



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

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE UNA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO:
CASO DE ESTUDIO ALCALDÍA TLALPAN

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

PRESENTA:
ING. VERÓNICA GONZÁLEZ PACHECO

TUTOR PRINCIPAL
DRA. IDALIA FLORES DE LA MOTA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, agosto 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"Cuando encuentras un diamante que no le pertenece a nadie, es tuyo. Cuando encuentras una isla que no es de nadie, la isla es tuya. Cuando eres el primero en tener una idea, la patentas. Es tuya. Yo poseo las estrellas, pues nunca nadie soñó con poseerlas."

Antoine de Saint - Exupéry

Agradecimientos institucionales

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IT102117

Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida

Agradecimientos tutorales

A la doctora Idalia Flores por estar siempre presente en el desarrollo de mi trabajo y a todos aquellos profesores que contribuyeron en mi formación y crecimiento.

Agradecimientos personales

Quiero expresar un sincero agradecimiento a mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos por estar siempre presentes y a todos aquellos que sin su dirección hubiese podido ver terminado este trabajo.

Contenido

Introducción	6
Justificación.....	8
Objetivo	10
Objetivos particulares.....	10
Capítulo 1. Marco teórico y estado del arte.....	11
1.1. Introducción	11
1.2. Transporte	13
1.2.1 ¿Qué es el transporte?	13
1.2.2 Transporte de pasajeros	16
1.3. Redes	19
1.3.1 Redes en general	19
1.3.2 Redes complejas.....	22
1.4. Enfoques del estudio de vulnerabilidad en redes de transporte público	23
1.5. Riesgos en una red de transporte	24
1.6. Indicadores de desempeño de la red	26
Capítulo 2. Construcción del caso de estudio y metodología	28
2.1. Introducción.....	28
2.2. Delimitación del caso de estudio.....	29
2.1.1 Criterios de selección de la alcaldía.....	29
2.1.2 Selección de colonias de la alcaldía Tlalpan y del modo de transporte.....	39
2.1.3 Rutas de la RTP seleccionadas	43
2.3. Caso de estudio.....	44
2.4. Metodología usada	44
Capítulo 3. Solución del caso de estudio	47
3.1. Introducción	47
3.2. Evaluación de riesgos de la red de transporte.....	47
3.2.1 Análisis de riesgos	47
3.2.2 Proceso de la RTP.....	49
3.2.3 Listas de verificación	50
3.2.4 Análisis de modo de falla y efecto	52

3.2.5 Conclusiones de la evaluación de riesgos.....	58
3.3. Selección de indicadores	58
3.1 Tiempos asociados a cada ruta	59
3.4. Topología de la red.....	62
3.4.1 Red y grado de nodos	62
3.4.2 Métricas de la red	66
3.5 Evento: Inundaciones.....	69
3.5.1 Características de una inundación.....	69
3.5.2 Riesgo de inundación en la red estudiada	70
3.6 Vulnerabilidad de la red.....	77
3.6.1 Diseño conceptual para la vulnerabilidad.....	77
3.6.1 Obtención de la vulnerabilidad de la red	78
Capítulo 4. Análisis de resultados, conclusiones y trabajo a futuro	83
4.1. Introducción.....	83
4.2. Resultados	83
Conclusiones y trabajo a futuro	88
Bibliografía.....	89
Apéndice	92
1. Encuesta realizada a pasajeros.....	92
2. Código de Python desarrollado para analizar la red.....	94
Anexos	110
1. Lista de paradas tomadas de Google Maps	110

Introducción

Las redes de transporte público son esenciales para la movilidad en las áreas urbanas. Entiéndase por movilidad a la capacidad de moverse o recibir movimiento de personas o bienes, independientemente de los medios utilizados para los desplazamientos. Actualmente, la movilidad urbana ha cobrado más atención por parte de los gobiernos y las instituciones orientadas a la investigación, ya que ofrece una oportunidad para promover y mejorar el traslado de bienes y personas de una forma más eficaz.

El desafío de muchas ciudades por alcanzar una mayor sostenibilidad ha conducido a la adopción de políticas cuyos objetivos están orientados a reducir las emisiones contaminantes, obtener el mejor provecho del uso del automóvil en la ciudad, reforzar el principio de la equidad y favorecer los modos de desplazamiento más respetuosos con el medio ambiente. Por tal motivo, es necesario aprovechar las técnicas y conocimientos desarrollados para las redes de transporte, los sistemas de tránsito inteligente, la gestión de la demanda, la planificación urbana y el uso de tecnologías no contaminantes (CONUEE, 2018).

Además, para países en desarrollo como México, las tasas de crecimiento poblacional y urbanización están provocando que la necesidad de transporte crezca, en particular el transporte público de pasajeros. Para 2012, el transporte por carretera consumía aproximadamente el 70% de la energía utilizada en el sistema de transporte mundial y el transporte de pasajeros por carretera el 50% de este consumo. Por lo que organizar y operar de manera eficiente el transporte urbano reduce los costos de energía, disminuye la congestión, las emisiones de ruido, la contaminación del aire local y los riesgos de accidentes (Bohier-Baeder & Hüging, 2012).

El estudio de las redes de transporte público permite conocer la naturaleza de los problemas actuales asociados con los medios de transporte. El funcionamiento eficiente de las redes está relacionado con el nivel de vulnerabilidad que presentan ante posibles incidentes, y la identificación de los puntos de mayor impacto para los pasajeros (Rodríguez-Ñuñez & García Palomares, 2014). Es por esto, que la

investigación presente tiene como objetivo obtener la vulnerabilidad de una parte de la red de transporte de pasajeros de la Ciudad de México en torno al riesgo de inundación que existe cada temporada de lluvias.

Justificación

Actualmente el transporte público de pasajeros es parte fundamental en la vida de toda urbe ya que permite la movilidad de gran parte de la población. Frente al crecimiento poblacional que se registra a nivel mundial, se vuelve una mayor necesidad contar con un transporte público que permita a los usuarios moverse de forma confiable desde punto origen hasta un punto destino.

En 2019, según estudios del Instituto Mexicano para la Competitividad, la congestión vehicular hizo que cada persona perdiera alrededor de 2,300 pesos al año y hasta 100 horas anuales promedio por persona. En total, la congestión en las 32 zonas urbanas de México analizadas, tiene un costo aproximado de 94,000 millones de pesos al año.

Tabla A. Resultados por ciudad del Rankin de congestión. Fuente: <http://sintrafico.com/congestion/>

Ciudad	Costo total de congestión por viajes en auto (\$ Millones)	Costo total de congestión por viaje en transporte público (\$Millones)	Costo total global (\$Millones)	Índice de tráfico	Costo per cápita ponderado	Horas per cápita ponderadas	Horas totales pasadas en congestión
San Luis Potosí-Soledad	\$ 344	\$ 756	\$ 1,100	1.2179	\$ 2,126	52.17	27,015,405
Tepic	\$ 50	\$ 119	\$ 169	1.0848	\$ 775	20.53	4,498,343
Tijuana	\$ 1,128	\$ 1,646	\$ 2,774	1.3179	\$ 3,102	75.54	67,557,929
Tlaxcala-Apizaco	\$ 32	\$ 137	\$ 170	1.1045	\$ 857	29.24	5,812,795
Toluca	\$ 684	\$ 2,059	\$ 2,743	1.4383	\$ 3,482	116.07	91,467,053
Tuxtla Gutiérrez	\$ 78	\$ 317	\$ 396	1.1322	\$ 1,228	36.6	11,808,094
Valle de México	\$ 10,809	\$ 10,809	\$ 47,043	1.4702	\$ 5,827	146.45	1,182,328,881
Villahermosa	\$ 258	\$ 734	\$ 993	1.3227	\$ 2,650	79.85	29,930,320
Xalapa	\$ 152	\$ 484	\$ 636	1.3227	\$ 2,190	78.61	22,859,571
Zacatecas-Guadalupe	\$ 116	\$ 188	\$ 304	1.2587	\$ 1,826	49.98	8,340,477

En la tabla A se pueden observar cómo es que el Valle de México ocupa los costos más altos por congestión y dado que la Ciudad de México se localiza en el centro del valle, en la CDMX existe el Plan estratégico de movilidad 2019, cuyos ejes¹ principales son:

¹ Tomado de http://www.claudiacdmx.com/files/Plan_de_movilidad.pdf

1. Integrar los distintos sistemas de transporte de la ciudad, promoviendo los viajes a pie, en bicicleta y en transporte público.
2. Mejorar la infraestructura y servicios de transporte existentes con el objeto de aumentar la accesibilidad de la ciudadanía, disminuir tiempos de traslado, mejorar condiciones de viaje, transparentar el funcionamiento de los distintos sistemas de movilidad y hacer más eficiente el transporte de mercancías.
3. Proteger a los usuarios de los distintos sistemas de transporte a través de la provisión de infraestructura y servicios incluyentes, dignos y seguros.

Para llevar a cabo cada uno de estos ejes se plantean diferentes líneas de acción para atender la fragmentación entre los diferentes modos de transporte, las políticas de movilidad, la gestión integral del tráfico orientada a la fluidez, así como una política del transporte de carga. Cada una de las líneas de acción está orientada a problemas existentes en la red de transporte de la ciudad, en particular para transporte público se pretende la mejora, renovación y ampliación de la flota para disminuir los tiempos de viaje y espera de los pasajeros.

Sin embargo, no se prevén situaciones en las que se altere el funcionamiento de las redes de transporte público de pasajeros por eventos disruptivos como lo son las inundaciones o los sismos. En el plan de movilidad mencionado, no se toma en cuenta la vulnerabilidad de las redes de transporte, siendo que se pueden ver gravemente afectadas en su operación debido a eventos externos.

Los estudios de vulnerabilidad pretenden dar información importante para mitigar los efectos de eventos no deseados. Países como EU, España e Inglaterra han incorporado este tipo de estudios a la planeación del transporte en cada uno de ellos ante casos de terrorismo y desastres naturales. En el caso de la CDMX, conocer la vulnerabilidad de la red de transporte público es el punto de partida para tener planes de movilidad más íntegros, con el fin de lograr proteger a los usuarios de los distintos sistemas de transporte ante cualquier evento no deseado.

Objetivo

Conocer las características de una red de transporte público, respecto al traslado de pasajeros de un punto origen hasta un punto destino, que abarque una región de las alcaldías de Tlalpan, Xochimilco, Coyoacán e Iztapalapa. Mediante un enfoque de redes complejas para determinar la vulnerabilidad de la red ante un evento adverso.

Objetivos particulares

- Realizar un estudio de riesgos asociados a la red de transporte de las zonas identificadas.
- Identificar las zonas de riesgos en la Ciudad de México
- Identificar la red de transporte público a estudiar
- Analizar por medio de un enfoque de redes complejas la red
- Obtener la vulnerabilidad de la red de transporte

Capítulo 1. Marco teórico y estado del arte

1.1. Introducción

En este capítulo se citan artículos de los últimos años donde se aborda la vulnerabilidad y la robustez de las redes de transporte y su importancia para la planeación y la generación de rutas alternas después de eventos no deseados que comprometen la operación normal de una red.

Los sistemas de transporte público son fundamentales hoy en día para las sociedades ya que permiten el desplazamiento de personas y bienes entre diferentes orígenes y destinos, por lo cual son necesarios estudios que permitan conocer sus deficiencias. Siendo que la calidad de los servicios de transporte público depende de su eficiencia en las operaciones normales y de su desempeño en caso de perturbaciones menores e interrupciones mayores, los servicios de transporte público deben ser robustos en términos del sistema y contar con la capacidad para soportar una interrupción y mantener su función (Cats, Yap, & van Oort, Exposing the role of exposure: Public transport network risk analysis, 2016).

Sin embargo, aunque el transporte público constituye una infraestructura crítica en muchos sistemas de transporte urbano y regional, se sabe muy poco sobre los determinantes de su vulnerabilidad y los métodos y técnicas para analizar y mitigar los impactos de las interrupciones (Cats, Koppenol, & Warnier, 2017).

La vulnerabilidad de una red se refiere al grado de susceptibilidad que ésta presenta a incidentes que pueden conducir a niveles reducidos de servicio o accesibilidad. El nodo de red es vulnerable si presenta pérdida de un pequeño número de enlaces significativos, por lo que se reduce su índice estándar de accesibilidad. Los nodos críticos de una red son los que más afectan su vulnerabilidad, por lo que, cuanto más crítico es el nodo, mayores son los efectos de su pérdida en el sistema (Rodríguez-Núñez & García Palomares, 2014).

Evaluar las infraestructuras de red para detectar posibles vulnerabilidades es un importante componente de la planificación estratégica, particularmente en el contexto de la gestión y mitigación del servicio (Matisziw, Murray, & Grubestic, A Methodological Overview of Network, 2008). Por lo tanto, los estudios de robustez

y vulnerabilidad sobre las redes de transporte público son una herramienta en la planeación de las operaciones y responden a la necesidad de atender de mejor manera al crecimiento de la población, la demanda de viajes y a la congestión e impactos ambientales negativos. Tener conocimiento sobre la distribución y magnitud de los impactos en el servicio es crucial para asignar recursos de manera efectiva para la prevención, mitigación y restauración de la interrupción de servicios de transporte público (Malandri, Fonzone, & Oded, 2018).

Además, la literatura de transporte ha incorporado el aspecto de vulnerabilidad en sus estudios, especialmente después los ataques terroristas a Nueva York, Madrid y Londres y desastres naturales, como terremotos o huracanes como Katrina y Rita, que afectó a las redes de transporte en los últimos años (Rodríguez-Ñuñez & García Palomares, 2014). Ahora, los diseñadores y gerentes de las redes están interesados en conocer como los impactos de las interrupciones del servicio varían entre los elementos de la red y poder identificar los elementos que son más cruciales para mantener el rendimiento de ésta (Malandri, Fonzone, & Oded, 2018). Ya que, la eliminación o bloqueo de uno o más enlaces de red, especialmente en aquellos en los que el flujo de vehículos es alto o presentan características físicas que dificultan el re direccionamiento del tránsito como es el caso de los puentes, tiene generalmente que ver con pérdidas económicas directas que involucran las cadenas de suministro de muchas industrias (Scott, Novak, Aultman-Hall, & Guo, 2006).

También, los análisis de redes de transporte público ayudan a proveer de consideraciones públicas para determinar la infraestructura crítica de los sistemas. Matisziw, Murray, & Grubestic (2008) mencionan que las políticas públicas no solo desempeñan un papel en la forma en que las redes son construidas sino también afectan la manera en que se gestionan las interrupciones cuando los componentes de la red están comprometidos.

