

2^{do} Suplente: M. C, Del Moral Dávila Manuel

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, México D.F.

TUTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ JESÚS ACOSTA FLORES

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Dagoberto Zamora Orozco y Jesús Mireya Erazo Acuña, por el apoyo incondicional, motivación, cariño y amor que me han brindado y seguirán brindando.

A Sergio y Arturo, porque no pude tener mejores hermanos que ellos.

A mi director de tesis Dr. José Jesús Acosta Flores, por la paciencia, motivación y dedicación prestada a lo largo de la maestría.

A mis amigos que siempre estuvieron apoyándome en todo momento.

A mis maestros del posgrado de ingeniería por motivarme a terminar y no rendirme en ningún momento.

ÍNDICE

Introducción.....	i
Objetivo General	i
Objetivo específicos.....	ii
Capítulo 1. Los servicios de atención a emergencias en las carreteras	1
1.1 Definición de Emergencia y servicio de atención a Emergencias	1
1.2 Modelos de sistema de atención de emergencia.....	3
1.3 Accidentes de tránsito en carreteras.....	5
1.3.1 Factores de los accidentes	7
1.4 Tiempo de respuesta	13
1.5 Situación actual carretera México – Toluca.....	13
Capítulo 2. Medidas Preventivas y Correctivas.....	21
2.1. Matriz de Haddon.....	21
2.2. Auditorias de seguridad vial	23
2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	24
Capítulo 3. Metodología general de los modelos de Investigación de Operaciones	25
3.1 Clasificación de los Problemas de Optimización	29
3.2 Teoría de Localización.....	32
3.2.1 Modelos de localización de servicios	33
3.3 Conceptos básicos de los Sistemas de Información Geográfica	35
Capítulo 4. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en el modelo de análisis	38
4.1 Modelo Maximal Service Area Problem (MSAP).....	38
4.2 Justificación del uso del modelo	41
4.3 Metodología SIG	41
4.4 Planteamiento del problema con el modelo MSAP.....	44
4.5 Resultados del diagnóstico de la carretera México – Toluca	46
Capítulo 5. Resultados y conclusiones.....	54

5.1	Resultados.....	54
5.2	Conclusiones.....	59
	Bibliografía	61

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Accidentes registrados en carreteras por tipo	9
Gráfica 2. Accidentes registrados en carreteras federales anual	10
Gráfica 3. Comparativo mensual de accidentes en carretera federal 2013 - 2014	10
Gráfica 4. Composición Vehicular de Carretera México – Toluca	19
Gráfica 5. Cobertura de la carretera México - Toluca Impedancia de 10 minutos	50
Gráfica 6. Cobertura de la carretera México - Toluca Impedancia de 20 minutos	51
Gráfica 7. Cobertura total de carretera México - Toluca	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Incidencias en las carreteras federales en febrero 2015 por estado.	11
Figura 2. Ubicación del extremo paseo de la reforma y constituyentes Distrito Federal.	14
Figura 3. Ubicación del extremo paseo de la reforma y constituyentes Distrito Federal vista del satélite.	15
Figura 4. Ubicación del extremo paseo Tollocan y José María Pino Suarez, Toluca de Lerdo.	16
Figura 5. Ubicación del extremo paseo Tollocan y José María Pino Suarez, Toluca de Lerdo vista del satélite de google.	16
Figura 6. Zonas de mortalidad sobre todo el tramo carretero.	20
Figura 7. Fases de un proyecto de Investigación de Operaciones.	26
Figura 8 . Fases de un proyecto de Investigación de Operaciones.	27
Figura 9. Metodología para los problemas de optimización.	28
Figura 10. Ciclo de un Sistema de Información Geográfico.	36
Figura 11. Impedancia en minutos (Escala de colores ArcGIS 10.1)	49
Figura 12. Zona de cobertura de área de servicio de la carretera México – Toluca.	53
Figura 13. Localización de los Sistemas de Atención Médica.	55
Figura 14. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 1.	56
Figura 15. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 2.	57
Figura 16. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 3.	58
Figura 17. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 4.	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Instituciones educativas que otorgan el título de técnico en urgencias médicas y atención pre-hospitalaria en México.....	4
Tabla 2. Clasificación vehicular según la DGST de la SCT.	18
Tabla 3. Matriz de Haddon	22
Tabla 4. Matriz de impacto cruzado para el caso de estudio.....	45
Tabla 5. Tipo de vehículos fracciones I y II	48
Tabla 6. Límites de velocidad para tramos sin dispositivo de control de velocidad.....	48

Introducción

Los accidentes de tránsito dejaron de ser eventos pasajeros y hoy son considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como un problema de salud pública mundial, ya que ocupan el lugar número nueve de causas de muerte en el mundo (OMS, 2004). De acuerdo a cifras brindadas por la OMS cada día alrededor de 3.500 personas fallecen en las carreteras. Decenas de millones de personas sufren heridas o discapacidades cada año. Los niños, los peatones, los ciclistas y los ancianos son los usuarios más vulnerables de la vía pública. A nivel mundial, 1.3 millones de personas fallecen como consecuencia de los accidentes de tránsito.

En lo que respecta en México, de acuerdo con la Comisión Nacional de Seguridad (CNS) las cifras de accidentes en la red de carreteras federales en México ascienden a 17,939 en el año 2014 y en lo que va del año 2015 han ocurrido 7,015 con una cifra estimada de daños materiales de 4,384,894,601 (CNS, 2015). Los reportes que genera la Policía Federal, indican que las causas de los accidentes en las carreteras federales, son alrededor del 80%, estas se deben al conductor, 7% al vehículo, 9% a los agentes naturales y solo el 4% al camino.

Para el presente trabajo se planteará una metodología para la localización de Sistemas de Atención Médica en el caso de estudio de la carretera México – Toluca utilizando los Sistemas de Información Geográfica.

Objetivo General

El objetivo del proyecto es desarrollar una metodología para la localización de las áreas de servicio de atención médica en la carretera México – Toluca, mediante el análisis geoespacial de tal manera que se generen datos e información para la elaboración de productos de información.

Objetivo específicos

Los objetivos específicos al desarrollar este proyecto son:

- Conocer las herramientas de análisis disponibles para la localización de áreas de servicio más eficiente en el estudio de la carretera México - Toluca.
- Identificar los puntos negros de la carretera México - Toluca.
- Conocer herramientas para el análisis espacial de la accidentalidad vial.

Capítulo 1. Los servicios de atención a emergencias en las carreteras

En este capítulo tocaremos los temas de emergencias y sus servicios de atención poniendo mayor énfasis en el tema de accidentes en carretera. Se muestra cómo operan los servicios de emergencia en carreteras, así como información relevante acerca de las actividades de los paramédicos. La importancia de la atención pre-hospitalaria y el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia como medidas reactivas en el tema de accidentes de tránsito.

1.1 Definición de Emergencia y servicio de atención a Emergencias

Una emergencia es: “una situación de peligro o desastre que requiere una acción inmediata” conforme lo define la Real Academia Española (RAE) (RAE, 2014).

La definición de emergencia suele ser usada por la gran mayoría de nosotros para referirse a una situación fuera de control que se desarrolló como consecuencia de un desastre. Generalmente, estaremos ante una auténtica situación de emergencia cuando un suceso determinado inesperado, eventual y muy desagradable altera la tranquilidad reinante en una comunidad pudiendo ocasionar no solamente importantísimos daños materiales y víctimas fatales, sino también afectar la estructura social y económica de la sociedad en cuestión, pero sin que esta situación exceda la capacidad de respuesta que pueda darle esa misma comunidad para disminuir o minimizar sus efectos.

Las emergencias y los tipos de servicios para la atención de éstas, dependen en gran mayoría de la magnitud y la naturaleza del suceso. Ejemplo de estos servicios son: policiaca, bomberos, protección civil, atención médica, emergencias sanitarias, desastres naturales, accidentes de tránsito, situaciones de caos, por mencionar algunos.

Los servicios de emergencia médica, se aplica generalmente al componente del servicio de ambulancia que responde a una emergencia médica o quirúrgica en el propio lugar, estabiliza a la víctima de una enfermedad o traumatismo súbito mediante tratamiento médico de emergencia en el lugar del hecho y transporta al paciente a un establecimiento médico para el tratamiento definitivo (K. Holtermann & A. Ross, 2003). Para las víctimas de cualquier tipo de accidente, el tiempo de respuesta, es decir, el tiempo que transcurre desde que se da aviso al servicio de emergencia hasta que este llega al lugar del siniestro, es fundamental. En un accidente de tránsito, es necesario que el tiempo de arribo de las ambulancias o servicios médicos sea mínimo para la pronta atención de las víctimas, sin embargo, en algunos casos el acceso de las ambulancias o unidades de rescate al lugar del siniestro es imposible, por no haber retornos inmediatos en las carreteras.

Otro factor a tomar en cuenta en el servicio médico de emergencia es el tiempo de respuesta, se caracteriza por la capacidad que se debe tener al responder a cualquier suceso, brindando ayuda y auxilio, debe ser rápido y eficaz, se presume que a menor tiempo de respuesta hay mayor probabilidad de salvar vidas o evitar catástrofes.

El tiempo de respuesta, la calidad de la supervisión médica y el tratamiento de los pacientes son factores críticos que determinan el número de vidas que pueden ser salvadas y la calidad de vida de los sobrevivientes.

Los autores Stefan Felder y Henrik Brinkmann mencionan en su publicación que:

El tiempo de respuesta es un factor crítico para los pacientes de emergencias ya que determina en gran medida el número de vidas que pueden ser salvadas, así como la calidad de vida de aquellos que sobreviven (S. Felder & H. Brinkmann, 2002).

1.2 Modelos de sistema de atención de emergencia

Los modelos de sistema de atención de emergencia son estructuras, gestionadas por organizaciones públicas o privadas cuyo principal objetivo es ser la referencia para la asistencia sanitaria urgente del ciudadano, facilitándole el acceso al sistema sanitario y proporcionando los medios necesarios para resolver las situaciones de urgencia percibida, es decir, la sensación subjetiva de necesidad de atención urgente por parte de la población.

La estructura de un sistema integral de atención de emergencias es definida por los siguientes elementos: Una central de llamadas, el centro coordinador de emergencias, los sistemas de comunicaciones, el sistema de transporte, el personal, el sistema de gestión propio, el sistema logístico y el sistema de control de calidad. Entonces, se deben considerar los dos modelos de atención de emergencia:

- **Anglo-Americano:** es un modelo de atención a emergencias en el que la intervención se realiza en un solo paso no médico. Los pacientes son llevados al hospital de atención a emergencias siendo los paramédicos o técnicos en urgencias médicas los encargados de dar a las víctimas la primera atención. Las características particulares de este modelo residen en el modo de realizar la recepción y gestión de las llamadas, en la formación del personal de emergencias y en el sistema de transporte (C. Fernández & S. Manso, 2014).
- **Franco-Alemán:** el modelo consiste en que el sistema de emergencia lleva consigo a médicos y toda la tecnología es llevada al lugar del siniestro con el propósito de proveer un nivel más alto de atención de emergencia antes de que las víctimas sean trasladadas a un hospital (González, 2013).

En nuestro país México es utilizado en gran mayoría el modelo Anglo-Americano, que consiste en llevar paramédicos al suceso, quienes brindarán los primeros auxilios para

después trasladar a las víctimas a los hospitales y hasta ese momento brindarles un servicio médico de mayor calidad. En este modelo podemos observar que el papel del paramédico es de gran importancia en el sistema de atención de emergencia. Cabe aclarar que también en México algunas compañías privadas de sistema de atención de emergencia cuentan con el modelo Franco-Alemán pero son de un costo muy elevado, por lo que en gran mayoría encontramos el modelo antes mencionado.

Una vez identificado que en México se frecuenta el usar el modelo Anglo-Americano retomaremos el tema con el factor más importante de este mismo que son los paramédicos o técnicos en urgencias médicas (TUM). Un Técnico en Urgencias Médicas es una persona preparada para brindar auxilio de atención pre-hospitalaria. En México se cuentan con instituciones para obtener el título de Técnico en Urgencias Médicas (TUM) y que además son aprobadas por la Secretaria de Salud las cuales son:

Tabla 1. Instituciones educativas que otorgan el título de técnico en urgencias médicas y atención pre-hospitalaria en México

Universidad	Título que otorga
Universidad de Guadalajara	TSU en emergencias, seguridad ocupacional y rescate
Universidad Centro Universitario Interamericano en Puebla	TSU en emergencias médicas y desastres
Colegio Latino-americano de Educación Avanzada	TSU paramédico por medio de un programa de educación a distancia
Universidad Tecnológica de Zona Metropolitana de Guadalajara, Aguascalientes y Hermosillo	TSU paramédico
Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM)	TSU en urgencias médicas
Universidad Tecnológica del valle de Toluca y Ciudad Juárez	TSU en Atención Pre-hospitalaria

Fuente: Elaboración propia.

1.3 Accidentes de tránsito en carreteras

Un accidente es un evento inesperado que es ocasionado por fuerzas externas. El accidente de tránsito vehicular es una ocurrencia que tiene espacio y temporalidad y que resulta del efecto que causan personas y vehículos en movimiento, cuando éstos comparten un espacio geográfico. Es decir, se requiere la participación, de por lo menos, un vehículo en movimiento cuyo control está a cargo de un conductor que, posibilita el desplazamiento de su vehículo dentro de los límites impuestos por la infraestructura, reglamentaciones y la presencia de otros en la vía (Luna, 1997).

La Comisión Nacional de Seguridad menciona que los accidentes de carretera son hechos que se presentan en las carreteras súbita e inesperadamente, determinados por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles, atribuidos a factores humanos, vehículos automotores, condiciones climatológicas, señalización y caminos, los cuales ocasionan pérdidas humanas y/o lesiones, así como secuelas físicas o psicológicas y daños materiales (CNS, 2015).

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) define como accidente de tránsito al percance vial que se presenta súbita e inesperadamente, determinado por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles, atribuidos a factores humanos, vehículos preponderantemente automotores, condiciones climatológicas, señalización y caminos, los cuales ocasionan pérdidas prematuras de vidas humanas y/o lesiones, así como secuelas físicas o psicológicas, perjuicios materiales y daños a terceros (INEGI, 2013).

Los accidentes pueden condicionar la necesidad de asistencia médica. Particularmente, los accidentes viales en carretera causan además de miles de muertes al año a nivel mundial un considerable número de discapacitados y daños materiales.

De acuerdo a cifras brindadas por la OMS cada día alrededor de 3,500 personas fallecen en las carreteras. Decenas de millones de personas sufren heridas o discapacidades cada año. Los niños, los peatones, los ciclistas y los ancianos son los usuarios más vulnerables de la vía pública. A nivel mundial, 1.3 millones de personas fallecen como consecuencia de los accidentes de tránsito.

Pero no solo brindar pronta atención a las víctimas es importante, sino también asistir al medio físico donde ocurrió el siniestro ya que en ocasiones los señalamientos, asfalto u otros objetos son dañados provocando el mal estado de la carretera.