Siendo que el nivel de criticidad de un elemento depende del papel que desempeña en la estructura de la red y los flujos dentro de ella, estudios como el de Rodríguez-Ñuñez & García Palomares, miden la criticidad y la vulnerabilidad en una red de transporte público, donde analizan las consecuencias de la interrupción en cada enlace de la red con el fin de determinar su impacto en los tiempos de viaje o la demanda de viaje insatisfecha. Su estudio analiza el aumento en los tiempos de conducción como consecuencia de tomar rutas alternas a la óptima, sin hacer uso de indicadores de teoría de grafos también aplicado a estudios sobre vulnerabilidad.

Para continuar, es importante entender algunas definiciones referentes al transporte y propiamente al transporte de pasajeros, que son la primera parte del desarrollo del capítulo. También se incluye una parte orientada a la teoría de redes, en donde se hablará de algunas de las propiedades que éstas poseen en el punto 2. Luego, en el punto 3 se habla un poco de los enfoques que se pueden dar a los estudios de vulnerabilidad. En el punto 4 se habla acerca de los estudios de riesgos, para finalizar con el punto 5 que trata de los indicadores que suelen utilizarse para evaluar el desempeño de una red.

1.2. Transporte

1.2.1 ¿Qué es el transporte?

La Real Academia Española define al transporte como el conjunto de medios necesarios para conducir personas y cosas de un lugar a otro. El transporte se puede dividir entonces en:

- Transporte de carga. El cual se refiere al traslado de productos desde orígenes como fábricas, almacenes, proveedores, etc., hasta destinos como clientes, almacenes más grandes, entre otros.
- Transporte de pasajeros. Que se refiere al desplazamiento de personas de un lugar a otro.

En este sentido, el transporte de pasajeros incluye diferentes modos de transporte por vías terrestres, marítimas o aéreas, en diferentes medios de transporte, como son camiones, barcos o aviones respectivamente. Siendo que estos medios pueden pertenecer al transporte público o privado y proporcionar un servicio de masa o individual. Por lo que los componentes para lograr transportar a un conjunto de viajeros es el modo y medio, la administración del medio y el objetivo según el tipo de viajero figura 1.1.

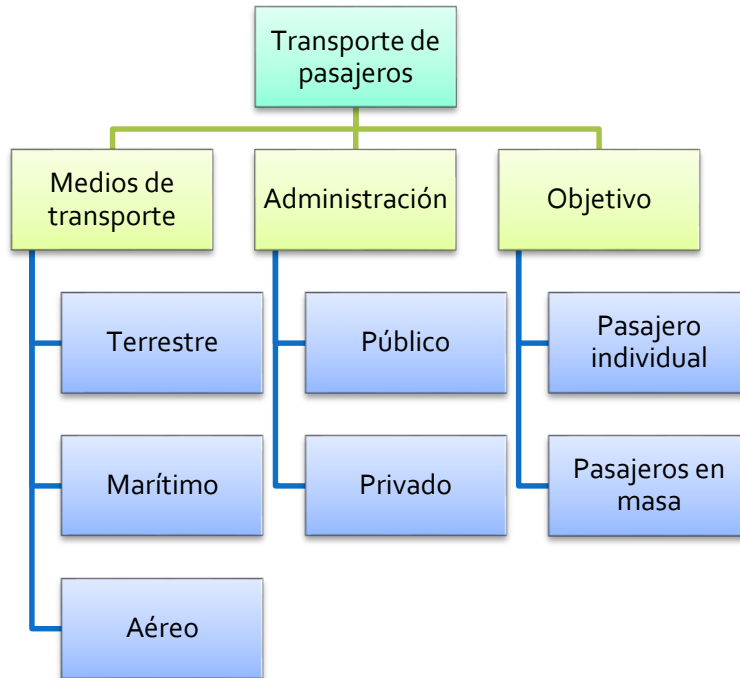


Figura 1.1. Componentes del transporte de pasajeros. Elaboración propia

En general, el transporte es la fuerza motriz fundamental del desarrollo económico y social de los países ya que genera oportunidades y habilita a las economías a ser más competitivas. Además, la infraestructura de transporte sirve de conexión entre las personas, la educación y los servicios de salud. También posibilita el suministro de bienes y servicios en todo el mundo, y facilita la interacción entre las personas y la generación de conocimientos y soluciones que propician el crecimiento a largo plazo (Banco Mundial, 2019).

De acuerdo con datos del Banco Mundial, el transporte representa aproximadamente el 64% del consumo mundial de petróleo, el 27 % del consumo total de energía y el 23 % de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la energía. Los pronósticos con respecto a la urbanización mundial dan como resultado una estimación de 5400 millones de habitantes en 2050, el equivalente a dos terceras partes de la población mundial, por lo que la cantidad de vehículos se duplicará y llegará a 2000 millones para ese año.

De esta manera, el transporte es fundamental en el desarrollo de los países, ya que permite el intercambio de bienes y personas a través de líneas de conexión entre

lugares. Por lo cual, el transporte como componente de las ciudades debe contar con pilares fuertes que sostengan su operación. Como cita Islas Rivero & Lelis Zaragoza, 2007, el transporte visto desde una perspectiva económica es una respuesta a las crecientes necesidades de comunicación en lo individual y en lo social para la movilidad de mercancías y personas como parte de las economías regionales y mundiales. Atendiendo a esto:

La rápida urbanización en el mundo en desarrollo ofrece la oportunidad de crear sistemas de transporte más seguros, menos contaminantes, más eficientes y accesibles, que atenúen la congestión del tráfico y la contaminación, faciliten el acceso al empleo y disminuyan el consumo de energía del transporte. En las ciudades emergentes de tamaño mediano —donde vivirá la mayoría de los nuevos residentes urbanos— los urbanistas tienen la oportunidad de diseñar sistemas de transporte sostenibles e inclusivos desde un principio, pasando por alto las modalidades más contaminantes y costosas. En las ciudades más grandes o antiguas, la tecnología y la inteligencia de datos están ayudando a elaborar mapas de las modalidades y necesidades de viaje, interactuando con los ciudadanos y mejorando la calidad y la eficiencia de las soluciones de transporte (Banco Mundial, 2019).

Sin embargo, el transporte no es algo simple de estudiar, ya que atiene a causas y consecuencias vinculadas con los contextos sociales, económicos y tecnológicos, relacionados con situaciones como el cambio climático y los desastres naturales. Para esto, la ingeniería de tránsito ha generado estudios acerca del diseño funcional de las vialidades y los diseños geométricos y la ingeniería de sistemas ha contribuido con el desarrollo de técnicas de planificación, diseño y explotación de los sistemas de transporte, así como muchas otras áreas de estudio, han tenido contribuciones en el estudio del transporte.

1.2.2 Transporte de pasajeros

El transporte de pasajeros en las ciudades se puede clasificar con relación al tipo de servicio que prestan o al volumen de viajes que se tiene figura 1.2.

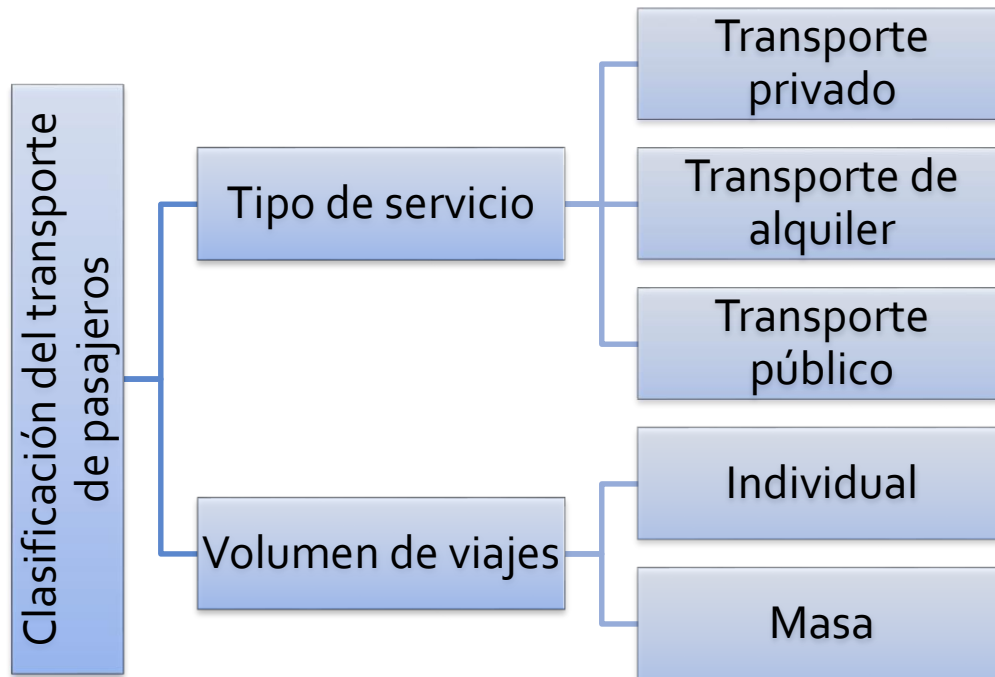


Figura 1.2. Clasificación del transporte de pasajeros. Elaboración propia

En esta clasificación (Moliner Moliner & Sánchez Arellano, 2005), el transporte privado es aquel en el cual la unidad es operada por el dueño del vehículo y se hace uso de la vialidad mantenida por el Estado. Mientras que los transportes de alquiler y público forman parte del transporte público de las ciudades: en el primero de ellos existe una persona que paga una tarifa en un vehículo operado por un tercero, y en el segundo, existe un sistema de transporte con rutas fijas y horarios de servicio para el uso de cualquier persona y cuyo pago está regulado por una tarifa definida. En cuanto al volumen de viajes, el transporte individual atiende a una persona o grupo pequeño con un mismo destino, mientras que el de masa, atiende a un grupo de personas que tienen destinos diferentes.

Para el caso del transporte de pasajeros los medios de transporte pueden tener distintos tipos de derechos de vialidad figura 1.3. En donde, la vialidad corresponde a la superficie por la cual se desplaza el medio de transporte.

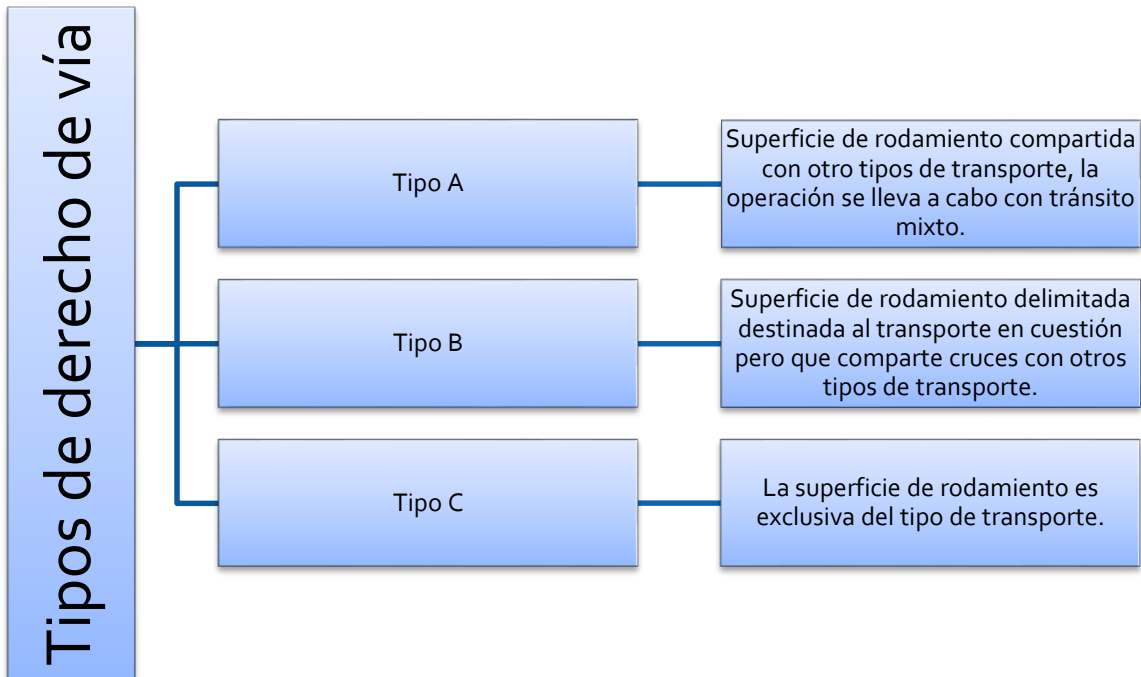


Figura 1.3. Tipos de derecho de vía. Elaboración propia

El tipo de servicio que ofrece cada uno de los transportes de pasajeros se compone del tipo de ruta, el tipo de operación que sigue y el horario de servicio. Así, el servicio puede variar de un medio a otro, en el que pueden ser camiones, trenes, microbuses, etc.

Los tipos de ruta pueden ser:

- De frecuencia intensiva: Con servicios de baja velocidad, pero altas intensidades de viajes en lugares pequeños como pueden ser los aeropuertos o servicios de turismo.
- De transporte urbano: Que se refiere a los servicios prestados dentro de la urbe.

- De transporte suburbano: Lo que permite llevar a cabo altas velocidades con pocas paradas a lo largo del trayecto.

Los tipos de operación se refieren a prestar:

- Servicios locales: con un uso de múltiples paradas a lo largo de la ruta.
- Servicios de paradas alternadas: en el cual las paradas se pueden alternar a lo largo de la ruta para poder acelerar el servicio.
- Servicio expreso: en el cual se logran velocidades altas debido al espaciamiento de las paradas por arriba del promedio del sistema.

Los horarios de operación pueden ser de tipo:

- Regular: en lo que los horarios son establecidos de acuerdo con frecuencias determinadas.
- Valle: son horarios de servicios prestados en horas de baja demanda, pero que se mantienen con regularidad.
- Punta: se refieren a servicios prestados en horarios de mayor demanda.
- De servicios especiales: cuya operación se lleva a cabo durante eventos de poca frecuencia, como son eventos deportivos, culturales, casos de emergencia, etc.

Con respecto cada uno de los elementos anteriores, los medios de transporte pueden adoptar diferentes combinaciones y se distinguen uno de otro con respecto a los aspectos que componen su servicio.

También, se deben considerar los componentes físicos de un sistema de transporte (Molinero Molinero & Sánchez Arellano, 2005), que son: vehículos; unidades de transporte utilizadas para prestar el servicio en cuestión, infraestructura; vías en las que operan los vehículos con sus respectivas paradas, puntos de transbordo, depósitos y talleres de mantenimiento, y la red de transporte; que se compone por

las diferentes rutas de los medios de transporte, los ramales existentes y las líneas que operan.