La OMS colabora con asociados - gubernamentales y no gubernamentales - en todo el mundo para prevenir los accidentes de tráfico y promover las buenas prácticas como el uso del casco o del cinturón de seguridad, no beber y conducir, y evitar los excesos de velocidad.

De acuerdo con la Comisión Nacional de Seguridad (CNS) las cifras de accidentes en la red de carreteras federales en México ascienden a 17,939 en 2014 y en lo que va del año 2015 han ocurrido 7,015 con una cifra estimada de daños materiales de 4,384,894,601 (CNS, 2015).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el periodo comprendido entre los años 1997 al 2009 se registraron en promedio 387,299 (trescientos ochenta y siete mil doscientos noventa y nueve) accidentes de tránsito terrestres en zonas urbanas y suburbanas (INEGI, 2011).

De acuerdo con datos del Instituto de Seguros para la Seguridad en Carreteras, (por sus siglas en inglés: *Insurance Institute for Highway Safety*) (González, 2013), en Estados Unidos, 33,808 personas murieron por accidentes de tránsito en el año 2009, los costos monetarios, reportados por dicho instituto, exceden a los 200 billones de dólares anuales.

1.3.1 Factores de los accidentes

Los accidentes de tránsito dejaron de ser eventos pasajeros y hoy son considerados por la Organización Mundial de la Salud como un problema de salud pública mundial, ya que ocupan el lugar número nueve de causas de muerte en el mundo (OMS, 2004). Ahora mencionaremos algunos factores que existen que pueden provocar un accidente carretero, podemos mencionar (CNS, 2015):

- **Factor Humano:** Se refiere a la influencia del conductor en los vehículos, los cuales pueden ocasionar, por algunos estados físicos accidentes de tránsito. Los factores humanos son la causa del mayor porcentaje de accidentes de tránsito, debido a las principales causas siguientes:
 - Conducir bajo los efectos del alcohol, medicinas y estupefacientes.
 - Realizar maniobras imprudentes y de omisión por parte del conductor, por ejemplo; no respetar los señalamientos viales.
 - Conducir a exceso de velocidad (produciendo vuelcos, salida del automóvil de la carretera, derrapes).
 - Salud física del conductor (ceguera, daltonismo, sordera).
 - Conducir con fatiga, cansancio o con sueño.

- **Factor Mecánico:** El buen estado de los vehículos es sin duda primordial para

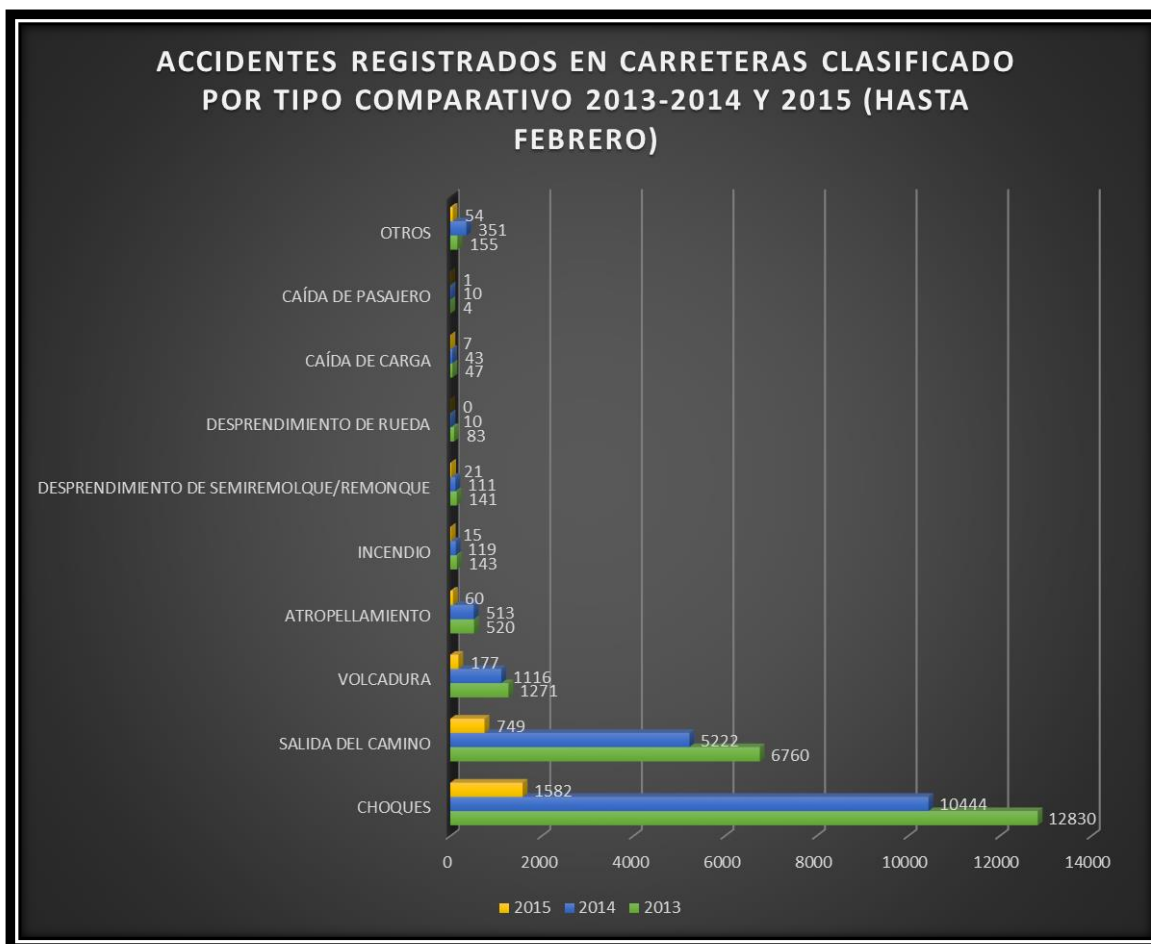
garantizar una disminución en los índices de accidentes de tránsito, desde una llanta en mal estado hasta una falla en el motor ha ocasionado accidentes mortales.

- Vehículo en condiciones no adecuadas para su operación (sistemas averiados de frenos, eléctricos, dirección o suspensión).
- Mantenimiento inadecuado del vehículo.
- Factor Climatológico: Se refiere a todo evento asociado con la naturaleza que ponga en peligro la vida de los usuarios de los caminos, por ejemplo: una mala visibilidad del camino
 - Niebla, humedad, derrumbes, zonas inestables, hundimientos.
- Factor estructural de tránsito: Los caminos como toda infraestructura, requieren de mantenimiento constante, y más aún si las vías son utilizadas con mucha frecuencia por automóviles con carga pesada, además algunos accidentes de tránsito pueden provocar daños a los muros de contención, señalamientos o la carretera misma.
 - Errores de señalamientos viales.
 - Carreteras en mal estado o sin mantenimiento (baches, hoyos, pavimento deteriorado).
 - La falta de pintura y reflejantes en las líneas centrales y laterales de la carretera.

Los reportes que genera la Policía Federal, indican que las causas de los accidentes en las carreteras federales, alrededor del 80% de las veces se deben al conductor, 7% al vehículo, 9% a los agentes naturales y solo el 4% al camino.

En el gráfico 1 nos muestran los accidentes que se han registrado en las carreteras federales en los años 2013, 2014 y 2015, revisando que los accidentes que tienen mayor frecuencia son los de impacto (choque) con paredes de contención, vehículos, árboles entre otros.

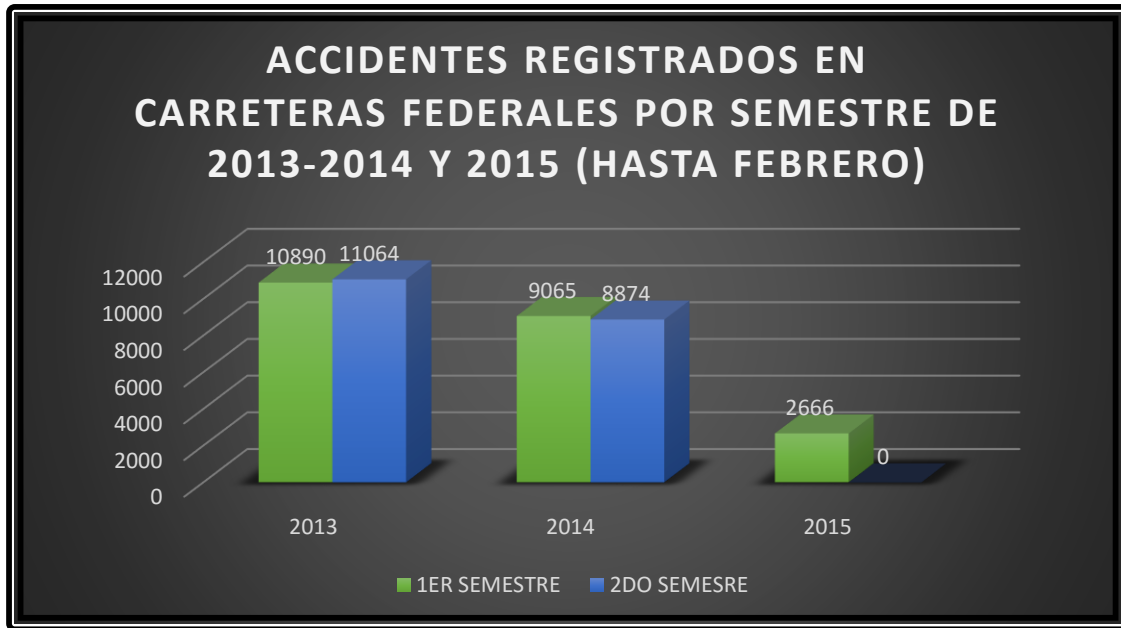
Gráfica 1. Accidentes registrados en carreteras por tipo



Fuente: Elaboración propia con base los Datos Comisión Nacional de Seguridad

El total de accidentes registrados en las carreteras federales en el 2013 ascienden a 21954 accidentes, en el 2014 se registraron 17939 accidentes notando que hubo una disminución de 4015 accidentes, todos los datos antes mencionados podrán analizarse en el gráfico 2 que nos muestra la Comisión Nacional de Seguridad (CNS) dividido por semestre.

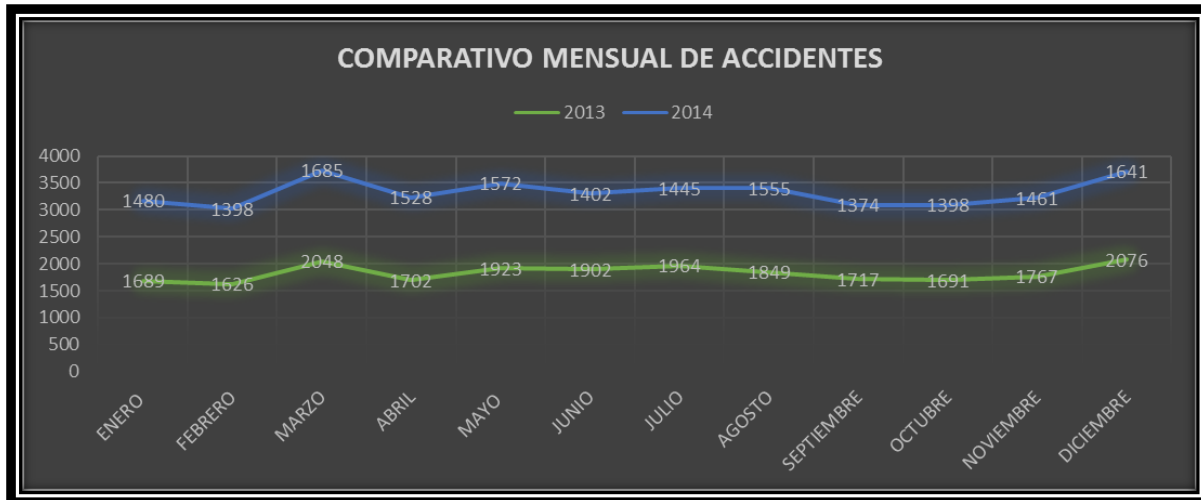
Gráfica 2. Accidentes registrados en carreteras federales anual



Fuente: Elaboración propia con base los Datos Comisión Nacional de Seguridad

En el gráfico 3 se hace una comparación mensual de los accidentes de los años 2013 y 2014 proporcionados por la Comisión Nacional de Seguridad.

Gráfica 3. Comparativo mensual de accidentes en carretera federal 2013 - 2014



Fuente: Elaboración propia con base los Datos Comisión Nacional de Seguridad

En la figura 1 se registran las incidencias de febrero 2015 que se han ocasionado en

las carreteras federales reportados por los estados.

Figura 1. Incidencias en las carreteras federales en febrero 2015 por estado.

Fuente: Comisión Nacional de Seguridad

Para la Organización Mundial de la Salud la seguridad vial tiene especial atención en siete factores de riesgo, los cuales son:

1. Exceso de velocidad

En la mayoría de los caminos y carreteras del país existen señalamientos acerca de las velocidades permitidas para los usuarios de los mismos, sin embargo no en todos los casos se respetan, además actualmente los automóviles pueden alcanzar velocidades superiores a las permitidas por los caminos. De acuerdo con la ONU, reducir la velocidad un kilómetro puede disminuir las colisiones entre vehículos entre un 4% y 5%, además también protege más a los peatones.

2. Conducción bajo los efectos del alcohol

Ingerir bebidas alcohólicas es un detonante para sufrir accidentes en carretera, especialmente si se combina con algún medicamento u otra sustancia que afecte el buen estado del conductor. En algunos países el nivel de alcoholemia permitido para los jóvenes es más bajo que para los adultos.

3. Cinturones de seguridad

Estudios del Reino Unido, muestran que, en general, los jóvenes del sexo masculino, no utilizan cinturón de seguridad, y aunque no solo hombres sino población en general debe usar este dispositivo ya que puede salvar la vida en caso de un

accidente de tránsito. Usarlo puede reducir el riesgo de cualquier tipo de traumatismos desde un 40% y hasta un 50% y en el caso de traumatismos fatales desde un 40% al 60% (OMS, 2011).

4. Dispositivos de seguridad para niños

Cuando ocurre un accidente de tránsito es fundamental que, en especial, los niños pequeños y bebés estén asegurados a las sillas o dispositivos de seguridad ya que la vulnerabilidad que presentan es muy alta. De acuerdo con datos de la ONU el índice de mortandad por traumatismos en bebés disminuye en un 71% y en niños pequeños en un 54%.

5. Uso de cascos

Para los conductores de vehículos de dos ruedas, como motocicletas, bicicletas y ciclomotores es fundamental que el uso del casco sea obligatorio ya que de esta manera se reducen los traumatismos craneoencefálicos así como muertes por colisiones con otros vehículos. Se ha estimado que el uso de cascos puede reducir los traumatismos craneoencefálicos hasta en un 70% (OMS, 2011).

6. Diseño e infraestructura de las carreteras

Separar el tipo de tránsito que circula por los caminos así como diseñar paso de peatones y vehículos de dos ruedas, mejorar la infraestructura en carreteras para disminuir la velocidad de los automóviles entre muchas otras medidas, puede ayudar a mejorar el tránsito de los vehículos, generando a su vez menos accidentes de tránsito.

7. Servicios de Emergencia

Debido a que los Servicios de Emergencia son vitales para salvar las vidas, se debe dar atención oportuna a las víctimas antes de ser hospitalizadas y también rehabilitarlas para mejorar su calidad de vida.

1.4 Tiempo de respuesta

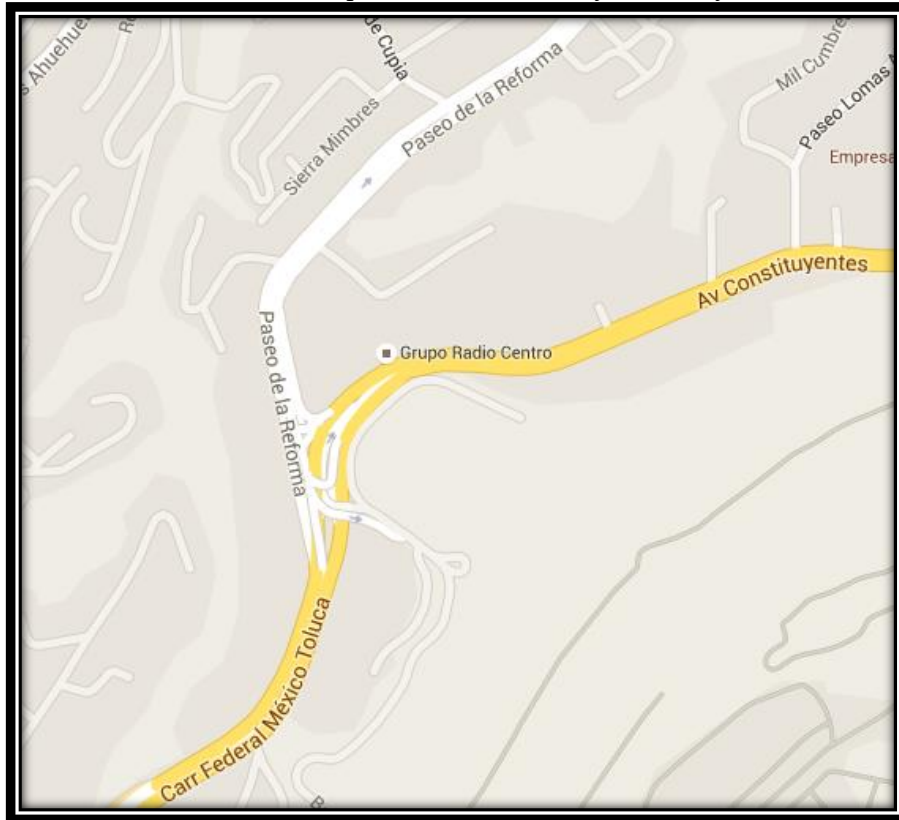
El tiempo de respuesta de los servicios de emergencia es fundamental para las víctimas de accidentes de tránsito, ese tiempo corresponde al intervalo de tiempo entre el aviso o llamada a los servicios de emergencia y el arribo de los mismos al siniestro.

Para identificar el tiempo de respuesta ideal se deben tomar diferentes factores de análisis, más sin embargo se puede concluir que no se puede tener un estimado ya que el tiempo de respuesta diferirá mucho de los eventos alternos, ejemplo situación climatológica, avería del transporte entre otros.

1.5 Situación actual carretera México – Toluca

La carretera México – Toluca comienza en la ciudad de México, en la delegación Álvaro Obregón, en el entronque de Av. Constituyentes y Paseo de la Reforma; termina en el estado de México, en el municipio de Toluca, en el entronque del Boulevard José María Pino Suárez y Av. Paseo Tollocan. La longitud aproximada de la carretera es de 82.7 Km. En las figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran las ubicaciones de los extremos de la carreta.

Figura 2. Ubicación del extremo paseo de la reforma y constituyentes Distrito Federal.



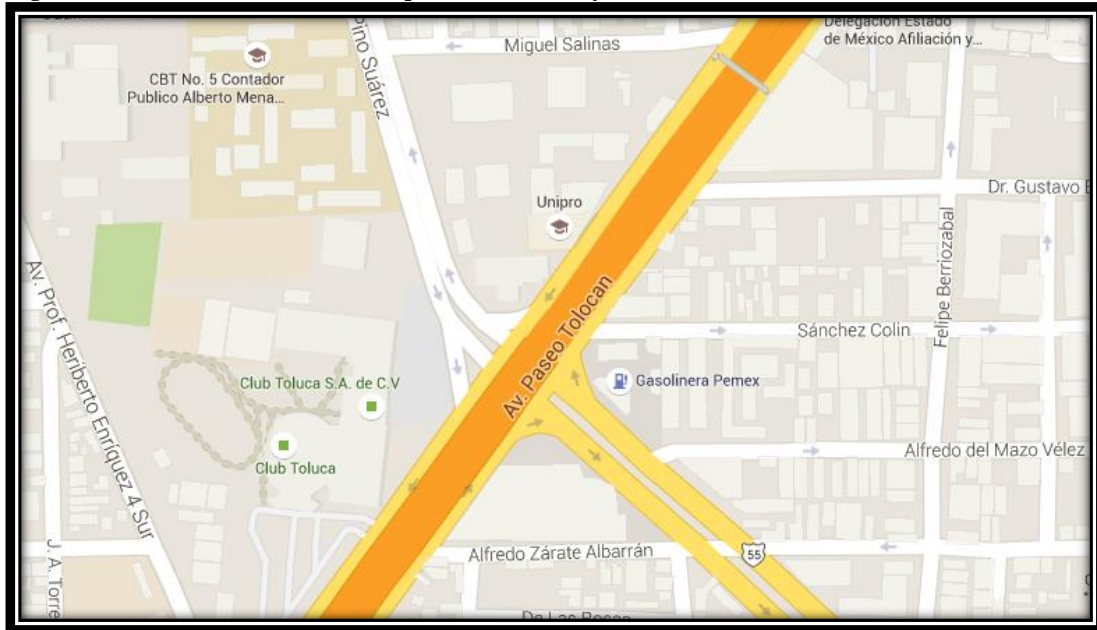
Fuente: Google Maps

Figura 3. Ubicación del extremo paseo de la reforma y constituyentes Distrito Federal vista del satélite.



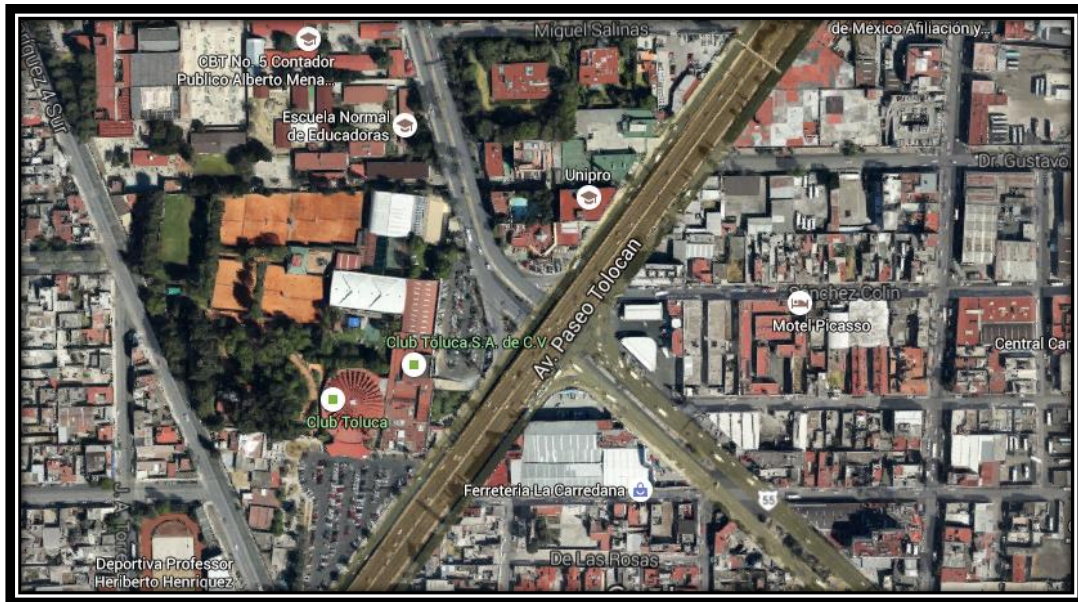
Fuente: Google Earth

Figura 4. Ubicación del extremo paseo Tollocan y José María Pino Suarez, Toluca de Lerdo.



Fuente: Google Maps

Figura 5. Ubicación del extremo paseo Tollocan y José María Pino Suarez, Toluca de Lerdo vista del satélite de google.



Fuente: Google Earth

Dentro de los aspectos medioambientales que se consideran como factores de riesgo vial están los climáticos, ya que directamente perjudican la capacidad de los conductores al manejar y para mantener una distancia aceptable con respecto

a los demás vehículos. En particular la lluvia y las temperaturas extremas tienen un efecto directo entre la vía de circulación y el conductor (Correa, 2015).

La precipitación anual que se presenta en la carretera México – Toluca de acuerdo a información de CONABIO nos arroja que la precipitación media anual esta entre 1200 mm – 1500 mm entre el km. 30 y 40 que es la zona más húmeda de toda la carretera.

La carretera México – Toluca también cruza por dos zonas térmicas, a la altura de la Marquesa, desde el municipio de Cuajimalpa hasta Ocoyoacac, se considera de acuerdo a CONABIO como zona térmica semifría con temperaturas media anual que van de 5° a 12°C y las zonas extremas de la carretera presentan temperaturas templadas que van de 12° a 18°C (Correa, 2015).

Analizando aún más la carretera México – Toluca es importante la clasificación vehicular que existe, la cual se refiere a los tipos de vehículos que integran el tránsito; ésta se presenta de acuerdo con la simbología determinada por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) (ver tabla 2).

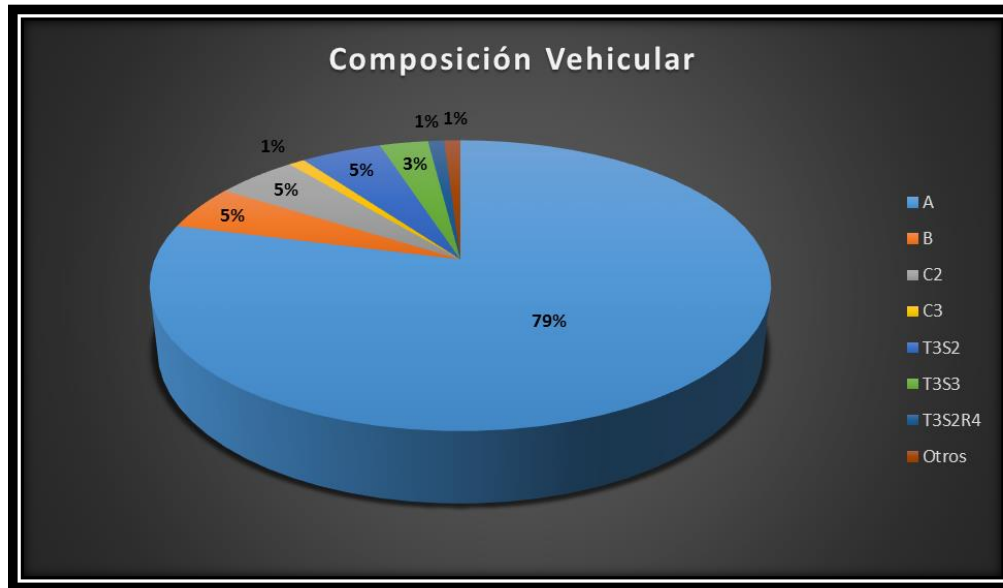
Tabla 2. Clasificación vehicular según la DGST de la SCT.

Tipo de vehículo	Descripción
A	Automóviles
B	Autobuses
C2	Camiones Unitarios de 2 ejes
C3	Camiones Unitarios de 3 ejes
T3S2	Tractor de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes
T3S3	Tractor de 3 ejes con semirremolque de 3 ejes
T3S2R4	Tractor de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes y remolque de 4 ejes
Otros	Considera otro tipo de combinaciones de camiones de carga

Fuente: Elaborado con base en DGST, 2009.

En el gráfico 4 se analiza la composición vehicular de la carretera México – Toluca, donde el mayor aforo registrado por tipo de vehículo (más de tres cuartas partes) corresponde a automóviles, ocupando proporciones similares los autobuses, camiones unitarios de 2 ejes y tractor de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes (Correa, 2015).

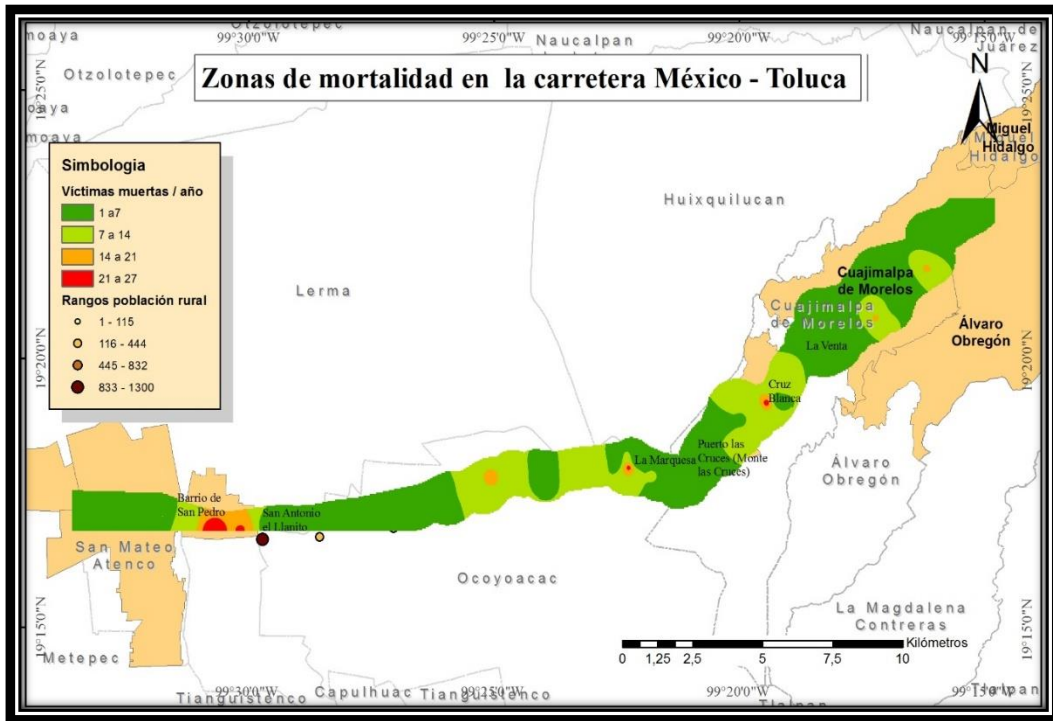
Gráfica 4. Composición Vehicular de Carretera México – Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de Correa Vargas, Ricardo.