1.3. Redes

1.3.1 Redes en general

Red. Una red se compone de un conjunto de nodos unidos por ramas, cuya notación es (N, R) donde N es el conjunto de nodos y R es el conjunto de ramas. Cada red posee un flujo asociado que puede ser finito o infinito. Una red dirigida es aquella que tiene todas sus ramas dirigidas.

El estudio de redes tiene su origen con los famosos puentes de Königsberg que conectan la isla de Kneiphof con la ciudad rusa de Kaliningrado. Sus habitantes tenían un dicho popular que trataba acerca de estos puentes y su conexión existente, el acertijo decía: ¿se podían atravesar los siete los siete puentes sin cruzar ninguno de ellos dos veces? La respuesta no había sido obtenida hasta que, en 1736, Leonard Euler dibujo un mapa de la isla de manera poco común. En dicho dibujo Euler represento la isla y a las porciones de tierra como puntos y a los puentes como líneas que conectaban los puntos figura 1.4. Con este dibujo Euler demostró que el paseo era imposible, ya que, para que el paseo fuera factible todos los puntos del recorrido deberían de tener un numero par de conexiones.

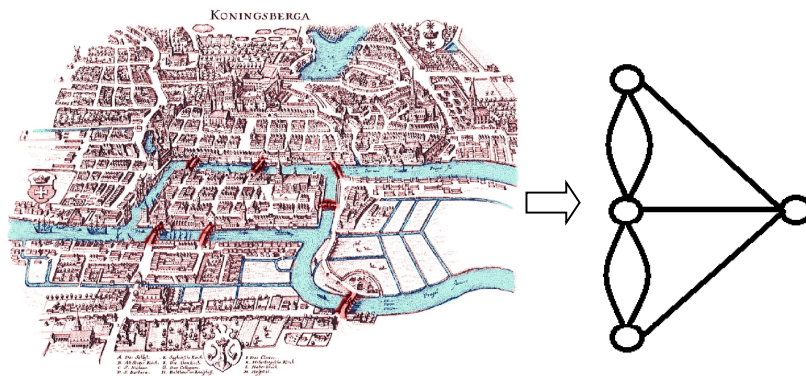


Figura 1.4. Puentes de Königsberg y su representación. Fuente:

https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Los-puentes-de-Koenigsberg_fig1_320638009

Esta representación de los puentes de Königsberg es el primer ejemplo de un grafo. En este tipo de representaciones los puntos son denominados nodos y a las líneas que los unen ramas. La rama de las matemáticas basada en el análisis de grafos se atribuye por tanto a Leonard Euler. Muchos científicos como Kirchhoff, Cayley y Hamilton estudiaron y aplicaron las propiedades de las redes.

Así, el estudio de las redes se aplica a diferentes tipos de problemas. Por ejemplo, a principios del siglo XX, el servicio del tren de Londres publicaba en un mapa de la ciudad. Sin embargo, a medida que el mapa se hacía más complejo hubo la necesidad de plantearse de una forma más sencilla. Por lo que un empleado de la compañía planteó el mapa de una forma menos rigurosa, ya que no situó el servicio sobre un mapa de Londres como tal, sino que lo colocó en un espacio abstracto. En la figura 1.5 tenemos un ejemplo de la representación del servicio de transporte de la CDMX en un espacio abstracto. Este tipo de representaciones utiliza un enfoque de red, en el cual la topología es más importante que la métrica, ya que las conexiones entre elementos son más importantes que sus posiciones específicas en el espacio, por lo cual el enfoque de aplicación es propio de una red compleja al contener muchas partes que interactúan y que tienen diferentes tipos de comportamientos.



Figura 1.5. Representación del servicio del metro de la CDMX. Fuente <https://metro.cdmx.gob.mx/mapa-micdmx>

En estudios de mediados del siglo XX, tenemos las aportaciones de Paul Erdős y Alfred Rényi, quienes propusieron un modelo de redes aleatorias, con lo que se dio inicio a la Teoría de Redes (Sashiko Shirai, 2018). La importancia del modelo radica en que, dada la probabilidad de interconexión entre los nodos, al tener un crecimiento, llega un momento en que los nodos se unen formando un componente de gran tamaño.

Ya para 1998, los matemáticos Duncan Watts y Steven Strogatz realizaron un estudio centrado en las propiedades de conectividad, con lo que mostraron que las redes se podían clasificar con base en dos propiedades: la distancia y el coeficiente de aglomeración. Donde la distancia media es una propiedad de la mayoría de las redes y recibe el nombre de Mundo Pequeño (Sancho Carrini, 2016).

Para 1999, Albert-Lászlo Barabási y Reka Albert desarrollaron un estudio acerca de los nodos con mayor conectividad, lo cual los llevo a que hay nodos que tienen un mayor grado de conexión que el promedio de los nodos de la red. Este modelo es llamado también libre de escala. En donde el crecimiento nos dice que un nodo al tener la oportunidad de unirse con otro tendrá una preferencia probabilística de unirse a uno de mayor grado (Barabásil, 2020).

La conexión en este sentido no lleva a determinar infraestructuras críticas. Por ejemplo, en septiembre de 2003 en Italia se produjo un apagón que dejo a la mayor parte del país a oscuras. La razón fue que el corte de electricidad de una línea provocó un aumento de la demanda en el resto de la red, generando un efecto generador que hizo que la red se desplomara. De esta manera, los apagones a gran escala son un claro ejemplo del alto grado de conexión que tiene las redes eléctricas. El estudio del grado de conexión entre nodos cobra una gran importancia no solo para casos de suministro eléctrico, sino que también para sistemas de comunicación. En este caso, la inestabilidad que se puede presentar en redes de transporte es de vital importancia para las ciudades, ya que permiten la interacción entre bienes y personas. Así, las redes de transporte son tan importantes en un mundo globalizado como lo es el aparato circulatorio en un ser vivo (Caldarelli & Catanzaro, 2014).

1.3.2 Redes complejas

Se dice que una red compleja es un conjunto de muchos nodos interconectados que interactúan de alguna forma. Incluso, en un mismo conjunto de nodos podemos hallar diferentes redes dependiendo de la definición aplicada a las conexiones.

Las redes pueden ser dirigidas y no dirigidas. Estas dependen de la dirección con la que se conectan los nodos, en algunos solo aplica la salida o entrada de flujo en la red y en otros casos se permite la entrada y salida. En cada una de las redes los nodos pueden tener solo algunas conexiones, incluyendo los nodos aislados o sin conexiones. Dependiendo del número de conexiones de cada rama será el grado del nodo (Aldana, 2006). La distribución del grado puede verse de manera gráfica del grado de los nodos contra el número de nodos.

Ahora bien, para poder entender la naturaleza de una red, debemos conocer ciertas métricas propias de una red, como lo son:

- **Longitud de la ruta**, que es la secuencia entre nodos para llegar de un nodo origen hasta un nodo final.
- **La distancia** entre los nodos i y j , se define como el mínimo número de arcos que los conectan.
- **El diámetro** de la red es la ruta más larga que existe entre todas las rutas que conectan el par de nodos en cuestión.

Ahora bien, el estudio general de las redes complejas suele dividirse en dos campos diferentes: parte estructural y parte dinámica. La estructura de una red se refiere a determinar las propiedades topológicas que describen la forma en la que están conectados todos los nodos. Y la dinámica de una red se refiere a las transiciones de fase por las que puede pasar, al aprendizaje que pueda haber, entre otros.

Algunas propiedades topológicas son las siguientes:

1. **Distribución del grado:** Probabilidad $P(k)$ de que un nodo sea escogido al azar tenga k conexiones o vecinos. Siendo así que la distribución de grado de

la red $P(k)$ nos permite conocer más acerca de la topología de la red, y se obtiene graficando el grado de los nodos contra el número de nodos.

2. **Coefficiente de agregación C :** Probabilidad de que dos nodos conectados a un tercero estén conectados entre sí.
3. **Longitud mínima L_{ij} entre dos nodos v_i y v_j :** Número de ramas que se tiene que pasar para llegar de un nodo v_i de la red a otro v_j .
4. **Longitud promedio de la red L :** Promedio de las longitudes mínimas L_{ij} entre todas las posibles parejas (v_i, v_j) de nodos de la red.

1.4. Enfoques del estudio de vulnerabilidad en redes de transporte público

Las metodologías para identificar escenarios críticos de operación en una red son diversas en sus marcos teóricos y conceptuales. La elección de la metodología depende del enfoque dado y varía de acuerdo con sus contextos de aplicación.

La vulnerabilidad es una característica polifacética de una red, ya que la susceptibilidad a incidentes en el desempeño normal del sistema se puede deber a más de una variable. Por lo que el estudio se verá limitado si se toma en consideración solo una variable para describir el rendimiento de la red y se perderían de vista otras debilidades que el sistema pueda presentar (como se cita en Matisziw, Murray, & Grubestic, 2008).

Para comenzar a estudiar la susceptibilidad de una red, hay que entender los escenarios de interrupción de la red. De acuerdo con esto, un escenario puede entenderse como el conjunto de partes de la red que son afectadas, el grado de afectación y las condiciones de funcionamiento entre nodos antes de la interrupción. Una vez que se identifican los escenarios de interrupción, es posible la evaluación de impacto. Los impactos pueden variar desde aquellos directamente

asociados con la operación de la red, como la conectividad, flujo, o la reducción de la capacidad.

Para poder analizar la vulnerabilidad de una red se puede recurrir a las metodologías con enfoques como los que propone Matisziw, Murray, & Grubestic (2008) Figura 1.6.

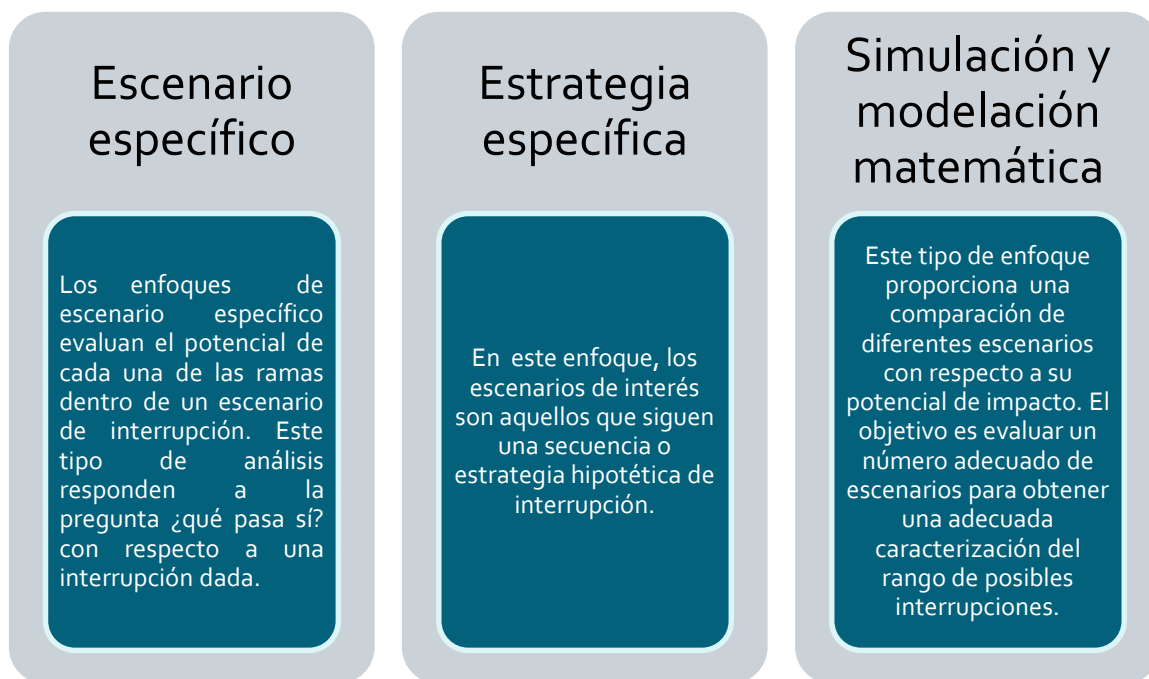


Figura 1.6. Enfoques de metodologías de análisis de redes. Elaboración propia

Sin embargo, aunque cada una de las metodologías tiene una orientación a un enfoque dado, el desafío más grande es la integración o uso efectivo de todos los enfoques para completar de mejor manera los análisis de vulnerabilidad.

1.5. Riesgos en una red de transporte

Los eventos de interés en el estudio de la vulnerabilidad de una red de transporte pública son aquellos que causan perturbaciones en el tráfico y pueden tener un efecto negativo en el desempeño de la red. Así, un incidente es un evento, directo o indirecto que puede reducir o interrumpir el servicio de un nodo o tramo de red. En

general, es usado incidente como sinónimo de evento considerando negativas las consecuencias de tales modificaciones a la red.

Ahora bien, el riesgo es asociado con lo que implican las consecuencias, de forma negativa, en la vida, la salud o el medio. La definición del riesgo implica la probabilidad de que un evento cuyo impacto sea negativo ocurra y las consecuencias una vez que éste pase. La evaluación de los diferentes factores que determinen un riesgo depende de los objetivos del estudio y de las decisiones a tomar (Katja, 2002).

El potencial de riesgo es una parte importante en la evaluación de la vulnerabilidad, ya que contempla las consecuencias de los eventos que pueden ser fenómenos naturales, como son: temblores o inundaciones. Además, de la probabilidad de un evento, los análisis de riesgos ofrecen información sobre el tipo de causas que generan las perturbaciones siendo que pueden ser de tipo natural o error humano, y los niveles que pueden alcanzar las consecuencias.

También, es importante para entender la vulnerabilidad de una red, la confiabilidad que existe en las condiciones de su operación. Siendo que la confiabilidad se define como la probabilidad de desempeño durante un tiempo determinado y bajo ciertas condiciones de operación de una red. En este sentido, la vulnerabilidad puede ser una forma de medir las consecuencias de falla, en donde los conceptos de riesgo y confiabilidad son ideas centrales en este tipo de estudios.

Ahora bien, dentro de los indicadores de desempeño y en los niveles de servicio de una red de transporte, la calidad se puede medir en términos de la confiabilidad que tienen dos nodos para conectarse durante un periodo de tiempo determinado, y la confiabilidad con base en la probabilidad del tiempo de viaje entre dos nodos. Así, la confiabilidad describe la posibilidad exitosa de transportarse de un lugar a otro. Siendo que puede estar presente en la conectividad de la red, en el tiempo de viaje, y en términos de capacidad. Es aquí donde las alternativas de viaje se pueden llegar a presentar luego de que algún evento disminuya la confiabilidad de la red, para poder contribuir con la robustez de la red.