En estudios que se han realizado en la carretera México – Toluca se puede encontrar algunos “puntos negros” que son aquellos lugares en donde se presentan mayor número de accidentes, sitios en los que se deberán adoptar medidas correctivas y/o preventivas. Los puntos negros del tema de estudio se localizaran en la figura 6, que es donde hay mayor número de víctimas muertas.

Figura 6. Zonas de mortalidad sobre todo el tramo carretero.



Fuente: Trabajo de Correa Vargas, Ricardo.

Capítulo 2. Medidas Preventivas y Correctivas

Las medidas que se pueden tomar en el tema de los accidentes de tránsito, se pueden clasificar en tres niveles:

- Nivel primario: Antes de la ocurrencia de los accidentes
- Nivel secundario: Donde se actúa con rapidez cuando suceden los siniestros
- Nivel terciario: Rehabilitación de las actividades en los dos niveles anteriores

Existen algunas herramientas para prevenir los accidentes, algunas son la matriz de Haddon, Auditorias de seguridad vial y los sistemas de información geográfica (SIG).

2.1. Matriz de Haddon

La matriz de Haddon realizada por William Haddon en 1970, representa un sistema dinámico, y cada una de sus nueve celdas puede entenderse como un área con posibilidades específicas de intervención para reducir las lesiones causadas por el tránsito. El enfoque sistémico basado en la matriz de Haddon permite identificar las cuatro posibles estrategias de reducción de las lesiones de tráfico: la reducción de la exposición a los riesgos viales; la prevención de los accidentes de tráfico; la disminución de la gravedad de las lesiones en caso de accidente; y la mitigación de las consecuencias de los traumatismos mediante una mejor atención al accidentado (Haddon, 1968).

La matriz está formada por dos dimensiones, la primera son las tres fases temporales del accidente vial: antes (pre-accidente), durante (accidente) y después (post-accidente) y la segunda dimensión se trata de los factores que

intervienen en el accidente, que fueron mencionados en el capítulo anterior (factor humano, vía y vehículo). El modelo resultante simula un sistema de nueve celdas, en el que se tiene una posibilidad de intervención para reducir los traumatismos causados por los accidentes (Baeza, 2015).

Es así que el enfoque sistémico dinámico tiene como objetivo identificar y corregir las principales fuentes de error y los comportamientos peligrosos que contribuyen a los accidentes de tráfico, así como mitigar la gravedad y las consecuencias de los traumatismos en el largo plazo.

En la tabla 3 se observa el esquema más utilizado de la matriz de Haddon.

Tabla 3. Matriz de Haddon

Matriz de Haddon				
Fases		Factores		
		Ser Humano	Vehículos y equipo	Entorno
Antes del accidente	Prevención de accidentes	Información, Actitudes, Conducción bajo los efectos del alcohol o droga, Aplicación de la reglamentación por la policía	Buen estado técnico, Luces, Frenos, Maniobrabilidad, Control de la velocidad	Diseño y trazado de la vía pública, Límites de velocidad, Vías peatonales
Accidente	Prevención de lesiones durante el accidente	Uso de dispositivos de sujeción, Conducción bajo los efectos del alcohol o drogas	Dispositivos de sujeción para los ocupantes, Otros dispositivos de seguridad	Objetos protectores contra choques al lado de la acera
Después del accidente	Conservación de la vía	Primeros auxilios, Acceso a atención médica	Facilidad de acceso, Riesgo de incendio	Servicios de socorro, Congestión

Esta matriz puede ser utilizada para el estudio de un solo accidente o para un

conjunto de ellos ya que ayuda al investigador a ordenar toda la información relacionada sobre los accidentes.

2.2. Auditorias de seguridad vial

La auditoría es el proceso que consiste en el examen crítico, sistemático y representativo del sistema de información de una empresa o parte de ella, realizado con independencia y utilizando técnicas determinadas, con el propósito de emitir una opinión profesional sobre la misma que permita la adecuada toma de decisiones y brindar recomendaciones que mejoren el sistema examinado.

El concepto de seguridad vial supone la prevención de accidentes de tráfico con el objetivo de proteger la vida de las personas.

Las auditorias de seguridad vial se definen como la utilización de métodos y protocolos sistemáticos y rigurosos con fines preventivos, que permiten verificar el cumplimiento de todos los aspectos involucrados en la seguridad de las calles, carreteras y su entorno, son una herramienta útil para analizar la accidentabilidad y poder prevenir con antelación (Baeza, 2015).

Beneficios de las Auditorias de Seguridad vial:

- Se reduce la probabilidad de accidentes en la red vial.
- Se reduce la severidad de los accidentes.
- Se reduce la necesidad de desarrollar trabajos correctivos.
- Se reduce el costo total para la comunidad, durante la vida útil del proyecto, incluyendo accidentes, interrupciones del tránsito y lesiones.
- Consolidar la inclusión segura de todos los usuarios de la vía y no sólo de los conductores de vehículos motorizados.

- Aumenta la importancia de la seguridad vial en la mente de todos los implicados en la planificación, el diseño, la construcción, y el mantenimiento de proyectos viales.

2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG)

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real (INEGI, 2015). Además nos permite conocer y analizar la distribución y el comportamiento socio-espacial de los accidentes de tránsito.

El SIG nos ayuda a identificar los accidentes mediante la integración de datos, tanto estadísticos como espaciales generados por distintas instancias del gobierno, sobre todo de la Policía Federal y de tránsito (quienes son los que tienen el primer contacto en un accidente de tránsito) y los de la Secretaría de Salud; así como con información generada por equipos especializados se pueden generar soluciones para una buena gestión de la seguridad vial (y posterior generación de políticas públicas) y de esta manera poder reducir los accidentes de tránsito.

Las herramientas antes mencionadas son utilizadas frecuentemente en la previsión de accidentes, y en menor cantidad para medidas de corrección. Una medida correctiva será muy distinta de cualquier otra. Las medidas correctivas que se vayan a aplicar diferirán del suceso, medio ambiente, infraestructura, tipo de accidente, factor del accidente entre otros.

Capítulo 3. Metodología general de los modelos de Investigación de Operaciones

Para analizar el problema de ubicar los servicios de emergencia en el tramo de la carretera México – Toluca, en este capítulo, se abordará el enfoque de la investigación de operaciones y los Sistemas de Información Geográfica, además de revisar las metodologías que se siguen, modelos relevantes para este estudio, así como, los conceptos básicos de SIG.

La Investigación de Operaciones, cuenta con distintos enfoques para la solución de un problema. Debemos de prestar mucha atención a la definición del problema, ya que es la fase más importante para identificar las demás etapas de nuestro problema, además, suele ser la más complicada. Podríamos relacionar un problema con varios, y si no los tomamos en cuenta al momento de resolver alguno de ellos, podríamos empeorar la situación.

La definición del problema implica definir el alcance del problema investigado. El objetivo es identificar tres elementos principales del problema de decisión (Taha, 2014):

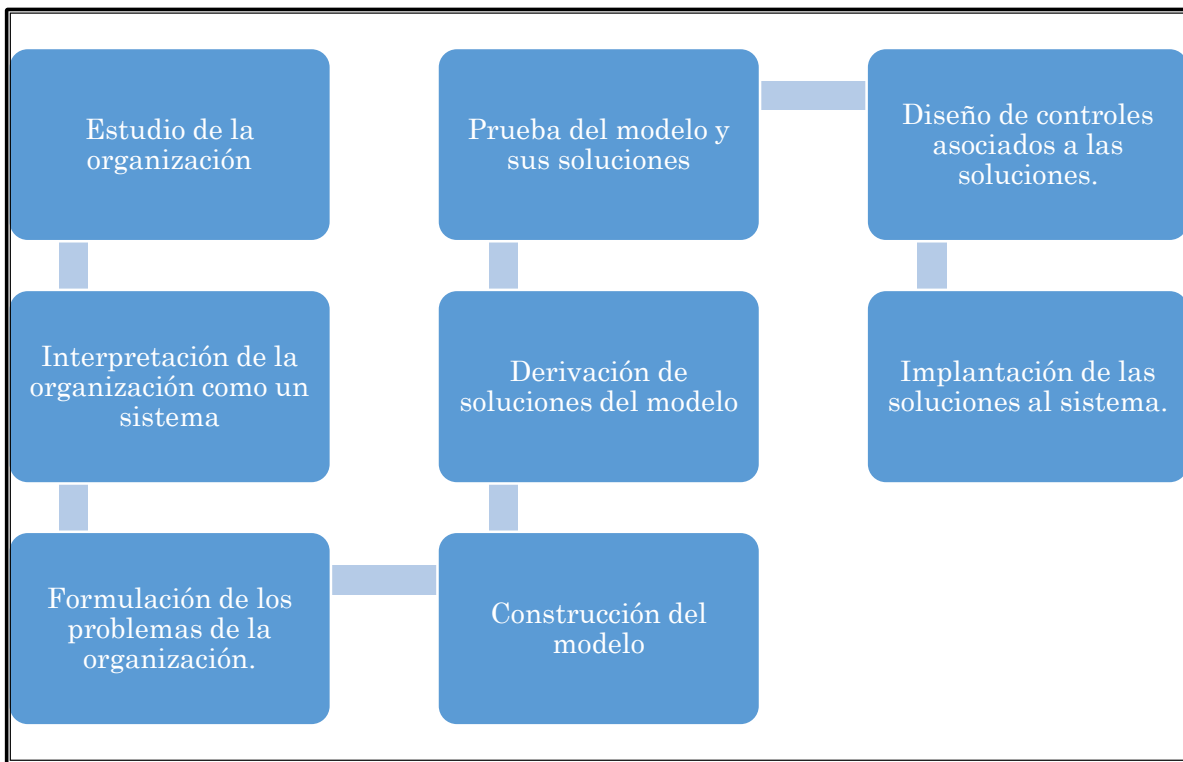
- 1.- Descripción de las alternativas de decisión;
- 2.- Determinación del objetivo del estudio, y
- 3.- Especificación de las limitaciones bajo las cuales funciona el sistema modelado.

Por otra parte, es importante conocer las fases de un proyecto de investigación de operaciones, Ackoff (Prawda, 2014), considera las siguientes:

- a) Estudio de la organización

- b) Interpretación de la organización como un sistema
- c) Formulación de los problemas de la organización.
- d) Construcción del modelo
- e) Derivación de soluciones del modelo
- f) Prueba del modelo y sus soluciones.
- g) Diseño de controles asociados a las soluciones.
- h) Implantación de las soluciones al sistema

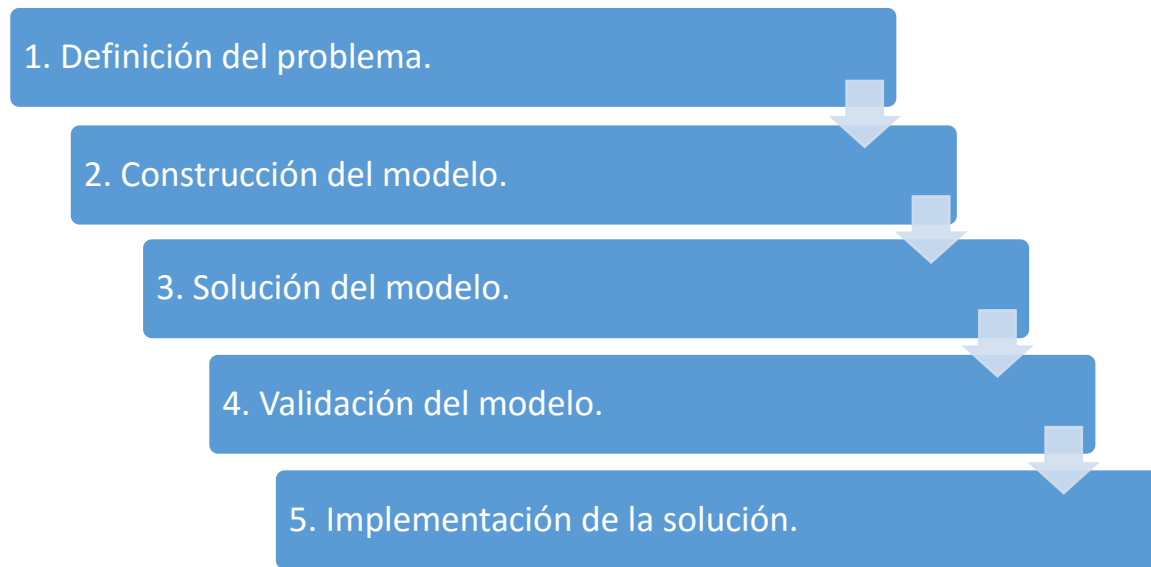
Figura 7. Fases de un proyecto de Investigación de Operaciones



Fuente: Elaboración propia basado en Prawda.

Para implementar la Investigación de Operaciones en la práctica, las fases principales son: Definición del problema, Construcción del modelo, Solución del modelo, Validación del modelo Implementación de la solución (Taha, 2014).

Figura 8 . Fases de un proyecto de Investigación de Operaciones

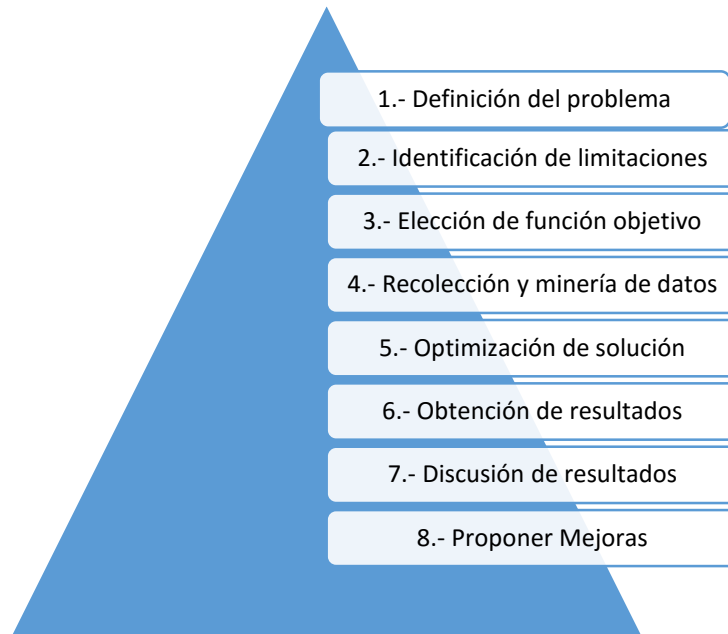


Fuente: Elaboración propia basado en Taha Hamdy.

Otra manera de trabajar es con una lista ordenada, que comprende los pasos fundamentales de acuerdo a la solución a los problemas de localización, el cual consiste en: identificar el problema y sus alcances, es decir, definir qué y hasta qué punto se va a resolver; Una vez elegida la función objetivo, es necesario recopilar y seleccionar los datos que sean útiles al modelo (minería de datos).

En algunos modelos es posible obtener diversas soluciones factibles, sin embargo lo enriquecedor es elegir aquella que sea la mejor, ya sea usando métodos propios del algoritmo de solución o comparando valores de distintos resultados; Una vez elegida la mejor solución se visualizan resultados para proponer mejoras y generar alternativas viables (Nickel, 2006). Una interpretación gráfica se muestra a continuación:

Figura 9. Metodología para los problemas de optimización



Fuente: Elaboración propia basado en Nickel, Stefan.

Las etapas que componen el ciclo de vida de un modelo son las siguientes:

- **Identificación del problema.**- Consiste en la recolección y análisis de la información relevante para el problema, en el intercambio de información entre el modelador y el experto, en establecer una relación simbiótica y una estrecha coordinación entre ambos.
- **Especificación matemática y formulación.**- Escritura matemática del problema de optimización, definiendo sus variables, sus ecuaciones, su función objetivo, sus parámetros.
- **Resolución.**- Se trata de implantar un algoritmo de obtención de la solución numérica (muy próxima a la matemática) óptima o cuasióptima.
- **Verificación, validación y refinamiento.**- Esta etapa conlleva la eliminación

de los errores en la codificación, es decir, conseguir que el modelo haga lo que se ha especificado matemáticamente en la etapa anterior mediante su escritura en un lenguaje informático.

- **Interpretación y análisis de los resultados.**- Esta etapa consiste en proponer soluciones.
- **Implantación, documentación y mantenimiento.**- Ésta es una etapa fundamental del desarrollo de un modelo para garantizar su amplia difusión. La documentación ha de ser clara, precisa y completa.

Por último, la manera de resolver problemas desde el enfoque de la investigación de operaciones, parte de una situación de la realidad para la cual existen datos con los cuales se puede trabajar, de ahí se formula el problema como una interpretación de la situación, con base en lo anterior se genera el modelo, el cual puede utilizar algoritmos conocidos, métodos de búsqueda específicos, con el modelo y las herramientas se construirá la solución que mejor respuesta dé al problema planteado, para mejorar la solución es necesario examinar el modelo y la solución ya sea para suavizar las restricciones o para modificar parámetros, en algunos casos es posible implementar la solución para ello se requiere establecer un procedimiento.

A continuación, se describen las clasificaciones de los problemas de Optimización, para contextualizar el problema a abordar.

3.1 Clasificación de los Problemas de Optimización

Los problemas de optimización se clasifican de diversas maneras, algunas de ellas dependen de:

- Existencia de restricciones

Cualquier problema de optimización puede o no tener restricciones; una restricción, la podemos definir como algún factor, o Factores, que limitan los valores que pueden asumir las variables de decisión.

- Naturaleza del diseño de las variables

Se pueden clasificar en dos categorías:

- Problemas estáticos o paramétricos, en los cuales se debe encontrar un conjunto de valores para los cuales los parámetros de la función objetivo y las restricciones funcionan óptimamente.
- Problemas dinámicos o de trayectoria (las variables son en función de un parámetro determinado), en los cuales se trata de encontrar el conjunto de parámetros (que son todas las funciones continuas de algún otro parámetro) para una función objetivo y restricciones.

- Estructura física del problema

Para esta clasificación existen dos tipos:

- Control óptimo: Son descritos por dos tipos de variables, las de control y las estáticas. Las variables de control son frecuentemente usadas en sistemas evolutivos que controlan el paso de un estado a otro en el sistema, para medir el control utilizan unas variables llamadas PI (por sus siglas en inglés Performance Index) que registran el cumplimiento de una serie de restricciones, en cada uno de los estados, y que son necesarias para pasar de un estado a otro.

- Control no óptimo: El control no óptimo no restringe el uso de las variables PI sin embargo sí se utilizan indicadores para permitir el paso entre los estados del sistema.
- Naturaleza de las ecuaciones contenidas
 - Problemas Lineales.- Si la función objetivo y todas las restricciones son lineales.
 - Problemas no lineales.- Si la función objetivo y/o las restricciones son no lineales.
 - Problemas de programación geométrica.- Es un problema en el que la función objetivo y las restricciones se expresan como polinomios de \vec{X} .
 - Problemas de programación cuadrática.- Es un problema no lineal que tiene función objetivo cuadrática y restricciones lineales.
- Valores permitidos para las variables de diseño
 - Problemas de programación entera.- Son aquellos en los que algunas variables de diseño pueden tomar sólo valores enteros (o discretos)
 - Problemas de programación con valores reales.- Son aquellos en los que las variables de diseño pueden tomar cualquier valor real.
- Naturaleza de las variables
 - Problemas Estocásticos.- Es aquel en el que alguno o todos los parámetros son probabilísticos.
 - Problemas deterministas.- Es aquel en el que todos los parámetros (variables de decisión) son deterministas.
- Separabilidad de las funciones

- Problemas separables.- Es aquél en el que tanto las funciones objetivo como las restricciones son separables.
- Problemas no separables.- Es aquél en el que las funciones objetivo y/o restricciones no son separables.
- Número de funciones objetivo

Dependiendo de la función y tipo de problema, se puede clasificar en dos:

- Multi objetivo.- Requieren la solución de más de un objetivo, por lo cual se han desarrollado modelos que combinan funciones de maximización y minimización.
- Mono objetivo.- También conocida como programación simple

La teoría de localización, se ubica dentro de los problemas de optimización, en la cual se muestra la relevancia que tiene en el desarrollo de modelos para ubicar servicios.

3.2 Teoría de Localización

Estudia modelos para ubicar geográficamente el mejor lugar, de una serie de posibles candidatos, para la instalación de uno o más servicios.

El objetivo de un sistema de localización es encontrar una función que optimiza los beneficios, a través de restricciones que pueden estar relacionadas con el tiempo, costos, distancia, número de centros del servicio.

Hay diversas aproximaciones para modelar la localización de servicios, y de esta gama se desprenden dos tipos de soluciones; exactas y aproximadas -también conocidas como heurísticas.

Los problemas de localización de servicios, han sido clasificados desde diferentes puntos de vista; por el tipo de solución que requiere: exacta o aproximada, por la naturaleza de la función objetivo a optimizar: uno o muchos objetivos, por el espacio de decisión: continua, discreta o en redes, por cómo se miden las variables, por lo que miden las variables, entre muchos otros.

3.2.1 Modelos de localización de servicios

Los modelos clásicos de localización de servicios de emergencia son los siguientes:

Cobertura de conjuntos: tiene como objetivo minimizar el número de ambulancias necesarias para satisfacer todos los nodos de demanda, desde el nodo más cercano, en un tiempo determinado.

Cobertura máxima de conjuntos: Trata de satisfacer la mayor cantidad de demanda, dado un tiempo de respuesta, con un número de vehículos determinado.

P-Center: Minimiza el tiempo de respuesta máximo, es decir; el tiempo en el que a lo más puede tardar un vehículo de emergencia en llegar al punto de demanda.

P-mediana: minimiza el promedio del tiempo de respuesta de número de vehículos determinado. En algunos de los modelos, de esta categoría, se asume que los servicios están disponibles en cualquier instante en el tiempo.

Otros modelos que existen y que consideran factores como la disponibilidad del servicio más cercano, la naturaleza de la ocurrencia de accidentes en carretera o el costo que implicaría ubicar un determinado número de estaciones de servicio

son los siguientes:

Problema de la Cobertura Backup 1: Minimiza el número de servicios y también maximiza el número de demanda cubierta por los servicios.

Problema de la Cobertura Backup 2: Condiciona la ubicación de los servicios a un número limitado con la finalidad de aminorar los costos que pudieran surgir a partir de los resultados del modelo.

Modelo de Localización en Cobertura Máxima Esperada: Considera un número determinado de servicios como no disponibles asumiendo que estos tienen distribución binomial.

Dentro del surgimiento de modelos para la localización de servicios y debido al auge de tecnologías de la información, han surgido también modelos que utilizan Sistemas de Información Geográfica antes, durante o después de usar el algoritmo de solución; en general, los modelos que utilizan los SIG antes, para mostrar espacialmente el área de estudio, también lo utilizan después, para mostrar los resultados del modelo.

Problema de la Máxima Área de Servicio: Uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica para generar zonas que representen el tiempo de viaje en diferentes escalas de medición, isócronas (que miden el área de impacto de uno o varios servicios) y áreas cubiertas. Este modelo tiene como objetivo, maximizar el área o superficie de impacto de un servicio de acuerdo a un número específico de sitios candidatos a ubicar el servicio.

En los últimos años, los sistemas de información geográfica han sido utilizados como herramientas de análisis:

- En localización de servicios, para conocer y/o predecir la cantidad de carga que soporta la red carretera, buscar rutas óptimas.
- En prevención de accidentes de tránsito, ayuda a entender cómo está organizado espacialmente el territorio, esto permite explicar la ocurrencia e incidencia de eventos

Además de conocer los modelos de los servicios de emergencia, es necesario introducir el tema de los sistemas de información geográfica, por lo cual, se hace una descripción de algunos conceptos básicos de los SIG.

3.3 Conceptos básicos de los Sistemas de Información Geográfica

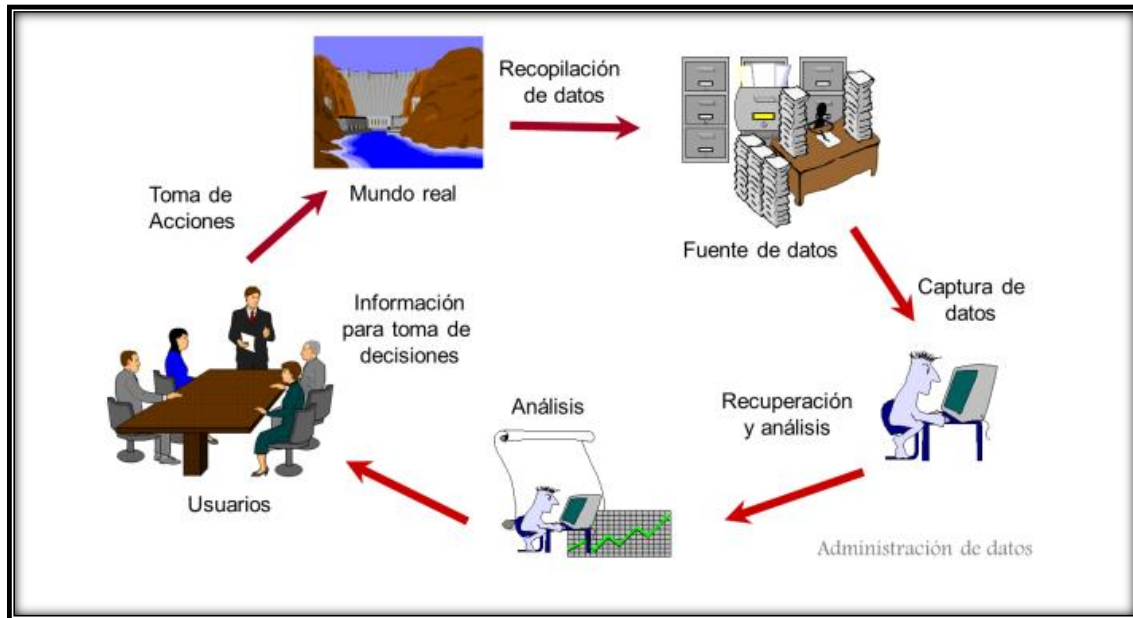
Algunas definiciones de un Sistema de Información Geográfica, son las siguientes:

“Es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente” (ArcGis, 2012).

“Conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real” (INEGI, 2015).

El objetivo de SIG consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente.

Figura 10. Ciclo de un Sistema de Información Geográfico



Fuente: Elaboración de INEGI.

Los mapas representan colecciones lógicas de información geográfica como capas de mapa. Constituyen una metáfora eficaz para modelar y organizar la información geográfica en forma de capas temáticas. Asimismo, los mapas SIG interactivos ofrecen la interfaz de usuario principal con la que se utiliza la información geográfica. En este apartado sólo se explican algunos conceptos que serán útiles para el propósito de esta investigación. Para iniciar con la descripción de los conceptos usaremos el concepto de modelos de datos y representación de datos.

Modelos de datos: Es una construcción matemática para la construcción geográfica de objetos y superficies como datos.

Representación de los datos: Es de gran utilidad cuando se manejan diversos datos en distintas escalas, ya que se puede homogeneizar el análisis y generar información a partir de ello.

Un Sistema de Información Geográfica puede contener capas de datos para lo siguiente:

- Calles representadas como líneas de centro
- Áreas de uso del suelo que representan vegetación, zonas residenciales y empresariales, etc.
- Áreas administrativas
- Masas de agua y ríos
- Polígonos de parcelas que representan la propiedad de los terrenos
- Una superficie utilizada para representar la elevación y el terreno
- Una fotografía aérea o una imagen de satélite para un área de interés

Las capas de información geográfica como las descritas aquí se representan mediante una serie de estructuras de datos SIG comunes:

- ***Clases de entidad:*** cada clase de entidad es una colección lógica de entidades de un tipo común (como los cuatro tipos de entidad mostrados en esta sección).
- ***Datasets ráster:*** los rásteres son datasets basados en celdas que se emplean para contener imágenes, modelos digitales de elevación y otros datos temáticos.
- ***Atributos e información descriptiva:*** se trata de información tabular tradicional utilizada para describir entidades y categorías acerca de los objetos geográficos que contiene cada dataset.

Capítulo 4. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en el modelo de análisis

Para analizar el caso de estudio se deberá utilizar el Modelo Maximal Service Area Problem, se desarrollara la aplicación del SIG en el modelo de análisis elegido así como se hablará de la elección del modelo, que nos sirve para ubicar los servicios de emergencia en la carretera México – Toluca.

4.1 Modelo Maximal Service Area Problem (MSAP)

El modelo Maxiaml Service Area Problem (MSAP por sus siglas en ingles), fue creado en base a una modificación del modelo Maximal Coverage Laction Problem (MCLP por sus siglas en ingles), es un modelo de programación entera, para máximar el problema de localización discreta de servicios a través de zonas de tiempo.

El modelo MSAP no toma en cuenta las limitaciones de capacidad de las instalaciones como lo hace el modelo MCLP, como ejemplo serían el número de personal, dispositivos de emergencia, y los vehículos de emergencia, en el cálculo del área de servicio.

Está diseñado como un modelo discreto, donde se seleccionan un número determinado de sitios de instalaciones que logra el mejor valor de la función objetivo del problema de un conjunto finito de sitios potenciales. El espacio continuo del área de estudio se considera que la región demanda. Para simplificar el modelado matemático de la MSAP, este espacio continuo se divide en puntos discretos (V., Indriasari & R. Mahumed, 2009).

El problema de optimización entonces se define para maximizar el número de puntos de demanda que se cruzan con los polígonos de área de servicio de un

conjunto de instalaciones. En otras palabras, se selecciona un conjunto de localizaciones para las instalaciones, de tal manera que los polígonos de área de servicios combinados de estos sitios abarcan la mayor área posible en la región de la demanda. El número de puntos de demanda que se cruzan con los polígonos de área de servicio actúa como sustituto de la información para medir el área de cobertura. El área real de la cobertura se puede calcular en un SIG (Sistema de Información Geográfica), una vez se ha seleccionado el conjunto de los sitios de las instalaciones.