En los sistemas de transporte la degradación de la red puede aparecer como el resultado de eventos como temblores, inundaciones, accidentes de tráfico, acciones industriales, etc. Por lo cual, el análisis de una red corresponde a conocer cómo es que las condiciones de estado interactúan y la dependencia que existe

entre cada enlace. Y así determinar, el grado en el que se pueden presentar las perturbaciones y determinar cuáles pueden ser aceptables temporalmente y cuáles no. Por lo tanto, un estudio de vulnerabilidad debe involucrar elementos relacionados con la confiabilidad de la red, los riesgos asociados a su desempeño y la robustez que la red puede alcanzar (figura 1.7).

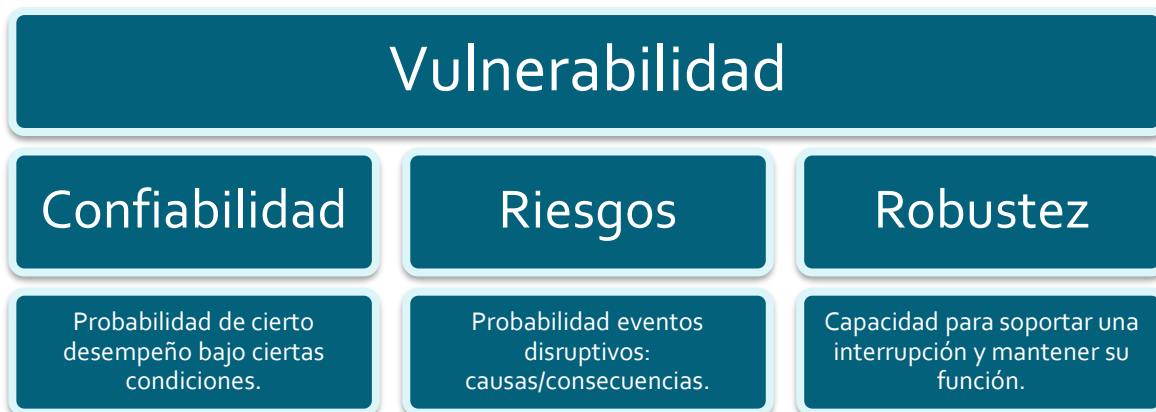


Figura 1.7. Elementos importantes en un estudio de vulnerabilidad. Elaboración propia

1.6. Indicadores de desempeño de la red

Los métodos de análisis sobre vulnerabilidad y robustez de una red de transporte público pueden diferir entre autores de acuerdo con el enfoque de análisis elegido y del propósito del estudio. Por ejemplo, el estudio de Cats, Yap, & van Oort (2016) presenta un método para explicar la exposición, identificación y evaluación de la criticidad de los enlaces de una red de transporte público multimodal. En donde la exposición de cada elemento se define por la prevalencia de la interrupciones en la operación bajo un periodo de tiempo dado.

En contraste, Malandri, Fonzone & Oded (2018) realizan una evaluación de la criticidad de los enlaces para una red de transporte público multimodal en los Países Bajos, en donde se contabiliza la probabilidad de ocurrencia de eventos que perjudiquen el bienestar de los pasajeros. Sus resultados exponen el papel de la exposición en la determinación de la criticidad del enlace y la vulnerabilidad general de la red.

En general, los indicadores a utilizar en el estudio de una red dependen del enfoque con el cual se hace el análisis. En estudios relacionados con características físicas de la red se utiliza por lo general la teoría de grafos con indicadores propios de redes complejas, mientras que la vulnerabilidad se mide a partir de indicadores de accesibilidad o capacidad de servicio en estudios relacionados con transporte y territorio (Rodríguez-Ñuñez & García Palomares, 2014). La mayoría de los estudios sobre la vulnerabilidad de una red de transporte público se centran en indicadores topológicos y en cómo la degradación de los enlaces físicos afecta la conectividad de la red. (Cats O. , The robustness value of public transport development plans, 2016).

Los indicadores de desempeño de la red tienen como objetivo cuantificar el funcionamiento de una red, lo que permite la comparación de diferentes condiciones o configuraciones de la misma red o de diferentes redes. Los indicadores de desempeño de la red se pueden clasificar en tres grupos principales de estudios, con un nivel de detalle cada vez mayor: estudios de infraestructuras, estudios de redes de servicio y estudios de distribución de flujo (Cats, Koppenol, & Warnier, 2017).

El ejemplo de un indicador con base en la capacidad de la red es la relación Volumen/Capacidad, que al dar un resultado mayor que uno es un indicador claro de la congestión. Cuando la relación obtenida es alta se busca implementar mejoras en el segmento para reducir la congestión en el segmento estudiado. Este indicador nos puede ayudar a encontrar soluciones localizadas, cuyas mejoras se pueden medir a partir de la disminución de los tiempos de viaje (Scott, Novak, Aultman-Hall, & Guo, 2006). Sin embargo, dicha relación puede no ser la mejor opción cuando se trata de planeación de los segmentos más críticos de nuevos caminos o carreteras.

Una forma de comenzar a conocer características específicas de una red, es conocer la distribución del grado, que es el esquema representativo de las conexiones. En términos matemáticos, la forma de distribución del grafo será descrito con una curva.

Capítulo 2. Construcción del caso de estudio y metodología

2.1. Introducción

En este capítulo se presenta la construcción del caso de estudio que obedece a los objetivos de la tesis presente. Por lo cual, se partió de la delimitación del caso, que es la primera etapa del proceso de investigación, seguido del planteamiento de la solución del caso.

Para obtener la construcción del caso se hizo una búsqueda de información y posteriormente una delimitación de ésta. Tal proceso se puede observar en la figura 2.1.

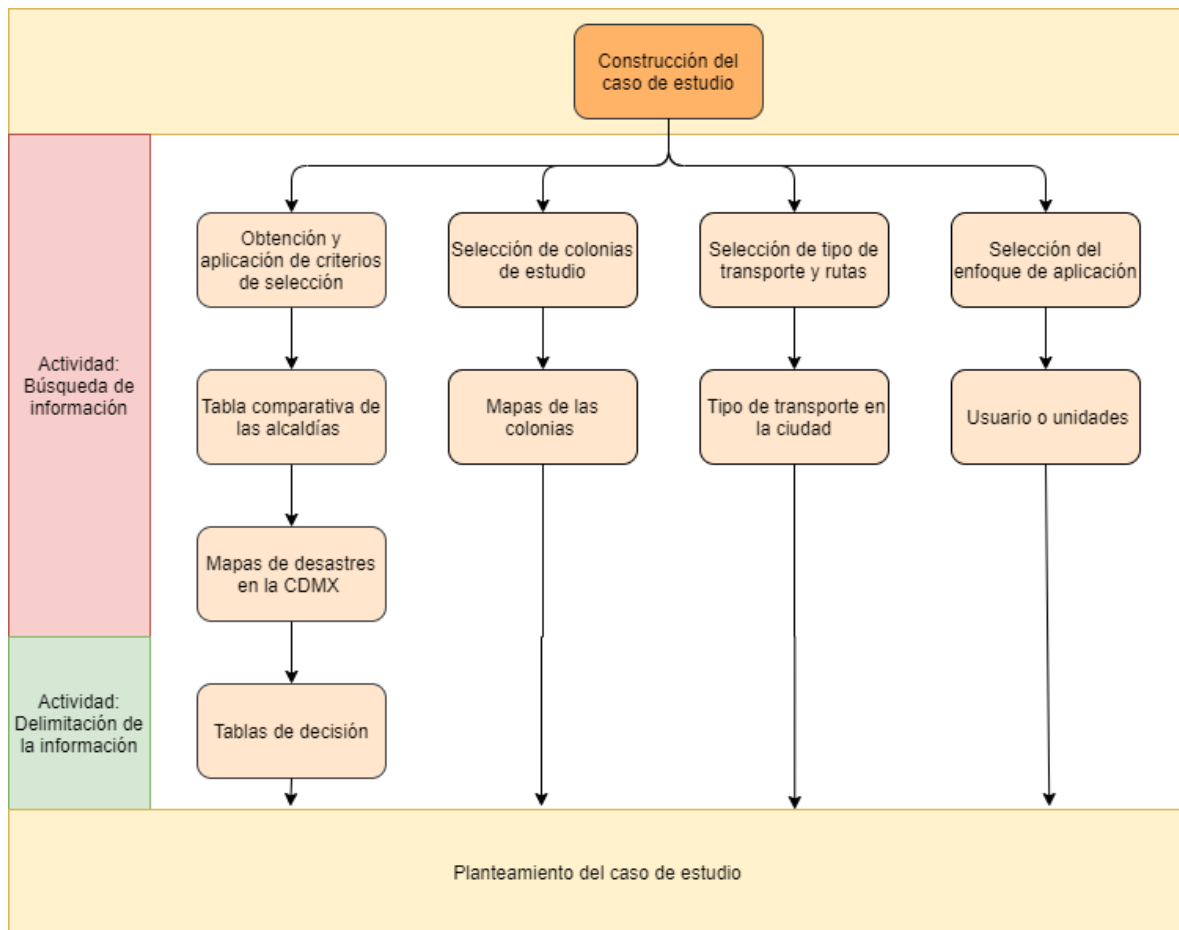


Figura 2.1. Mapa de proceso del capítulo 2: Caso de estudio. Elaboración propia

2.2. Delimitación del caso de estudio

En esta sección se plantean los criterios y las consideraciones que se aplicaron en la delimitación del caso de estudio. Siendo así que se presenta al final la red a estudiar como resultado de una selección basada en datos de la Ciudad de México. Cada uno de los mapas fue elaborado con ayuda del software gvSIG 2.0.0 y un conjunto de datos obtenidos del portal de datos abiertos de la Ciudad de México.

2.1.1 Criterios de selección de la alcaldía

En México, la segunda entidad federativa con mayor población es la Ciudad de México (CDMX) seguida del Estado de México, con una población para 2015 de 8,918,653 habitantes. De acuerdo con datos del INEGI, en términos de densidad poblacional la CDMX ocupa el primer lugar a nivel nacional con 5967 habitantes por km², por lo que es de gran interés estudiar la movilidad de su población y las redes de transporte que permiten funcionar a una urbe como esta.

De acuerdo con la Encuesta Origen-Destino de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017, los viajes realizados entre semana por la población de 6 años y más haciendo uso de transporte público masivo fue de 15,569,247 viajes, lo que representa el 45.05% del total de viajes registrados con un total de 34,558,217.

Ante este número de viajes registrados, las redes de transporte público de la CDMX, se vuelven un tema de gran interés debido a que el funcionamiento de éstas se puede ver afectado por eventos ajenos a las condiciones normales de operación, causando afectaciones sociales, ambientales y económicas. Para atender a tal problemática, los estudios de vulnerabilidad de redes de transporte público son el punto de partida para planes de contingencia y mitigación.

La Ciudad de México está conformada por 16 alcaldías figura 2.2., cuya población y superficie en km² se puede ver en la tabla 2.1, de las cuáles las alcaldías con mayor número de habitantes son Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Álvaro Obregón, Tlalpan y Coyoacán, y con mayor extensión en superficie son Iztapalapa, Gustavo A.

Madero, Álvaro Obregón, Tlalpan y Coyoacán. Para poder seleccionar la alcaldía a estudiar se consideran eventos debidos a fenómenos naturales ya que debido a su difícil pronóstico y por las dimensiones en las áreas afectadas tienen un potencial más grande de causar afectaciones en las vías de transporte público.

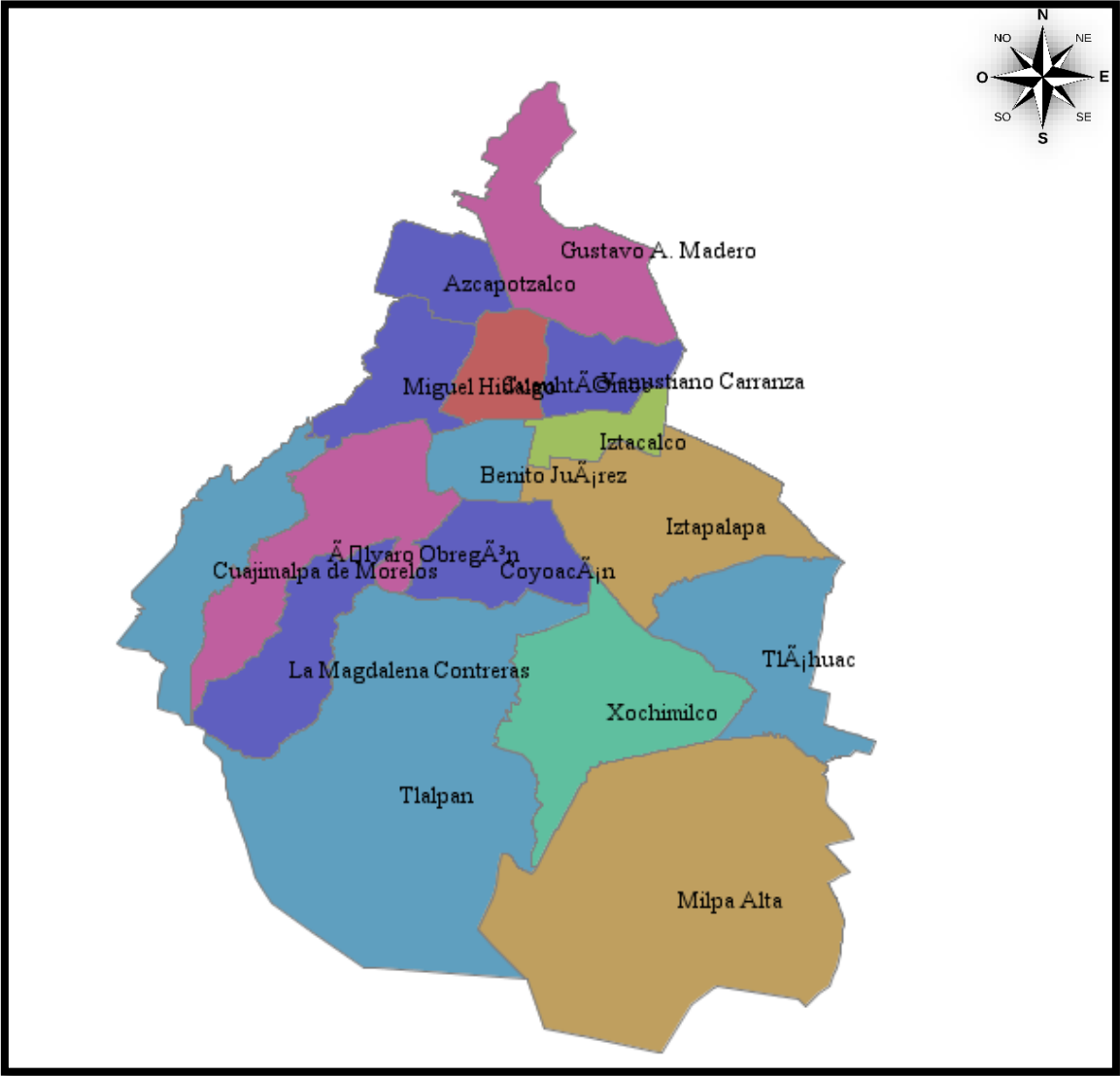


Figura 2.2. Ciudad de México por alcaldía. Elaboración propia con datos de la Ciudad de México

Tabla 2.1. Número de habitantes por alcaldía. Elaboración propia basada en datos del INEGI 2015

Orden por número de habitantes	Clave	Alcaldía	Habitantes (año 2015)	Superficie Km2
1	7	Iztapalapa	1 827 868	117.00
2	5	Gustavo A. Madero	1 164 477	94.07
3	10	Álvaro Obregón	749 982	96.17
4	12	Tlalpan	677 104	312.00
5	3	Coyoacán	608 479	54.40
6	15	Cuauhtémoc	532 553	32.40
7	17	Venustiano Carranza	427 263	33.40
8	14	Benito Juárez	417 416	26.63
9	13	Xochimilco	415 933	122.00
10	2	Azcapotzalco	400 161	33.66
11	6	Iztacalco	390 348	23.30
12	16	Miguel Hidalgo	364 439	46.99
13	11	Tláhuac	361 593	85.34
14	8	La Magdalena Contreras	243 886	74.58
15	4	Cuajimalpa de Morelos	199 224	74.58
16	9	Milpa Alta	137 927	228.41

México se encuentra dentro de los 10 países más afectados a nivel mundial por pérdidas económicas directas por desastres climáticos y naturales entre 1998 y 2017 de acuerdo con un informe de la ONU. Por lo cual, es importante tener en cuenta este tipo de fenómenos y los efectos que éstos pueden tener en el caso de las redes de transporte de pasajeros.

La CDMX a lo largo de su historia presenta principalmente problemas de inundaciones, sismos e incidentes viales. La magnitud de este tipo de eventos tiene diferentes grados de afectación dependiendo del área de su localización, siendo de mayor o menos intensidad entre las 16 alcaldías que conforman la ciudad Figura 2.2. La alcaldía de Tlalpan cuenta con zonas en donde las redes de transporte público pasan de zonas de bajo a alto impacto de los eventos antes mencionados, por lo cual

se vuelve un caso de estudio importante para la urbe y el punto de partido para planes a futuro de mitigación.

Los fenómenos naturales considerados son:

- Inundaciones
- Zonas de peligro por sismos
- Afectaciones por el sismo de 2017

De acuerdo con los fenómenos planteados, las inundaciones han estado presentes a lo largo de la historia de la ciudad, por lo que el CENAPRED realizó un estudio de acuerdo con datos históricos de retorno de 5 años, teniendo como resultado 5 niveles de peligro. En el mapa de la Figura 2.3 se pueden visualizar los 5 niveles de peligro para la CDMX y la alcaldía de Tlalpan.

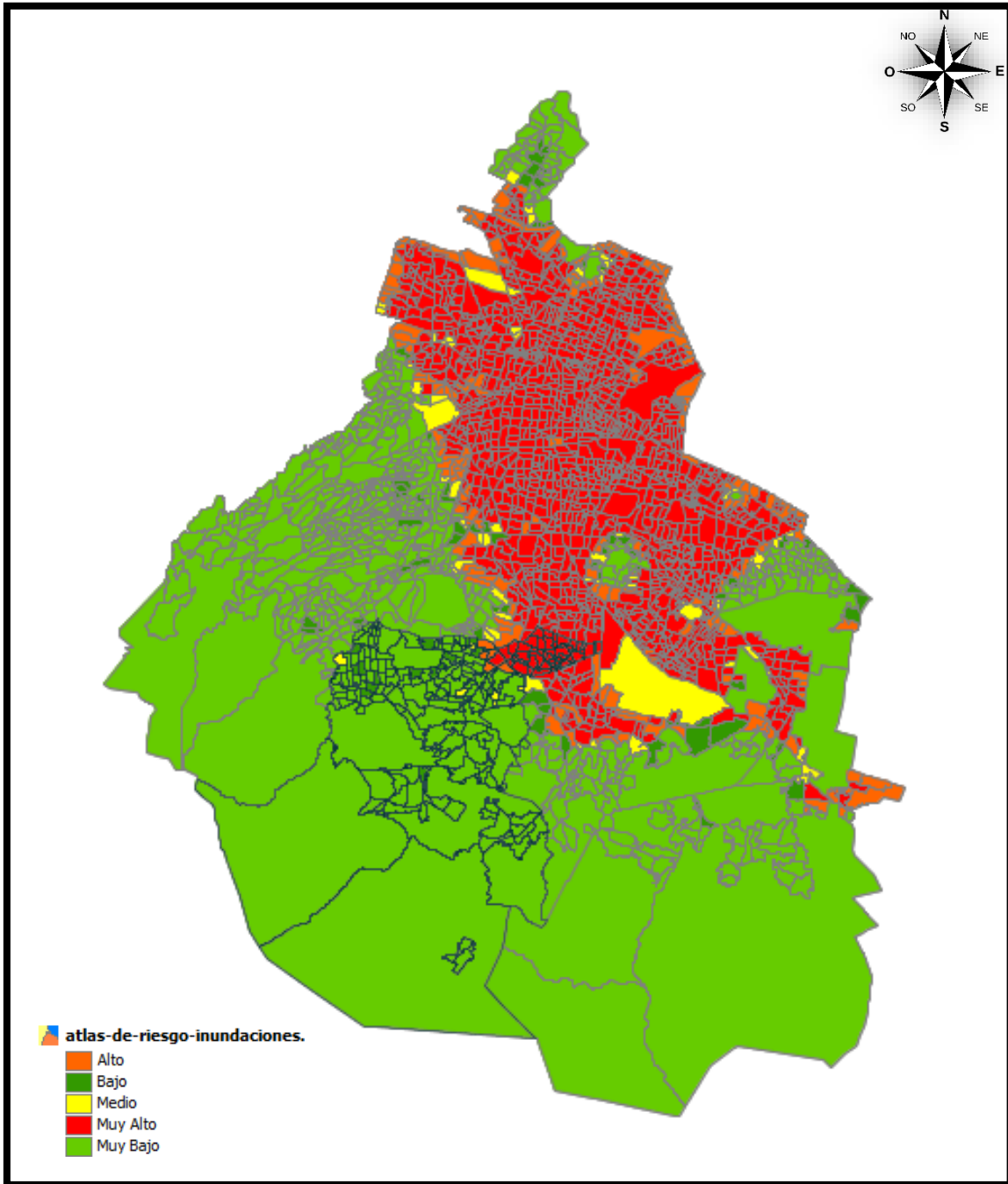


Figura 2.3. Niveles de peligro por inundación en la CDMX. Elaboración propia basada en datos del Atlas de Riesgos de Inundación de la Ciudad de México

Según datos del Atlas de riesgos, el indicador de sismos tiene como propósito alertar a las autoridades y a la población a peligros asociados con sismos,

localizando suelos firmes y depósitos lacustres. En el mapa de la Figura 2.4. se pueden observar las zonas de mayor o menor peligro sísmico y la alcaldía Tlalpan.

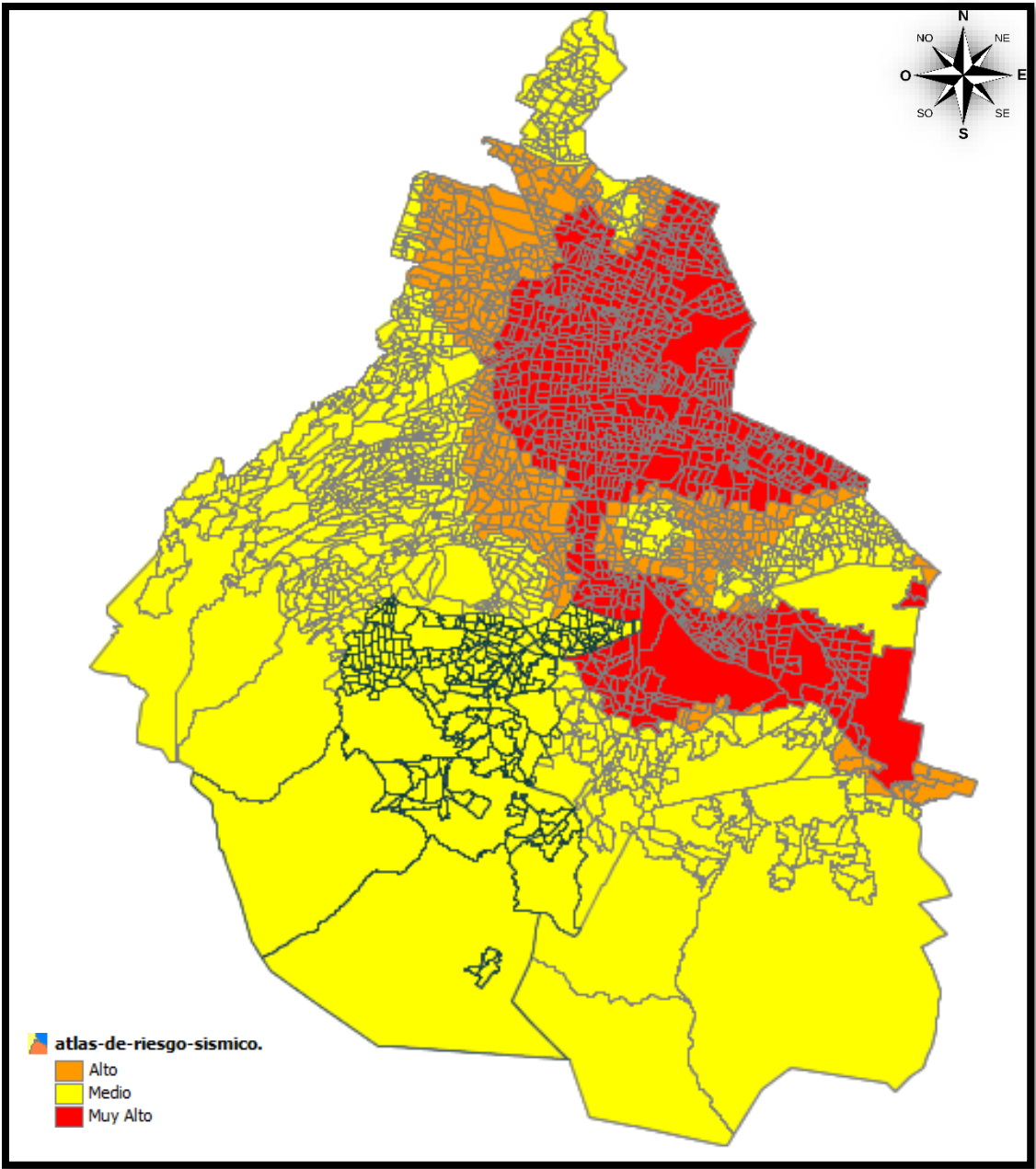


Figura 2.4. Niveles de peligro sísmico en la CDMX. Elaboración propia basada en datos del Atlas de Riesgos de Inundación de la Ciudad de México

De acuerdo con datos del INEGI, el mapa de la figura 2.5. muestra las cuatro zonas de mayor afectación del sismo de del 18 de septiembre de 2017 en la CDMX. Siendo zonas para tener en cuenta ante sismos que puedan ocurrir en un futuro próximo.

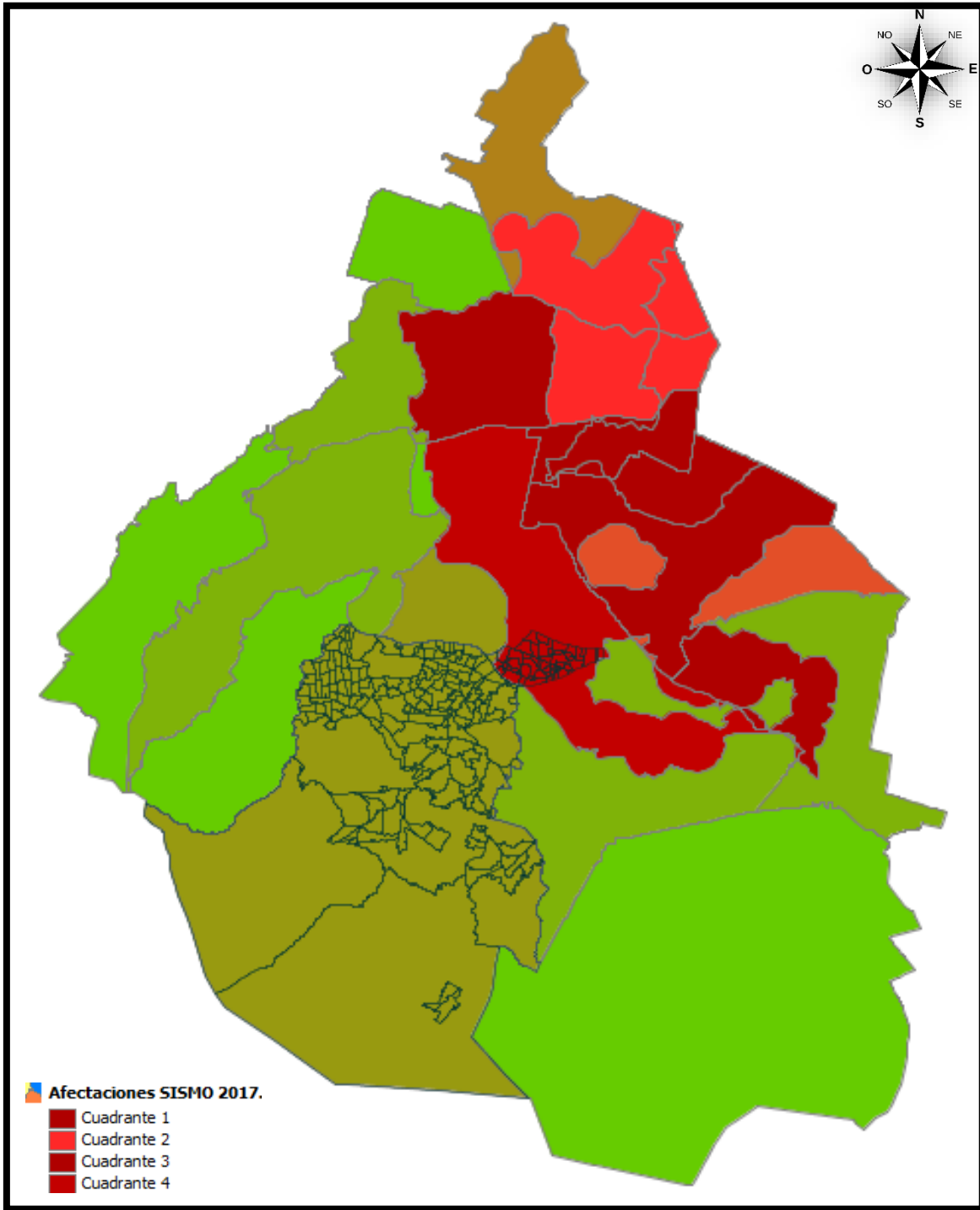


Figura 2.5. Zonas de mayor afectación en la CDMX por el sismo de 2017. Elaboración propia basada en datos del Atlas de Riesgos de Inundación de la Ciudad de México

La tabla 2.2. muestra el ordenamiento de las alcaldías conforme a el número de habitantes seguido del ordenamiento por extensión superficial, con lo que podemos ver dos alcaldías con el primer lugar en ambos criterios de orden: Iztapalapa y Tlalpan. Por lo cual, fue necesario establecer más criterios para tomar una decisión acerca de las regiones a definir, por medio de la adaptación de una matriz de decisión, para evaluar la situación desde un punto de lógico en donde las variables son ponderadas (Un plan de negocios, 2020).