El modelo matemático de la MSAP se formula como sigue:

MSAP:

$$Max Z = \sum_{i \in I} w_i x_i \quad (5)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in J} a_{ij} y_j \geq x_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \geq p \quad (7)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad y_j \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (8)$$

Donde:

$$a = \begin{cases} 1 & \text{Si la demanda objetivo } i \text{ cae dentro del} \\ & \text{área del servicio del polígono de} \\ & \text{instalación} \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

Abordando nuestro estudio el modelo MSAP quedaría de la siguiente manera:

MSAP de Sistemas de Atención de Emergencia:

$$\text{Max } Z = \sum_{i \in I} w_i x_i \quad (5)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in J} a_{ij} y_j \geq x_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \geq p \quad (7)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad y_j \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (8)$$

Donde:

i, I el índice y el conjunto de nodos de demanda (puntos negros)

j, J el índice y el conjunto de nodos de servicio de atención a emergencias

w_i = población que será atendida en el nodo i

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{Si el nodo } i \text{ es atendido por uno o más servicios de emergencia} \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{Si un servicio de emergencia es localizado en el nodo } j \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si el objeto de la demanda } i \text{ cae en el área de servicio del servicio } j \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

p = Número de servicios de emergencia a ser instalados

4.2 Justificación del uso del modelo

El uso del modelo Maximal Services Area Problem para el caso de estudio de la carretera México – Toluca es porque nos da acceso al uso de sistemas de información geográficas (SIG), el cual, nos permite generar diversas escalas de análisis a través de capas que representan datos como: accidentes de tránsito, zonas urbanas, casetas de cobro, relieve y características geográficas del tramo de estudio, además haciendo uso de las herramientas de aplicación, es posible construir “áreas de servicio”, útiles para esta investigación ya que describen a las regiones en donde se cumplen ciertas condiciones como: tiempo de viaje, distancia en metros. El uso de los SIG además de fortalecer el modelo de análisis permite generar escenarios y usar diversos datos, que son representados geo-espacialmente. Visualizar la distribución y comportamiento de los eventos, en este caso, accidentes de tránsito es de gran utilidad para contextualizar el problema desde diversas perspectivas.

El software a utilizar para aplicar el modelo MSAP en el caso de estudio de la carretera México – Toluca es ArcGIS 10.1, cuenta con una herramienta que nos permite identificar las áreas de servicios. Las herramientas a utilizar es el ArcMap y ArcCatalog, estas herramientas nos permitirán calcular la distancia (metros o kilómetros) y el tiempo del recorrido del viaje (segundos, minutos y horas) para cada tramo de la red, desde cada uno de los nodos de servicio. Es necesario generar capas temáticas de análisis en el SIG con la mayor cantidad de datos disponibles para obtener información.

4.3 Metodología SIG

Es importante destacar que para elegir el tipo de modelo, para este estudio, fue necesario, conocer la naturaleza del mismo. Como se ha mencionado anteriormente, se trata de ubicar de manera óptima a los servicios médicos a

lo largo de la carretera México - Toluca con la finalidad de reducir las fatalidades causadas por la demora en el tiempo de respuesta de dichos servicios de emergencia, haciendo uso de las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Es de suma importancia, considerar el tipo de variables involucradas en el problema. La información que se obtuvo se presenta en las tablas con diversos datos por lo que era necesario hacer una revisión de estos, para:

- 1) Seleccionar adecuadamente de acuerdo a los objetivos de este trabajo las variables a optimizar.
- 2) Notar la relación entre cada una de las variables para el análisis de resultados.

Con el fin de establecer el modelo MSAP como modelo de ubicación de área de servicio, se deberá seguir esta metodología:

1. Establecer el concepto y las características del modelo. Esto debería aclarar el objetivo del modelo, conocer las áreas de servicios que aborda el modelo, las variables que actúan de fondo que logran estimular el desarrollo del modelo, cual es el modelo convencional para modificarlo, si se puede diseñar el modelo como un plano, red o modelo discreto, ¿qué funciones SIG se deben integrar y cómo se llevará a cabo la integración de éstas para mejorar el análisis de localización y calidad de la solución al problema?

2. Formulación del modelo matemático. Con el fin de resolver el problema de optimización del modelo matemáticamente, el modelo debe ser formulado en forma de ecuación matemática. La formulación del modelo estará en función de la representación geométrica utilizada para las entidades de las instalaciones y de la demanda.

3. Diseño de algoritmos de solución. El problema de optimización del modelo debe ser resuelto por los algoritmos de optimización. Este paso debe determinar algoritmos apropiados para resolver el problema. Muchos algoritmos son para problemas específicos. Es decir, que necesitan ser diseñados específicamente de acuerdo a la complejidad del problema, tamaño de los datos, calidad de la solución deseada, límite de tiempo de procesamiento y otras consideraciones.

4. Comparación de soluciones obtenidas por los algoritmos con diferentes conjuntos de datos. Esto debería examinar las actuaciones del algoritmo en la prestación de buenas soluciones al problema. ¿Son las soluciones lo suficientemente óptimas, con los algoritmos aplicados? En este estudio, las soluciones produjeron también se comparan con la situación existente para ver hasta qué punto el método propuesto podría mejorar los servicios de las instalaciones existentes.

¿Qué es un área de servicio?

Con el software ArcGIS 10.1 se requerirá la herramienta de Network Analyst, donde puede encontrar las áreas de servicio situadas alrededor de cualquier ubicación en una red. Un área de servicio de red es una región que abarca todas las calles accesibles (es decir, calles que están dentro de una impedancia especificada). Por ejemplo, el área de servicio de 5 minutos para un punto en una red incluye todas las calles a las que se puede llegar desde ese punto en un plazo de cinco minutos.

Las áreas de servicio creadas por Network Analyst también ayudan a evaluar la accesibilidad. Las áreas de servicio concéntricas muestran la forma en que la accesibilidad varía con la impedancia. Una vez creadas las áreas de servicio, puede utilizarlas para cuantificar el número de personas, la superficie de terreno

o cualquier otra variable en el interior de la vecindad o región.

4.4 Planteamiento del problema con el modelo MSAP

Una herramienta útil es el análisis de impacto cruzado de las variables, que se genera, construyendo una matriz conocida como: Matriz de impacto cruzado.

La matriz de impacto cruzado se llena de la manera siguiente: se va a ponderar la relación que existe entre cada elemento de cada renglón con cada elemento de la columna excepto en la diagonal, para determinar el valor correcto de cada ponderación se sugiere analizar detalladamente el problema a resolver y la información disponible, ya que como se mencionó anteriormente en el capítulo 2, cada problema es diferente y tienden a tener resoluciones diferentes.

Una vez mencionado la manera de llenar la matriz de impacto cruzado ejemplificaremos la manera de completar los valores de la matriz que utilizaremos para el caso de estudio de la carretera México – Toluca.

La dimensión de la matriz w de dimensión $m \times n$, llamaremos $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ al conjunto de elementos renglón de la matriz w , y $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ al conjunto de elementos columna. Si un elemento $a_i, a_i \in A$, de la matriz w está fuertemente relacionado con un elemento $b_j, b_j \in B$, de w , entonces al lugar (a_i, b_j) se le asigna: 3 si la relación es fuerte; 2 si la relación es proporcional (implica que la relación es neutral en ambas variables); 1 si la relación es débil.

La tabla 4 nos muestra la matriz de criterios para el caso de estudio.

Tabla 4. Matriz de impacto cruzado para el caso de estudio

Matriz de Haddon				
Fases		Factores		
		Ser Humano	Vehículos y equipo	Entorno
Antes del accidente	Prevención de accidentes	Información, Actitudes, Conducción bajo los efectos del alcohol o droga, Aplicación de la reglamentación por la policía	Buen estado técnico, Luces, Frenos, Maniobrabilidad, Control de la velocidad	Diseño y trazado de la vía pública, Límites de velocidad, Vías peatonales
Accidente	Prevención de lesiones durante el accidente	Uso de dispositivos de sujeción, Conducción bajo los efectos del alcohol o drogas	Dispositivos de sujeción para los ocupantes, Otros dispositivos de seguridad	Objetos protectores contra choques al lado de la acera
Después del accidente	Conservación de la vía	Primeros auxilios, Acceso a atención médica	Facilidad de acceso, Riesgo de incendio	Servicios de socorro, Congestión

Fuente: Elaboración propia basada en el trabajo de Lara Rosano (Lara, 2011).

Una vez localizadas todas las ponderaciones de la matriz de impacto relacionadas al caso de estudio, podremos visualizar el nivel de la relación entre las variables: kilómetros, cantidad de accidentes, muertos, heridos y daños materiales, para el caso del tiempo de respuesta, se puede medir ya que el SIG permite medir el tiempo de respuesta de cada uno de los servicios de emergencia (usando la herramienta: Network Analyst). Cabe mencionar, que el objetivo del caso de estudio no es realizar un problema de ruteo, sino el de localizar las áreas de servicio de emergencia. Una vez aclarado esto, tendremos que mencionar distintos aspectos a tomar en cuenta, que por la naturaleza del problema a resolver y por la información disponible para trabajar, el modelo no podrá considerar, como es:

- a) La disponibilidad de las ambulancias en los distintos nodos de servicio.
- b) La capacidad de respuesta de los nodos de servicio.
- c) La ocurrencia de los accidentes (aleatoria o probabilística).
- d) El estado de la red carretera, al momento del siniestro, que atrase o ayude para el traslado de las víctimas
- e) Los costos de ubicar (o reubicar las actuales) nuevos centros de servicio.

4.5 Resultados del diagnóstico de la carretera México – Toluca

Para generar los resultados del caso de estudio de la carretera México – Toluca se tuvo que hacer una representación espacial para el uso correcto de la herramienta *Area Service* en un SIG (software ArcGIS versión 10). ArcGIS genera tramos de acuerdo a las clases que se generen, cada tramo es equitativo.

Para el análisis de la cobertura (impedancia) en minutos del servicio médico de emergencia, se diseñaron tres clases para agrupar el tiempo de recorrido a lo largo del tramo carretero, los cuales comprenden los siguientes intervalos: [0,10], (10,20], (20,30]. Estas tres clases se basaron en lo que se llama “*hora dorada*” u “*hora de oro*” para brindar primeros auxilios después de suceder un accidente.

La hora dorada es el tiempo imaginario en el cual, un lesionado con serios traumatismos tiene el porcentaje más alto de sobrevivencia, además de disminuir las complicaciones y secuelas (Hernández, 2000).

El cirujano militar Adams Cowley menciona que la hora dorada se puede definir como el margen de sobrevivencia para cualquier ciudadano que sufra lesiones

traumáticas graves en un rango de 60 minutos (Ayuso, 2011). De las muertes por accidente, el 50% se producen in situ y el 15% durante el traslado lo cual apoya el concepto de la hora dorada.

El tiempo de reacción mínima que debe tener el equipo de rescate es de 10 minutos, en este tiempo debe reconocer la gravedad del paciente, administrar en el lugar los cuidados tendientes a salvarle la vida y trasladar. El paciente debe recibir atención hospitalaria dentro de los primeros 60 minutos, contados a partir del inicio del trauma.

De acuerdo a esta información, es que se establecieron los rangos de cobertura (impedancia) para este caso de estudio de la carretera México – Toluca.

La velocidad establecida para el caso de estudio se definirá de acuerdo al reglamento de tránsito en carreteras y puentes de jurisdicción federal. La velocidad máxima para el tránsito de vehículos es la indicada en los dispositivos para el control del tránsito, siendo el máximo permitido hasta de:

- 80 km/h para camiones.
- 95 km/h para autobuses
- 110 km/h para cualquier vehículo distinto a los señalados en las fracciones I y II.

Las fracciones I y II se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Tipo de vehículos fracciones I y II

Tipo de vehículos	
Fracción I : Para el transporte de personas	
Automovil	
Autobus	
Midbús	
Motocicletas	
Vagoneta	
Vagoneta tipo Van	
Fracción II : Para el transporte de carga	
Camión Unitario Ligero	
Camión Unitario Pesado	
Camión Remolque	
Tractocamión	
Semiremolque	
Remolque	
Vehículo Tipo Grúa	

Fuente: Elaboración propia basada en reglamento de tránsito de carretera (Diario Oficial, 2012).

Cuando en algún tramo de la carretera no haya dispositivo para el control de tránsito que fije el límite de velocidad, esta será la establecida en la tabla siguiente (Tabla 6).

Tabla 6. Límites de velocidad para tramos sin dispositivo de control de velocidad

Límites de Velocidad			
Tipo de Vehículo	Velocidad Máxima (km/h)		Tipo de Vialidad
	Día	Noche	
I. Automóvil	50	50	Carretera Urbana
	100	90	Carretera
II. Autobús	50	50	Carretera Urbana
	95	80	Carretera
III. Camión y Tractocamión	50	50	Carretera Urbana
	80	70	Carretera

Fuente: Elaboración propia basada en reglamento de tránsito de carretera (Diario Oficial, 2012).

La elección de la velocidad para el caso de estudio será de 100 km/h

considerando que la gran mayoría de tránsito diario es de automóviles tal y como se menciona en el capítulo 1 de la composición vehicular de la carretera México – Toluca.

En la Figura 11 nos muestra los tramos con su impedancia.

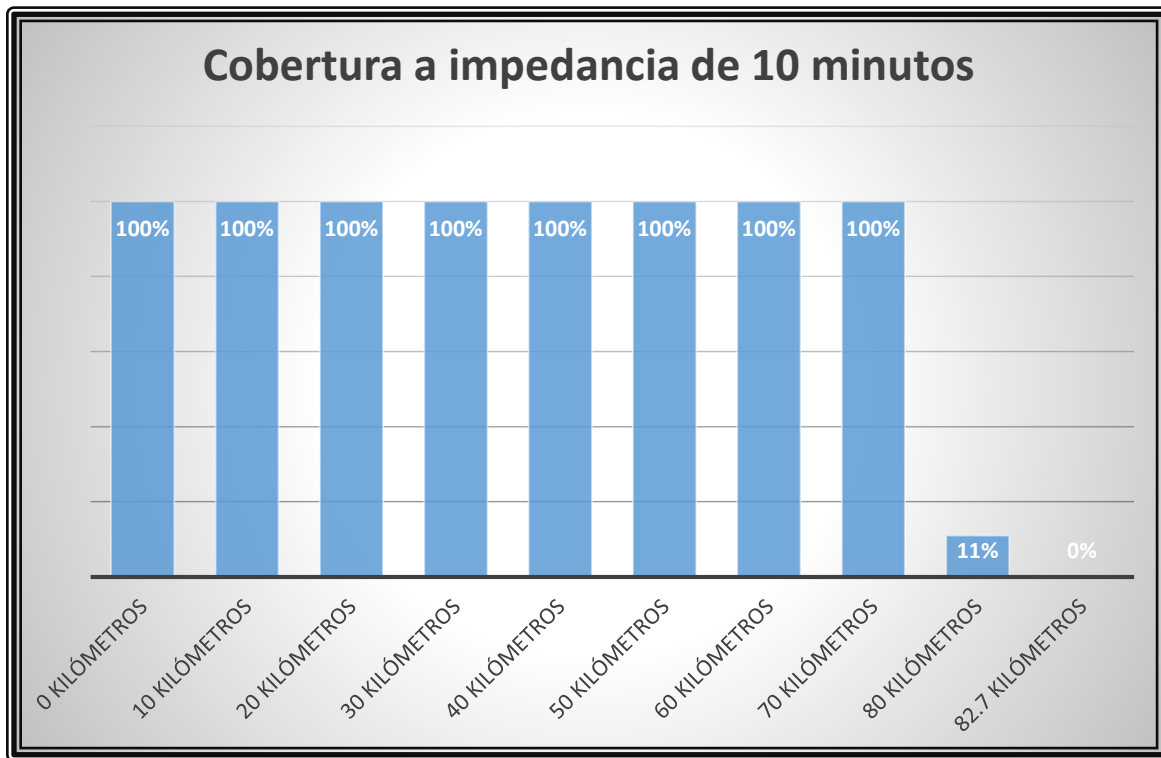
Figura 11. Impedancia en minutos (Escala de colores ArcGIS 10.1)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis mediante el SIG mostraron, que para la impedancia de 10 minutos existe una cobertura alrededor de 72 kilómetros. En la gráfica 5 se muestra su alcance.