Para los niveles de peligro, se consideró que la alcaldía en cuestión tuviera niveles de peligro como los utilizados en el Atlas de riesgos Muy Alto/Alto, Medio, Bajo/Muy Bajo con ponderaciones de 3, 2 y 1 respectivamente. El número de prioridad en este sentido se obtuvo de la suma de los niveles de peligro para inundaciones, zonas de peligro por sismos, las afectaciones por el sismo de 2017. En Este caso las alcaldías del más alto nivel de prioridad considerando Iztapalapa y Tlalpan quedan en 12 puntos.

Tabla 2.2. Número de prioridad de las alcaldías por inundaciones, zonas de peligro por sismos y zonas de afectación por el sismo de 2017. Elaboración propia

Desastres Naturales: Niveles de peligro										
Alcaldía	Orden	Orden	Inundaciones			Zonas de peligro por sismos			Afectaciones Sismo 2017	No. de prioridad
	Habitantes	Superficie	Muy Alto/Alto	Medio	Bajo/Muy bajo	Muy Alto/Alto	Medio	Bajo/Muy bajo	Algún cuadrante	
Iztapalapa	1	4	3	2	1	3	2	0	1	12
Gustavo A. Madero	2	6	3	2	1	3	2	0	1	12
Álvaro Obregón	3	5	0	0	0	3	2	0	0	5
Tlalpan	4	1	3	2	1	3	2	0	1	12
Coyoacán	5	10	3	2	1	3	2	0	1	12
Cuauhtémoc	6	14	3	0	0	3	0	0	1	7
Venustiano Carranza	7	13	3	0	0	3	0	0	1	7
Benito Juárez	8	15	3	2	1	3	2	0	1	12
Xochimilco	9	3	3	2	1	3	2	0	1	12
Azcapotzalco	10	12	3	2	0	3	2	0	1	11
Iztacalco	11	16	3	0	0	3	0	0	1	7
Miguel Hidalgo	12	11	3	2	0	3	2	0	1	11
Tláhuac	13	7	3	2	1	3	2	0	1	12
La Magdalena Contreras	14	8	0	0	1	0	2	0	0	3
Cuajimalpa de Morelos	15	9	0	0	1	0	3	0	0	4
Milpa Alta	16	2	0	0	1	0	2	0	0	3

El siguiente criterio seleccionado en el estudio fue considerar las denuncias por robo a transeúntes en vía pública con violencia en las alcaldías de Iztapalapa y Tlalpan. En el mapa de la Figura 2.6. se pueden observar la distribución de 227 casos de robo en la Ciudad de México en el periodo de 2018. De acuerdo con esto, la alcaldía Tlalpan muestra un menor número de casos, y con ello ofrece mayor seguridad en términos de desplazamientos de la zona a estudiar. Por lo cual, el caso de estudio se acotó a la alcaldía de Tlalpan descartándose Iztapalapa como punto central de estudio.

Además, de que la alcaldía de Tlalpan en la Ciudad de México (CDMX) cuenta con una localización en la entidad, tal que, se pueden encontrar puntos de encuentro entre el grado de impacto alto, medio y alto de inundaciones, sismos e incidentes viales.

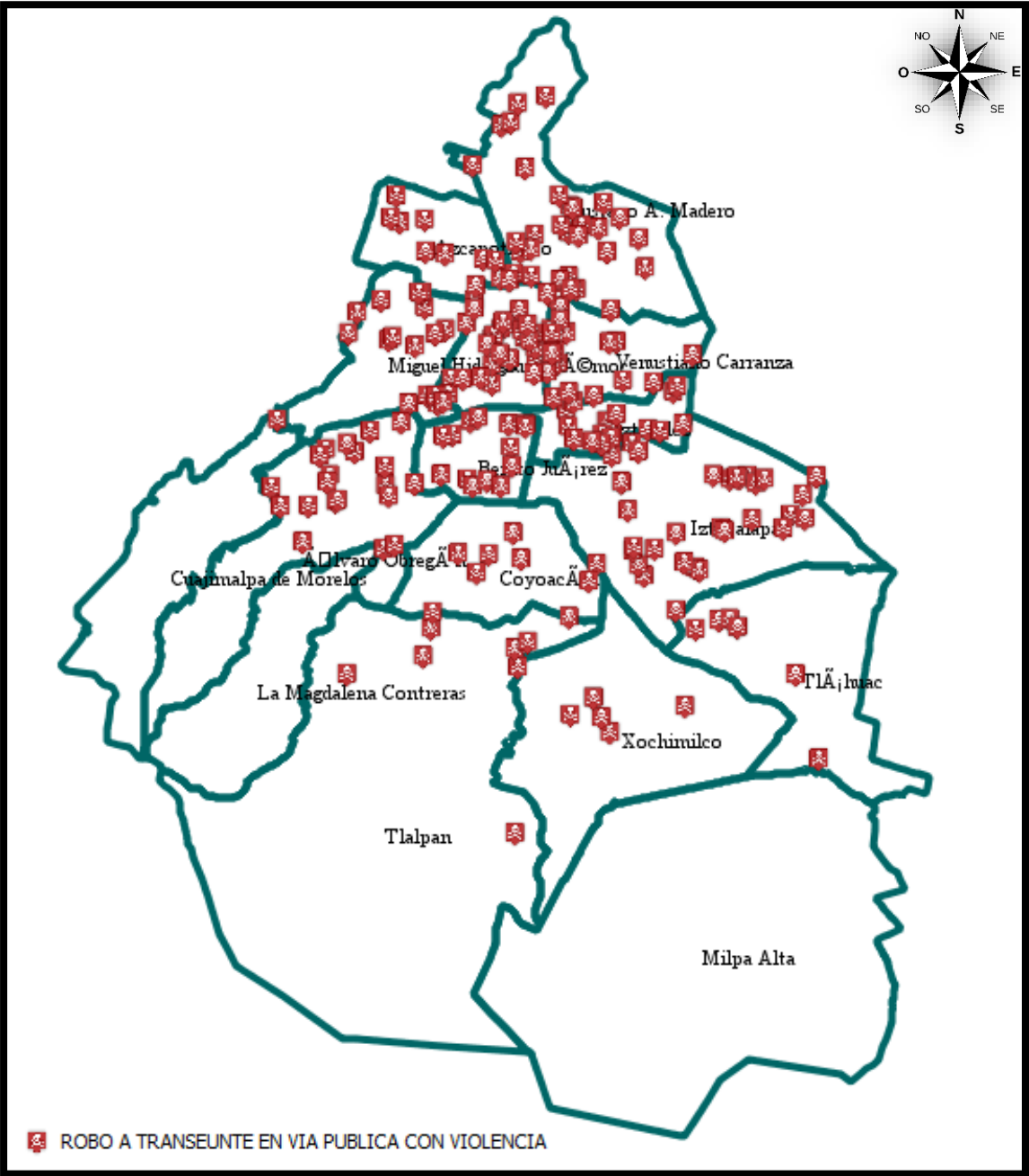


Figura 2.6. Robos a transeúntes en la CDMX. Elaboración propia basada en los datos abiertos de la Ciudad de México

2.1.2 Selección de colonias de la alcaldía Tlalpan y del modo de transporte

La alcaldía de Tlalpan cuenta con 178 colonias distribuidas en la parte norte de extensión territorial figura 2.7A, de las cuales se buscó que la red de transporte público pasara por zonas con niveles de peligro en Muy Alto/Alto, Medio, Bajo/Muy Bajo con el fin de analizar distintos puntos de encuentro entre fenómenos figura 2.7B.

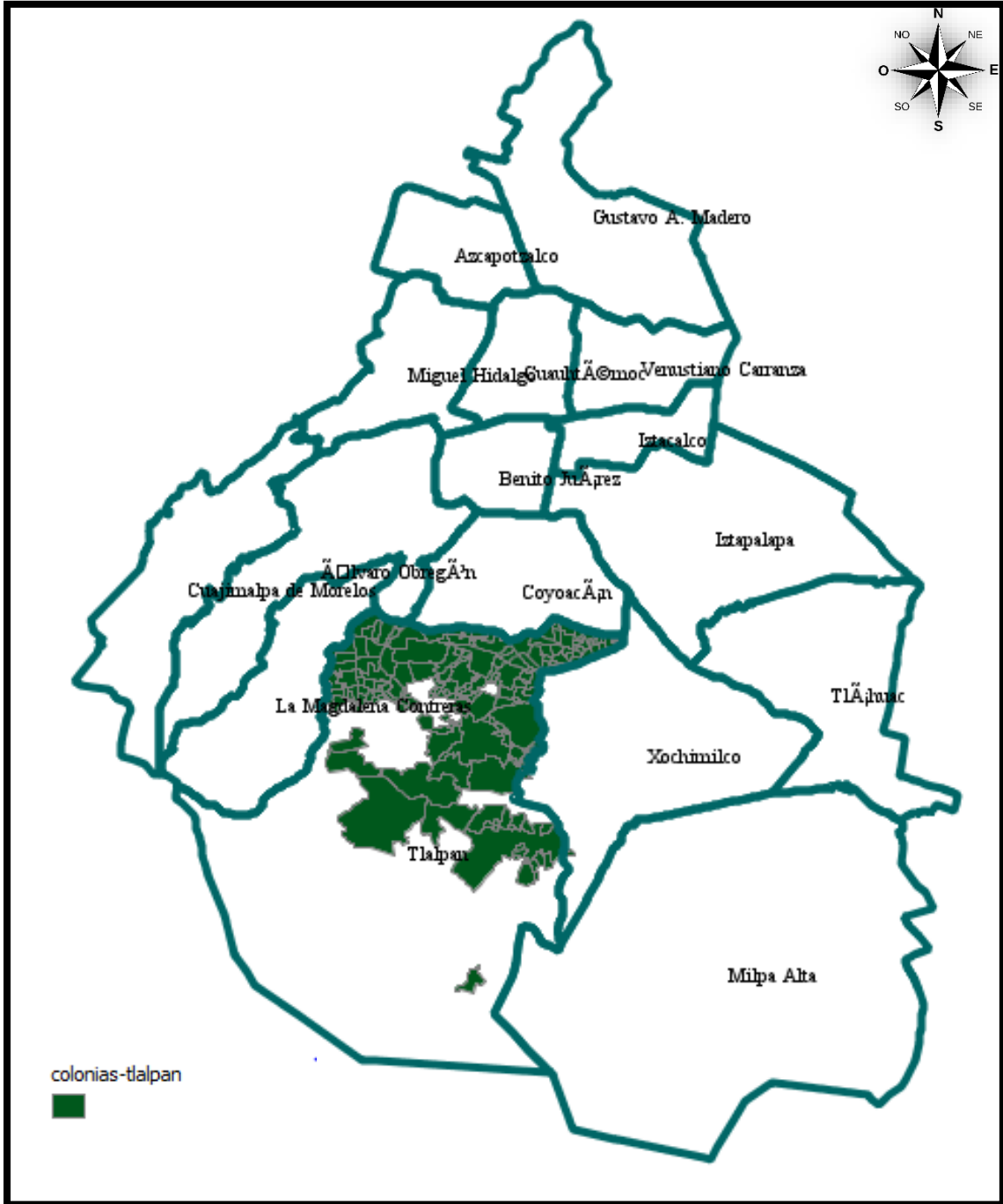


Figura 2.7A. Colonias de la alcaldía de Tlalpan. Elaboración propia basada en los datos abiertos de la Ciudad de México

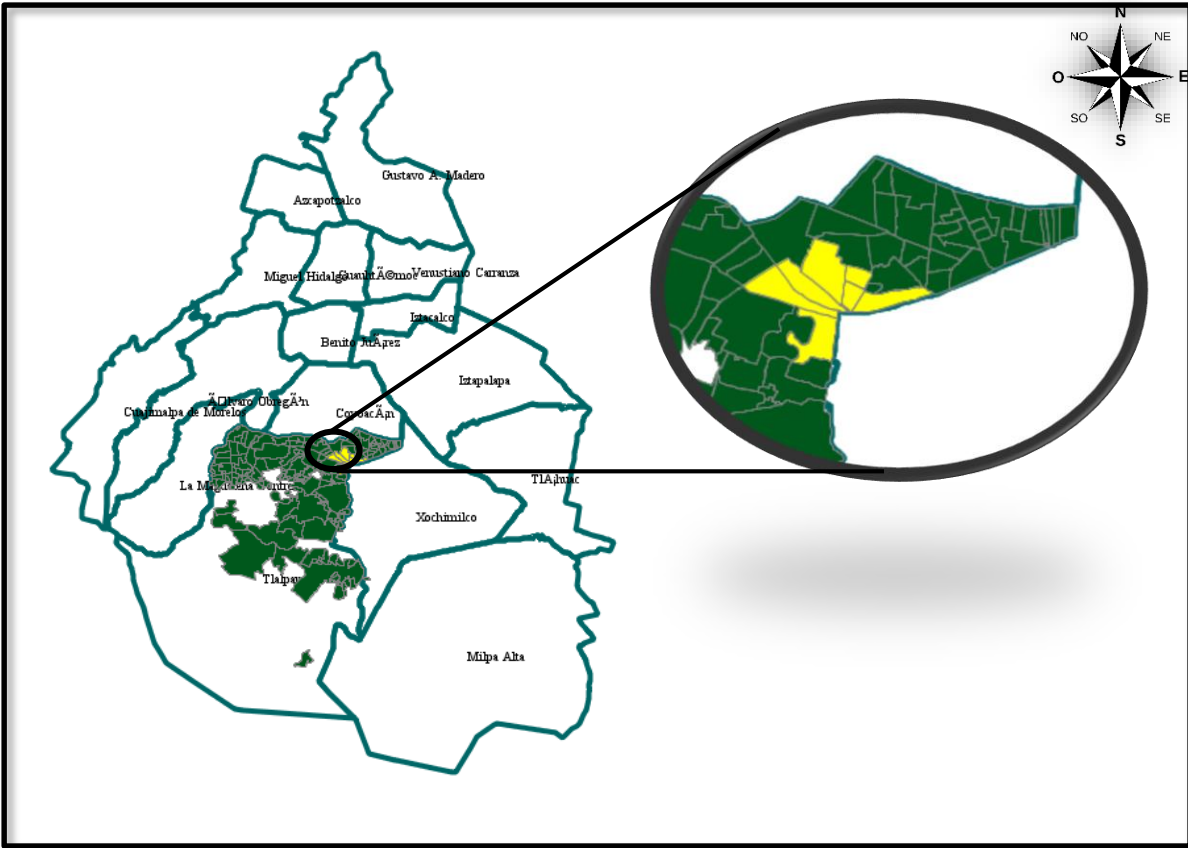


Figura 2.7B. Colonias de la alcaldía de Tlalpan con diferentes niveles de peligro. Elaboración propia basada en los datos abiertos de la Ciudad de México

Las colonias que presentan diferentes niveles de peligro por inundaciones, zonas de peligro por sismos y las de afectaciones por el sismo de 2017 en la alcaldía Tlalpan, cuentan con distintas rutas de transporte público, el cual puede ser de dos tipos RTP y Microbús. La tabla 2.3 muestra la cantidad de rutas de cada uno de los tipos de transporte público.