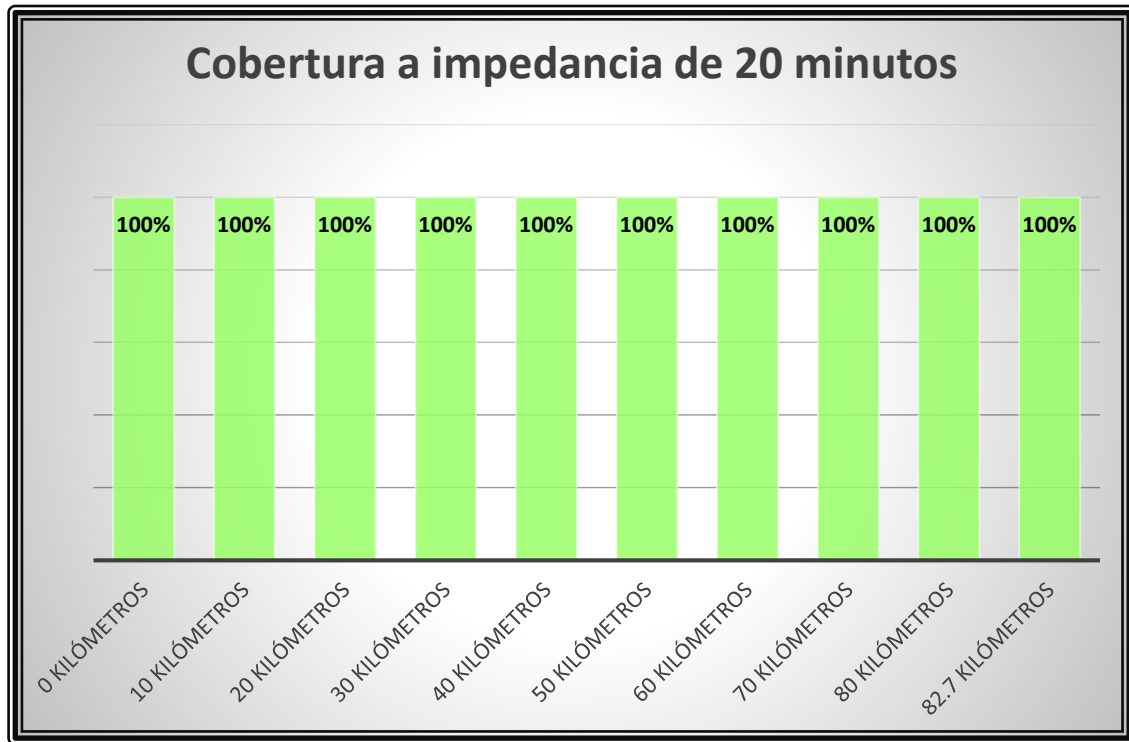
Gráfica 5. Cobertura de la carretera México - Toluca Impedancia de 10 minutos



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

La gráfica 6 nos muestra la cobertura que tiene a una impedancia de 20 minutos, cubriendo el total de la carretera México – Toluca.

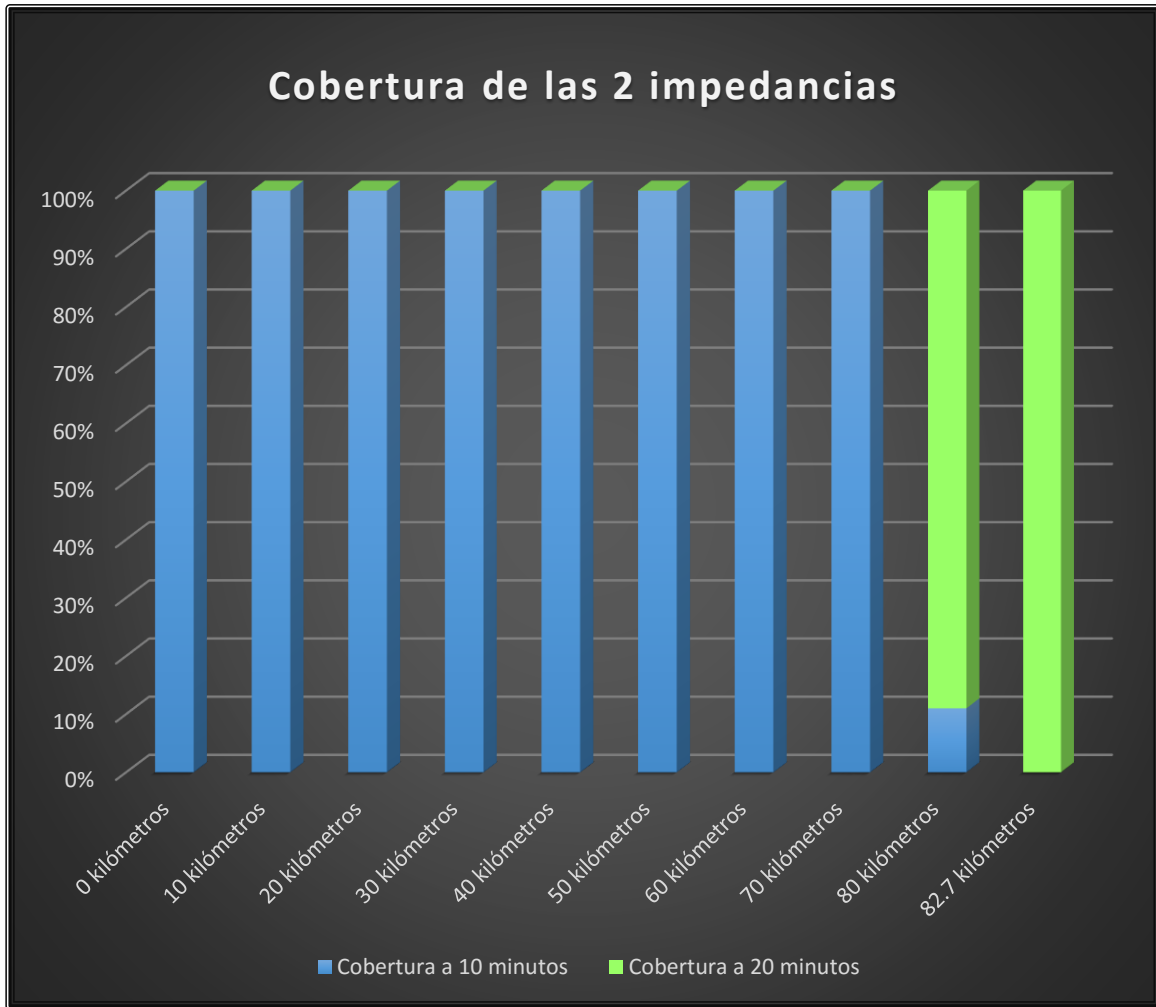
Gráfica 6. Cobertura de la carretera México - Toluca Impedancia de 20 minutos



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

En la gráfica 7 se aprecia el total de la cobertura de las áreas de servicio considerando las dos rangos de impedancia y sus intervalos [0,10], (10,20].

Gráfica 7. Cobertura total de carretera México - Toluca

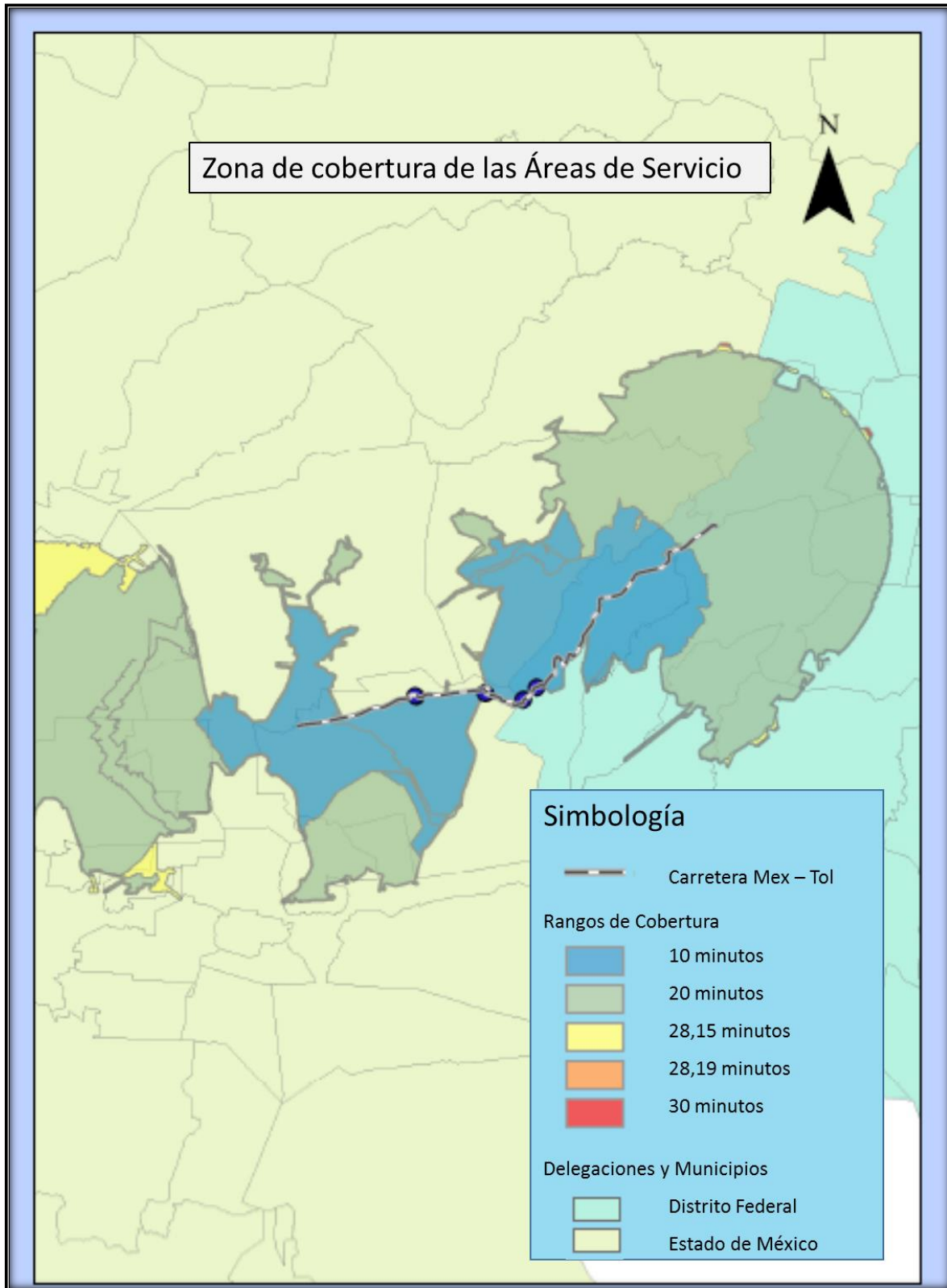


Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

Estos rangos de coberturas fueron tomados con el supuesto de que la velocidad promedio permitida por vehículo de emergencia sea de 90 kilómetros por hora.

La figura 12 nos muestra un preámbulo de la zona de cobertura de la carretera México – Toluca, esto se profundizara más en el capítulo de resultados.

Figura 12. Zona de cobertura de área de servicio de la carretera México – Toluca



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

Capítulo 5. Resultados y conclusiones

En este capítulo mostraremos los resultados obtenidos al aplicar el análisis en el SIG del software ArcGIS versión 10.1, para el caso de estudio de la carretera México – Toluca. Además se brindan las conclusiones y propuestas para implementación los sistemas de atención médica.

5.1 Resultados

Los resultados obtenidos al aplicar el software son los siguientes:

Se aplicó la herramienta de área de servicio con la cuenta el software ArcMap, con la información brindada en las matrices estructuradas de datos espaciales del trabajo de Correa Vargas (Correa, 2015). Las áreas de servicio que se necesitan ubicar son 4 para cubrir en un tiempo de hasta 20 minutos la carretera México – Toluca. La ubicación de estos sistemas de atención médica se presenta en la figura 13.