Tabla 2.3. Número de rutas por tipo de transporte. Basada en datos de <https://viadf.mx/directorio/ciudad-de-mexico/tlalpan>

Alcaldía	Colonias	Tipo de transporte público de pasajeros (masivo)	
		RTP	Microbús
Tlalpan	Arenal Puerta Tepepan	1	9
	AMSA	2	8
	Rancho los Colorines	0	0
	Valle Escondido	0	1
	Hacienda San Juan-Rincón de San Juan-Chimalli	0	1
	San Bartolo el Chico	3	9
	Rinconada (U HAB)	0	0

El tipo de transporte público RTP (Red de Transporte de Pasajeros) está a cargo del gobierno de la CDMX. Y tiene como objetivo general prestación del servicio radial de transporte público de pasajeros con base en los principios de legalidad, honradez, lealtad y profesionalismo, preferentemente en zonas periféricas de escasos recursos en la Ciudad de México (Gobierno de la Ciudad de México, 2019). La visión y misión de la Red de Transporte de Pasajeros se observan en la Figura 2.8.

RTP	
Misión <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar servicios de transporte público de calidad, que sea seguro, eficiente y amigable con el medio ambiente, dirigido principalmente para la población de escasos recursos y zonas periféricas, que permitan optimizar los tiempos de traslado y mejorar la movilidad y el bienestar de los habitantes de la Ciudad de México, bajo una perspectiva de respeto a los derechos humanos y la equidad de género. 	Visión <ul style="list-style-type: none"> • Que la Red de Transporte de Pasajeros de la Ciudad de México, sea reconocida como la instancia que proporciona servicios de transporte público de calidad, seguro, económico y amigable con el medio ambiente, a través del uso de nuevas tecnologías, la modernización de su parque vehicular y establecimiento de mecanismos de participación ciudadana.

Figura 2.8. Misión y visión de la Red de Transporte de Pasajeros. Elaboración propia basado en <https://www.rtp.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de>

Por otro lado, el transporte público concesionado al que pertenecen las rutas de microbús en la Ciudad de México, pertenece a un modelo “Hombre-camión” ya que no existe un gestor del sistema. Además, prevalece la informalidad, hay problemas de sobreoferta y no existe una integración del sistema de pago.

Aunque el transporte concesionado traslada al 67% de los pasajeros de la ciudad opera sin planeación formal y/o con una flota inadecuada. Además, es insegura, contaminante y ha superado por mucho su vida útil, todo lo cual se traduce en una baja calidad en el servicio. También, el modelo de negocio que rige a este sector, se basa en que las ganancias son individuales y exclusivamente por pasajero transportado, produciendo competencia en las calles por personas usuarias, lo que da como resultado el ascenso y descenso de pasajeros en lugares no autorizados, aumento en la congestión y un gran número de incidentes de tránsito cada año (Secretaría de Movilidad, 2019).

Con base en la información anterior se decidió analizar las rutas pertenecientes a la RTP que se encuentran en la colonia San Bartolo el Chico, ya que este modo de transporte tiene mayor número de rutas en esta colonia y está sujeto a políticas del Gobierno de la Ciudad de México. Con esto se espera, que el estudio pueda contribuir de alguna manera con el Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México.

2.1.3 Rutas de la RTP seleccionadas

Las rutas de la RTP seleccionadas para el estudio se encuentran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Número de rutas por tipo de transporte. Elaboración propia

Ruta	Origen	Destino
143	Metro Taxqueña	Villa Milpa Alta
162D	Metro Universidad	Santa Catarina
39A	Metro San Lázaro	Xochimilco/Bosque de Nativitas

2.3. Caso de estudio

De acuerdo con la información obtenida en el punto 1. Delimitación del caso de estudio, se realizó la selección de tres rutas de la Red de Transporte de Pasajeros en la Ciudad de México, las cuales tienen como punto central la Alcaldía Tlalpan. Para las cuales se planea determinar la vulnerabilidad que corre la red formada por las rutas 143, 162D y 39ª de acuerdo con uno o más riesgos a identificarse, que interfiere de manera directa en la forma en que cómo se transportan los pasajeros.

2.4. Metodología usada

La metodología es un conjunto de principios que durante un proceso de investigación ayudan a dar una mayor estructuración al estudio. El uso de varias metodologías para evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura crítica, es muy importante para profundizar la comprensión de las implicaciones que una red presenta, además de que proporcionan un conjunto de resultados que pueden ayudar a los planes estratégicos relacionados con mecanismos para asegurar el funcionamiento correcto del sistema.

En punto se plantea la metodología a seguir para obtener la vulnerabilidad de la red. La cual consta de varias etapas de acuerdo con las actividades a realizarse. La primera etapa se refiere a la búsqueda de información propia del tema de redes de transporte y vulnerabilidad y sobre las redes presentes en la Ciudad de México. La segunda etapa presenta el desarrollo y la aplicación al caso de estudio de diversas herramientas propias de los estudios de riesgos y análisis de redes. Para así terminar con la tercera etapa, que se conforma por los resultados y conclusiones.

Como se observa en la figura 2.9, cada una de las etapas están orientadas a diferentes objetos para las cuales se plantean varias herramientas a utilizarse. En la etapa 1 se plantea hacer una búsqueda inicial de información acerca de la teoría de redes generales y complejas, cómo se han realizado otros estudios de vulnerabilidad de redes de transporte público, cómo están constituidas las redes de transporte de

la Ciudad de México y finalmente cómo se relacionan los estudios de riesgos en la búsqueda de las variables que puedan afectar las redes de transporte.

Para continuar con la etapa 2, se plantea seguir un proceso en el cual se identifiquen los riesgos potenciales a los cuáles se somete una red de transporte en la ciudad por medio de un análisis de riesgos de la red. Por lo cual, se aplican diferentes herramientas propias de la evaluación de riesgos. Luego, para conocer la forma en la que interactúa la red, se pretende analizar cómo se comporta el transporte de manera medible por medio de indicadores de desempeño planteados teóricamente, para luego conocer topológicamente a la red. Y finalmente obtener la vulnerabilidad de la red con una medición a nivel nodo, para exponer la afectación de los tiempos de viaje dado algún evento adverso.

Para concluir el estudio, los resultados y conclusiones se determinarán con ayuda de cuadros y mapas que ayuden a una rápida identificación de lo obtenido en el estudio.

Diseño de la investigación				
Etapa	Actividad principal	Objeto de la actividad	Herramienta	
Etapa 1. Teoría	Búsqueda y obtención de información	Modelos de redes	Libros, artículos, sitios web, videos, etc.	
		Vulnerabilidad de redes de transporte		
		Redes de transporte de la Ciudad de México		
		Estudios de riesgos		
Etapa 2. Desarrollo	Análisis de riesgos de la red	Identificación de riesgos	Metodologías de riesgos: check list y AMEF	
		Identificación de procesos		
		Aplicación de herramientas de análisis		
	Análisis de la red	Identificación de los indicadores de desempeño de la red	Programas de computo y aplicaciones: Wolfram Mathematica 11, Python, gvSIG 2.0, QGIS 3.12, RouteConverter, OruxMaps GP	
		Planteamiento de la red por medio del análisis de red		
		Conocer la topología de la red		
	Obtención de la vulnerabilidad	Obtener la vulnerabilidad en cada nodo		
		Exponer la vulnerabilidad de la red		
		Identificar los tiempos de desplazamiento dado un evento		
Etapa 3. Resultados y conclusiones	Presentar los resultados	Mapas e ilustraciones		
		Concluir		

Figura 2.9. Metodología de la investigación aplicado al caso de estudio. Elaboración propia

Capítulo 3. Solución del caso de estudio

3.1. Introducción

De acuerdo con la metodología planteada, en este capítulo se presenta la aplicación de un conjunto de herramientas y metodologías propias de los análisis de riesgos y de redes. Por lo cual, se hace uso de herramientas de análisis que van desde la realización de tablas hasta la utilización de software como Python.

El desarrollo de este capítulo busca obtener como los niveles de riesgos pueden determinar el nivel de vulnerabilidad de la red.

3.2. Evaluación de riesgos de la red de transporte

3.2.1 Análisis de riesgos

Los eventos que pueden alterar las condiciones normales de una sistema o elemento suelen darse de manera inesperada en la vida diario trayendo consigo consecuencias que podrían ser realmente negativas para los involucrados.

Para poder abordar estos eventos, existen metodologías mediante las cuales se puede hacer la identificación y evaluación de riesgos de forma sistemática y así tener una mejor administración del riesgo.

En un estudio de riesgos es muy importante distinguir entre algunos términos y sus definiciones ya que no deben ocuparse de manera indistinta, a continuación, se mencionan algunos términos.

Accidente: Es un evento o situación en la cual los involucrados están sujetos a diversos daños, los cuales pueden ser irreversibles.

Peligro: Es una amenaza potencial, entre las que podemos encontrar a todas aquellas características físicas o químicas, individuos o procesos con el potencial de causar algún daño.

Riesgos: Es la probabilidad de que ocurra un peligro en específico. Siendo así que un daño potencial puede ser medible en términos de su severidad y probabilidad.

Ahora bien, el análisis de riesgos o evaluación de riesgos implica más que solo la identificación de éstos, ya que consiste en aplicar técnicas para la identificación, evaluación y categorización de los riesgos a los que puede estar expuesto un sistema. Con el objetivo de lograr un balance de diferentes factores para alcanzar un nivel aceptable de riesgo.

Los métodos de evaluación de riesgos obedecen tanto a su complejidad como a la gravedad del posible accidente. Los métodos complejos de evaluación de riesgos se emplean cuando se necesita la utilización de dispositivos, técnicas de muestreo o conocimientos de información mayores.

Dentro de los métodos cualitativos utilizados en el presente trabajo, están las listas de verificación y los análisis de modo de falla y efecto, técnicas aplicadas al caso de estudio. Siendo que las listas de verificación son utilizadas para verificar el estado del sistema mostrando los estándares y practicas empleadas. Las cuales consisten en una lista de los componentes o procedimientos utilizados en la operación de un sistema, lo que permite la identificación de peligros y riesgos. Y el análisis de modo de falla y efecto es una técnica sistemática en la cual se hace una identificación de las posibles fallas en un sistema y las consecuencias directas.

El análisis de riesgos aplicado al caso de estudio se realizó respecto a los componentes físicos del sistema Figura 4.1., los cuales incluyen las vialidades y los vehículos de transporte.

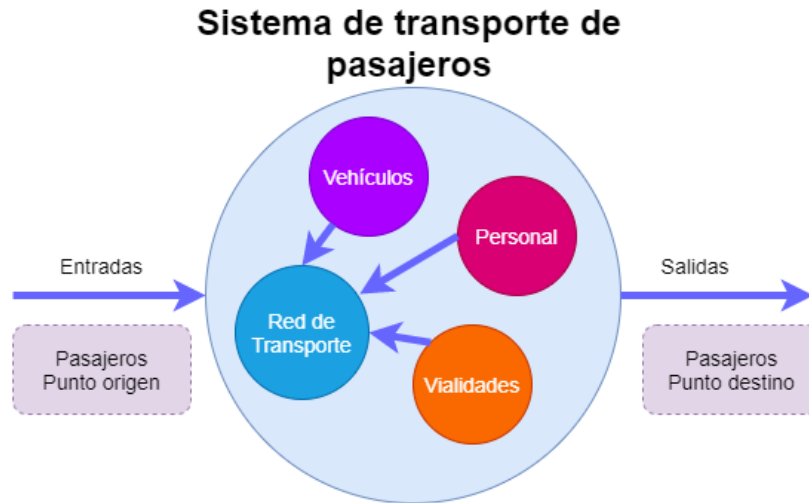


Figura 3.1. Sistema de transporte de pasajeros. Elaboración propia

3.2.2 Proceso de la RTP

De acuerdo con la teoría del transporte del capítulo 2, el tipo de rutas que sigue la RTP son de transporte urbano ya que su servicio se da en la ciudad. Donde la operación está constituida por el vehículo de transporte, las vialidades por las cuales se mueve y el personal que conduce cada unidad.

Cada unidad o vehículo se mueve a lo largo de una ruta ya establecida y se detiene a lo largo de ésta en paradas establecidas que están señaladas a lo largo de la vialidad para el arribo o descenso de los usuarios. El proceso de transporte de pasajeros inicia cuando un usuario de la RTP arriba a la unidad y paga su pasaje, siendo éste el origen de su recorrido, y termina cuando, trascurrido un tiempo y cierta distancia, el pasajero llega a su destino y desciende de la unidad Figura 4.2.

En este caso, el tiempo es parte directa del proceso, ya que cada desplazamiento del usuario tiene un tiempo promedio en las condiciones normales de operación, esto es, cuando no se presenta algún evento externo que modifique el estado de alguno de los elementos del proceso. Por lo cual, es muy importante poder identificar peligros y/o riesgos los cuales modifican el tiempo de desplazamiento de los usuarios.