Figura 13. Localización de los Sistemas de Atención Médica



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

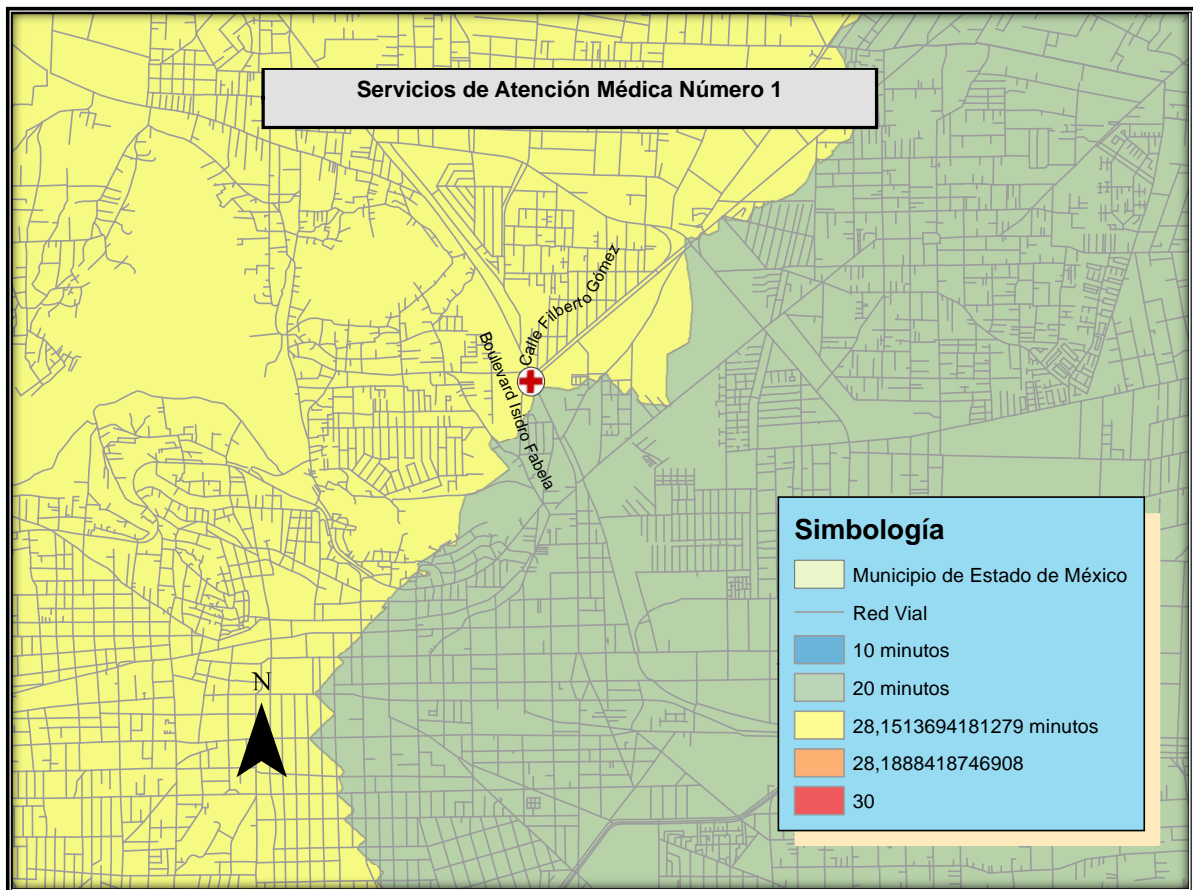
Como se puede apreciar en la figura 5.1, un sistema de atención médica es poco necesario, más sin embargo se necesita si se quiere cubrir totalmente la carretera México – Toluca.

La ubicación del primer Servicio de Atención Médica se ubicara en la Calle Filiberto Gómez y Boulevard Isidro Fabela en Toluca Estado de México. El

segundo Servicio Atención Médica se ubicará en el Paseo Tollocan en Lerma Estado de México. El tercer Servicio de Atención Médica se ubicara en el kilómetro 42 de la carretera México – Toluca en Ocoyoacac Estado de México y por último el cuarto Servicio de Atención Médica se ubicará en el kilómetro 10 de la carretera México – Toluca en la delegación Álvaro Obregón Distrito Federal.

En la figura 14 se aprecia la ubicación del primer Sistema de Atención Médica.

Figura 14. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 1.



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

En la figura 15 se aprecia la ubicación del segundo Sistema de Atención Médica.

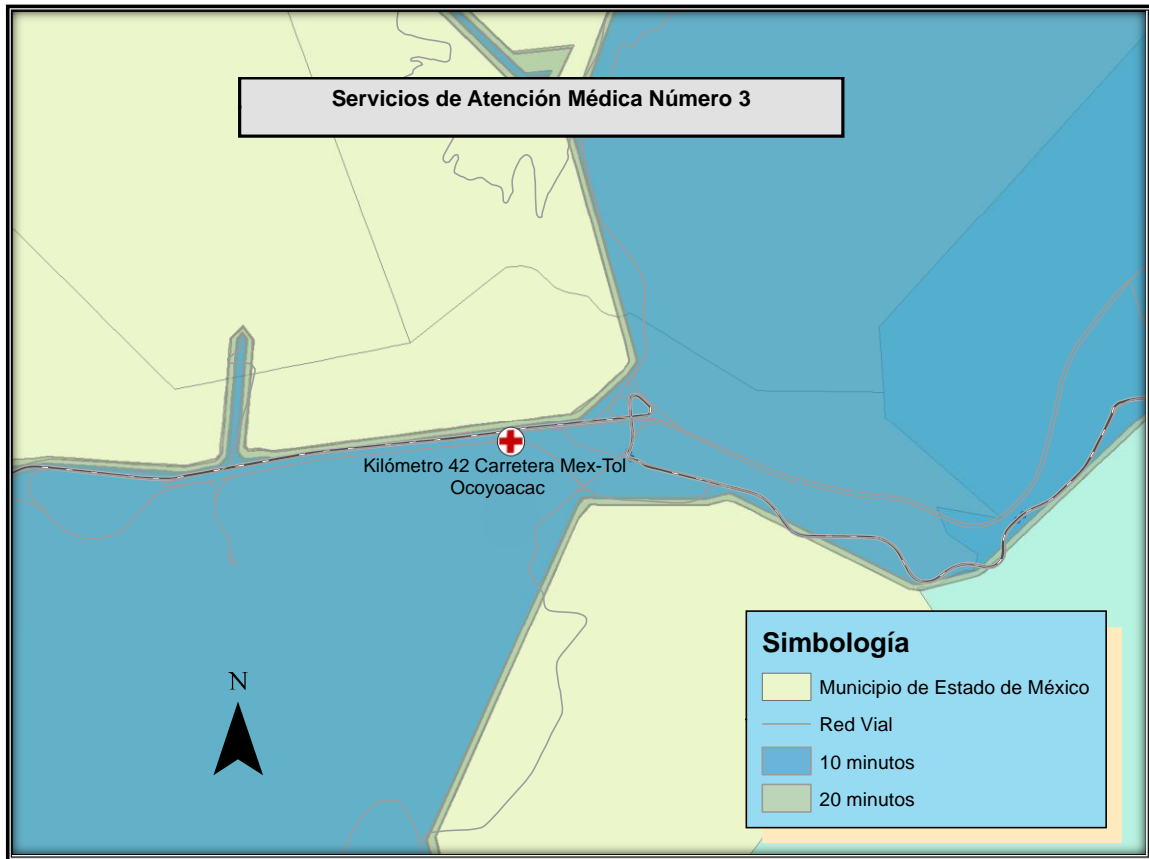
Figura 15. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 2.



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

En la figura 16 se aprecia la ubicación del tercer Sistema de Atención Médica.

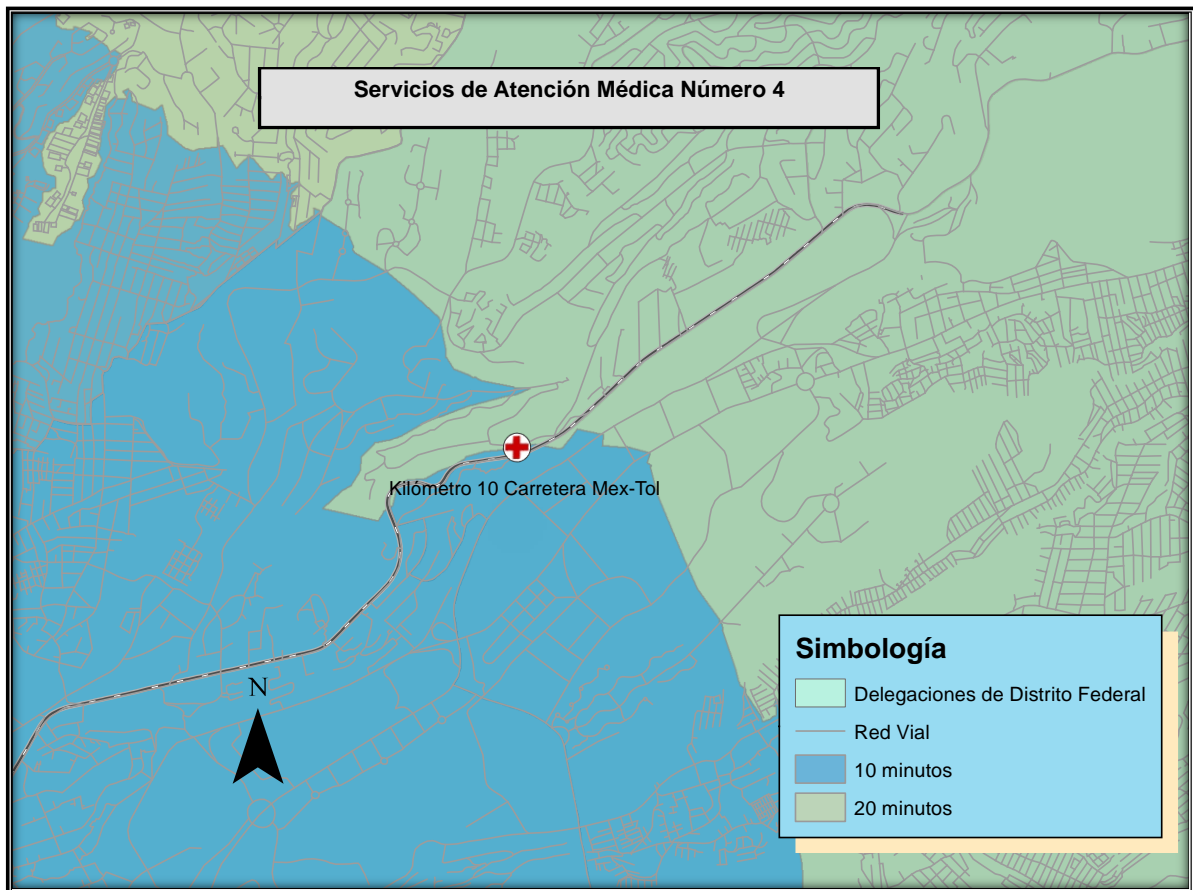
Figura 16. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 3.



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

En la figura 17 se aprecia la ubicación del último Sistema de Atención Médica.

Figura 17. Ubicación del Sistema de Atención Médica Número 4.



Fuente: Elaboración propia usando información generada en ArcMap

5.2 Conclusiones

Al analizar y generar resultados del caso de estudio de localización de Servicio de Atención Médica nos damos cuenta que son necesarios para resolver el problema que se revisó en el trabajo de Correa Vargas, la metodología para mejorar la seguridad vial mediante el uso de sistemas de información geográfica en la carretera México – Toluca, ya que se tiene que plantar de frente el problema de accidentabilidad en esta carretera.

Se buscó realizar la mejor localización de estos Sistemas de Atención Médica,

llegando a la conclusión de que son necesarios por lo mínimo 3 de ellos, cubriendo con ello el 80% de toda la carretera México – Toluca, al colocarlos a un tiempo de 10 minutos entre servicio de atención médica. Serán localizados en las ciudades de Toluca, Lerma, Ocoyoacac y en la delegación Álvaro Obregón.

Al entrar en el tramo de la localidad de Ocoyoacac ocurren gran parte de los accidentes, ya que se tienen distintas salidas a comercios de comida y áreas de descanso, provocando que los conductores no tomen precaución alguna sobre esto. Mucho se debe al poco señalamiento de salidas y a la poca anticipación que tienen para marcar su salida.

Por último, cabe mencionar que el eliminar los accidentes completamente de la carretera México – Toluca es casi imposible, puesto que como menciono en el capítulo 1, gran parte de los accidentes son cometidos por el ser humano, porque por más medidas que se tomen no tendrá remedio, más sin embargo se propone que con la implementación de los Servicios de Emergencia Médica se evite el mayor número de víctimas fallecidas, si esto se cumple, el objetivo del caso de estudio se habrá cumplido.

Referencias Bibliográficas

- ArcGis, R. (2012). *Aspectos Claves de SIG*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000p000000.htm>
- Ayuso, B. F. (2011). *La hora de oro: Prioridades de los servicios asistenciales*. Obtenido de <http://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/Lesiones/Jornadaaccidentetrafico/docs/LahoraOro.pdf>
- Baeza, M. A. (2015). *Propuesta metodológica para el análisis de la accidentabilidad ocasionada por el transporte público de pasajeros en el Distrito Federal. Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ingeniería*. México: UNAM.
- C. Fernández & S. Manso. (2014). *Logística Sanitaria en situaciones de atención a múltiples víctimas y catástrofes. Organización y gestión de la asistencia en situaciones de riesgo colectivo*. . España: Ideas Propias.
- CNS. (2015). *Accidentes*. Obtenido de Comisión Nacional Seguridad: http://cns.gob.mx/portalWebApp/wlp.c;jsessionid=jhKFWHLfBGk1THB3JpMvVkJrY0pQQ5QT9TfTdYJTF1D1K1wwpzsY!-1603502763?__c=1f03ee
- CNS. (2015). *Accidentes y sus factores*. Obtenido de Comisión Nacional de Salud: http://cns.gob.mx/portalWebApp/appmanager/portal/desk?_nfpb=true&_pageLabel=portals_portal_page_m2p1p2&content_id=830068&folderNode=830052&folderNode1=810277
- Correa, V. R. (2015). *Metodología para mejorar la seguridad vial en carreteras mediante el uso de sistemas de información geográfica, tramo México – Toluca. Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ingeniería*. México: UNAM.
- González, E. (2013). *Una propuesta para la localización de los servicios de emergencia en la autopista México – Querétaro. México – Querétaro. Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ingeniería*. México: UNAM.
- Haddon, W. (1968). The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. *American Journal of Public Health*(58), 1431-1438.
- Hernández, H. J. (2000). *La hora dorada: Realidad o Ficción*. Obtenido de <http://www.reeme.arizona.edu/materials/La%20hora%20dorada.pdf>

- INEGI. (2011). Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.as p?c=13159
- INEGI. (2013). *Estadística de Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas, 1997-2012*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía : <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/72/variable/V13>
- INEGI. (2015). *Sistema de Información Geográfica*. . Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>
- K. Holtermann & A. Ross. (2003). Desarrollo de sistemas de servicios de emergencia médicas: experiencia de los Estados Unidos de América para países en desarrollo. . *EUA: Organización Panamericana de la Salud, Área de Tecnología y Prestación de Servicios de Salud*. .
- Luna, L. (1997). *Los Sistemas de Información Geográfica: Una alternativa para el análisis socioespacial de los accidentes de tránsito vehicular en carreteras. Propuesta Metodológica, in Facultad de Filosofía y Letras*. México:UNAM.
- Nickel, S. (2006). *Location Theory A Unified Approach*. España: Springer.
- OMS. (2004). *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito*. Obtenido de Organización Mundial de Salud: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/summary_es.pdf
- OMS. (2011). *10 Facts on Global Road Safety. World Health Organization*. Obtenido de Organización Mundial de Salud: http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1662_ulterioriallegati_ulterioreallegato_0_alleg.pdf
- Prawda, J. (2014). *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones I: Modelos determinísticos*. México: Limusa.
- RAE, R. A. (2014). *Diccionario de la Lengua Española*. Vigésima Segunda Edición.
- Lara, Rosano F. (2011). *Métodos y modelos de la complejidad social*. México: Instituto de Investigaciones Sociales . México: UNAM.
- S. Felder & H. Brinkmann. (2002). Spatial allocation of emergency medical services: minimising the death rate or providing equal access? *Regional Science and Urban Economics*.
- Taha, H. (2014). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson Educación.

V., Indriasari & R. Mahumed. (2009).). Facility location models development to maximize total service area. Theoretical and Empirical Researches in Urban Management.