Mapa de proceso del transporte de pasajeros

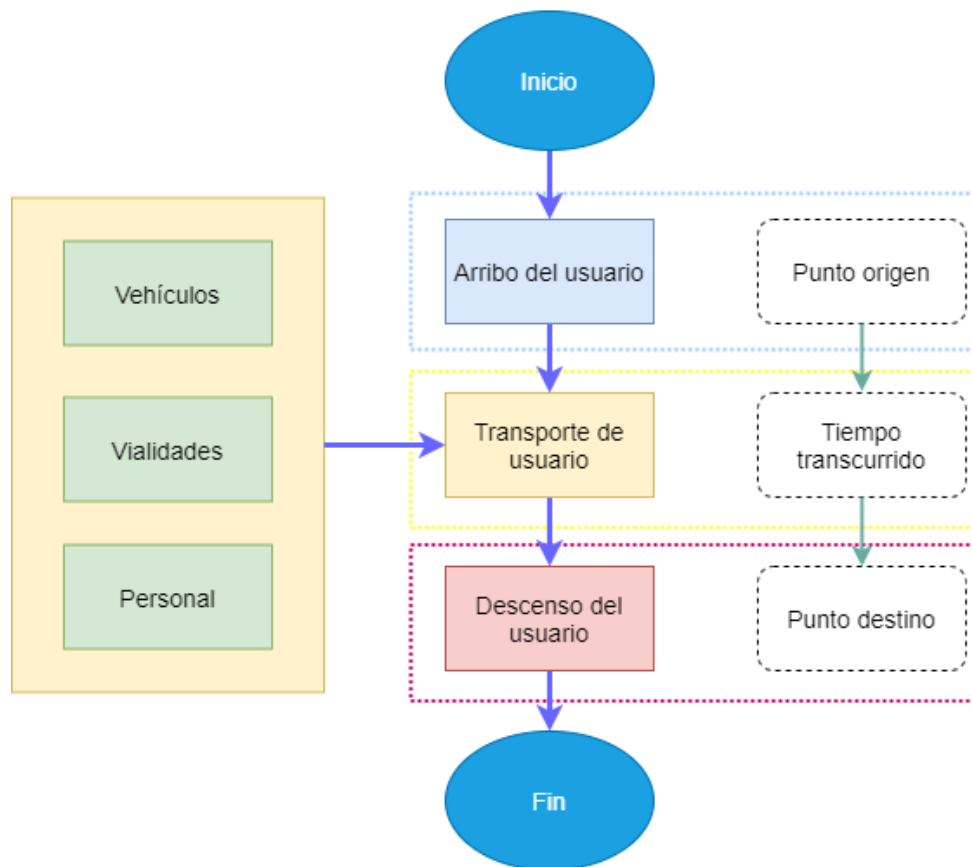


Figura 3.2. Sistema de transporte de pasajeros. Elaboración propia

Los elementos críticos de la operación están presentes en las vialidades, ya que una alteración en estos elementos tiene como consecuencia en una alteración del tiempo promedio de viaje para los usuarios.

3.2.3 Listas de verificación

La técnica *check list* en español lista de verificación es una técnica utilizada para verificar el estatus del sistema y es aplicable en cualquier etapa de un proceso. Su utilización radica en mostrar los estándares y prácticas que se utilizan en las

organizaciones y así identificar peligros latentes. De esta manera, contribuir con la medición y administración del riesgo.

Las siguientes listas se obtuvieron con una verificación visual directa durante los recorridos realizados en las rutas estudiadas y tratan acerca del estado de los componentes físicos de vehículos y vialidades de acuerdo con normas oficiales mexicanas.

Lista de verificación². Dentro del vehículo.

CUESTIONARIO		SÍ	NO
1.	LA UNIDAD ¿CUENTA CON UNA PLACA LEGIBLE E INDELEBLE CON LA CAPACIDAD MÁXIMA DE PASAJEROS?	X	
2.	¿EL TUBO DE ESCAPE ESTA INSTALADO DE TAL FORMA, QUE LOS GASES Y HUMOS DEL MOTOR NO SE DESCARGUEN POR EL LADO DONDE SE ENCUENTRA LA ENTRADA Y SALIDA DE PASAJEROS?	X	
3.	LAS UNIDADES DEBEN CUENTAN CON UNA CAJA PARA RÓTULOS MÍNIMO DE 1,00 M X 0,16 M EN LA PARTE FRONTAL SUPERIOR QUE NO OBSTRUYA LOS ÁNGULOS DE VISIBILIDAD DEL CONDUCTOR.	X	
4.	¿LAS PUERTAS ESTÁN SITUADAS EN LA PARTE DERECHA?	X	
5.	¿LAS PUERTAS CUENTAN CON UN SISTEMA QUE PERMITE ABRIRLAS DESDE DENTRO Y DESDE FUERA?	X	
6.	¿LAS UNIDADES CUENTAN CON VIDRIOS EN LAS PUERTAS DE ASCENSO Y DESCENSO?	X	
7.	¿LOS ASIENTOS CUENTAN CON UN ANCLAJE FIJO?	X	
8.	¿LOS PASAMANOS Y ASIDEROS SON DE SECCIÓN CIRCULAR?	X	
9.	¿LA UNIDAD CUMPLE CON VENTANILLAS?	X	
10.	¿LAS UNIDADES TIENEN INSTALADAS FUENTES DE ALUMBRADO DE TIPO INCANDESCENTE O FLUORESCENTE?	X	
11.	¿LA UNIDAD CUENTA CON UN TIMBRE PULSADOR QUE PERMITE SOLICITAR LA PARADA?	X	
12.	¿LAS UNIDADES CUENTAN CON DOBLE LOCALIZACIÓN DE LAS SALIDAS DE EMERGENCIA SIN CONTAR LAS PUERTAS DE ASCENSO Y DESCENSO DE PERSONAS?	X	
13.	¿LAS UNIDADES TRAEN INCORPORADOS EXTINTORES?		X

² Lista basada en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, TRANSPORTE TERRESTRE-SERVICIO DE AUTOTRANSPORTE ECONÓMICO Y MIXTO-MIDIBÚSCARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DE SEGURIDAD

Lista de verificación³. Señalamiento en carreteras y vialidades.

CUESTIONARIO	SÍ	NO
1. ¿LA VIALIDAD CUENTA CON FRANJAS DESTINADAS A LA CIRCULACIÓN?		X
2. ¿EXISTE RAYA SEPARADORA DE SENTIDOS DE CIRCULACIÓN?	X	
3. ¿HAY RAYAS DE PASO DE PEATONES?		X
4. ¿HAY SEÑALAMIENTO DE LUGAR DE PARADA?		X
5. ¿HAY SEÑALAMIENTOS EN ESTRUCTURAS? (ALTURAS LIBRES)		X
6. ¿HAY MARCAS TEMPORALES QUE INDIQUEN RUTAS DE DESFILES, TRAZOS DE OBRAS, ACTIVIDADES DEPORTIVAS?		X
7. ¿LAS PARADAS CUENTAN CON UN SEÑALAMIENTO?	X	
8. ¿HAY TABLEROS DE SEÑALES DE VELOCIDAD?	X	

De acuerdo con las listas de verificación, el elemento crítico para el transporte de pasajeros es la vialidad por la cual se desplazan las unidades. Siendo que éstas están más expuestas a eventos que pueden alterar los tiempos de recorrido de los usuarios.

3.2.4 Análisis de modo de falla y efecto

El análisis de modo y efecto es una técnica sistemática para detectar fallas en los sistemas. Algunos de los objetivos están en enlistar las fallas potenciales e identificar la magnitud de sus efectos y desarrollar los criterios para la verificación de las operaciones dentro del sistema.

Esta técnica implica la identificación de posibles modos de falla, las causas y los efectos de estas fallas. Para evaluar los niveles de severidad y ocurrencia en un AMEF se recomienda utilizar criterios de probabilidad de falla. De acuerdo con Soler Anguiano & Alvarez Echeverria (2010) los niveles de severidad y ocurrencia se plantean del 1 al 10 donde la estimación de los efectos en cada fallo se realiza en una escala de seis valores. En este caso, para simplificar la escala se planteo en una escala de cinco valores y de esta forma tener una escala congruente con la que se

³ Lista basada en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-034-SCT2-2018, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

plantea en el Atlas de Riesgo de la Ciudad de México de la Secretaría de Gestión integral de Riesgos y Protección Civil que considera 5 niveles de peligro.

Los criterios para la estimación de la severidad, ocurrencia y detección se muestran en las siguientes tablas.

Criterios que obedecen al vehículo y a los pasajeros

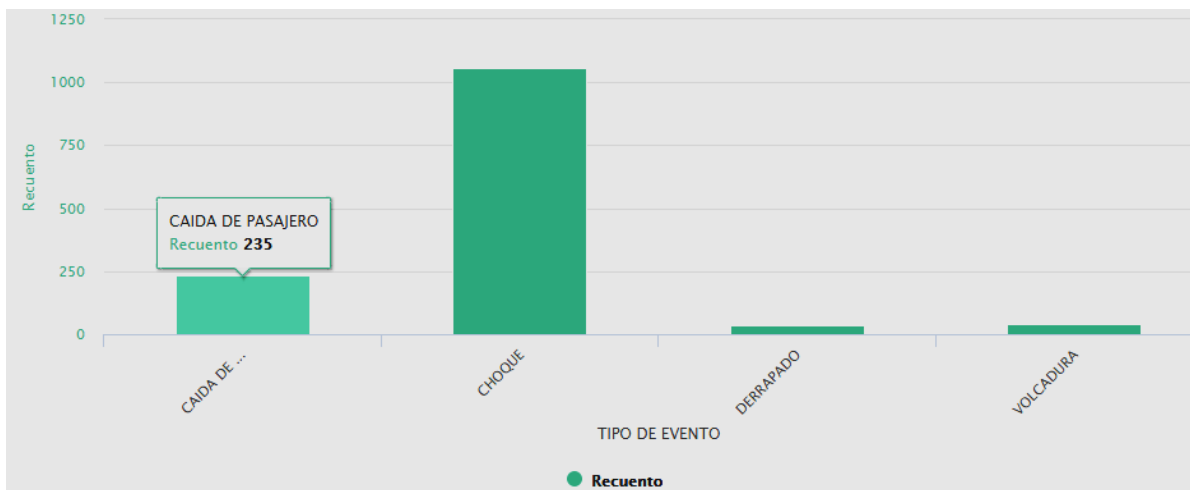
Tabla 3.1. Severidad. Elaboración propia

Criterio. Severidad del efecto	Denominación	Valor
El vehículo es afectado de tal manera que los pasajeros resultan heridos o muertos	Destacado	5
El vehículo presenta un alto total que puede provocar lesiones a los pasajeros	Alta	4
El vehículo presenta un mal funcionamiento	Medio	3
El vehículo presenta fallas mecánicas mínimas	Bajo	2
El vehículo no es afectado	Ninguna	1

Tabla 3.2. Ocurrencia. Elaboración propia

Criterio. Ocurrencia del efecto	Denominación	Valor
Más de 236 casos en un año	Destacado	5
Entre 181 y 235 casos	Alta	4
Entre 121 y 180 casos	Medio	3
Entre 60 y 120 casos	Bajo	2
Entre 1 y 59 casos	Ninguna	1

Con datos de abiertos de la CDMX para 2019, se presentaron 1370 casos de lesionados y occisos siendo estos pasajeros de algún medio de transporte en la ciudad, de los cuales 1059 son casos que resultan de algún choque, y un total de 236 caídas de pasajeros, número que se tomó como referencia para proponer los intervalos de casos ocurridos Gráfica 3.1.



Gráfica 3.1. Incidentes viales en la Ciudad de México. Fuente:

https://datos.cdmx.gob.mx/explore/dataset/incidentes-viales-c5/table/?disjunctive.incidente_c4

Criterios que obedecen a las vialidades

Cada uno de los criterios de severidad se determinaron con relación en el impacto que representaría un fenómeno en la vialidad y cuya consecuencia directa afectaría el desempeño de la red.

Tabla 3.3. Severidad. Elaboración propia

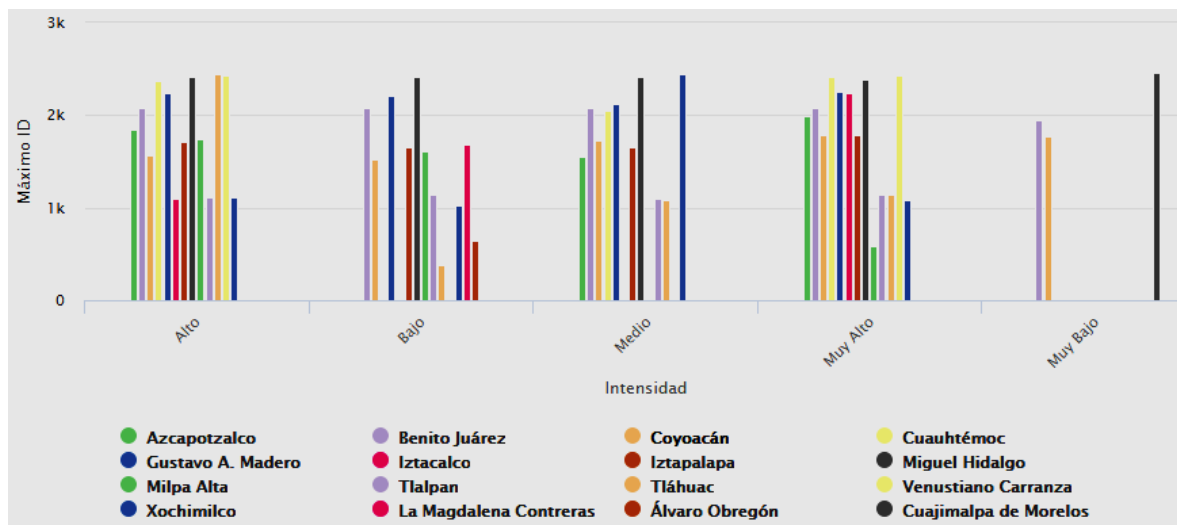
Criterio. Severidad del efecto	Denominación	Valor
La vialidad presenta cierre total a lo largo de varios puntos	Destacado	5
La vialidad presenta cierres	Alta	4
La vialidad presenta una disminución de su capacidad	Medio	3
La vialidad presenta alteraciones físicas pero permite la movilidad	Bajo	2
La vialidad no es afectada	Ninguna	1

Ocurrencia

Tabla 3.4. Ocurrencia. Elaboración propia

Criterio. Ocurrencia del efecto	Denominación	Valor
Más de 4001 casos	Destacado	5
Entre 3001 y 4000	Alta	4
Entre 2001 y 3000	Medio	3
Entre 1001 y 2000	Bajo	2
Entre 1 y 1000	Ninguna	1

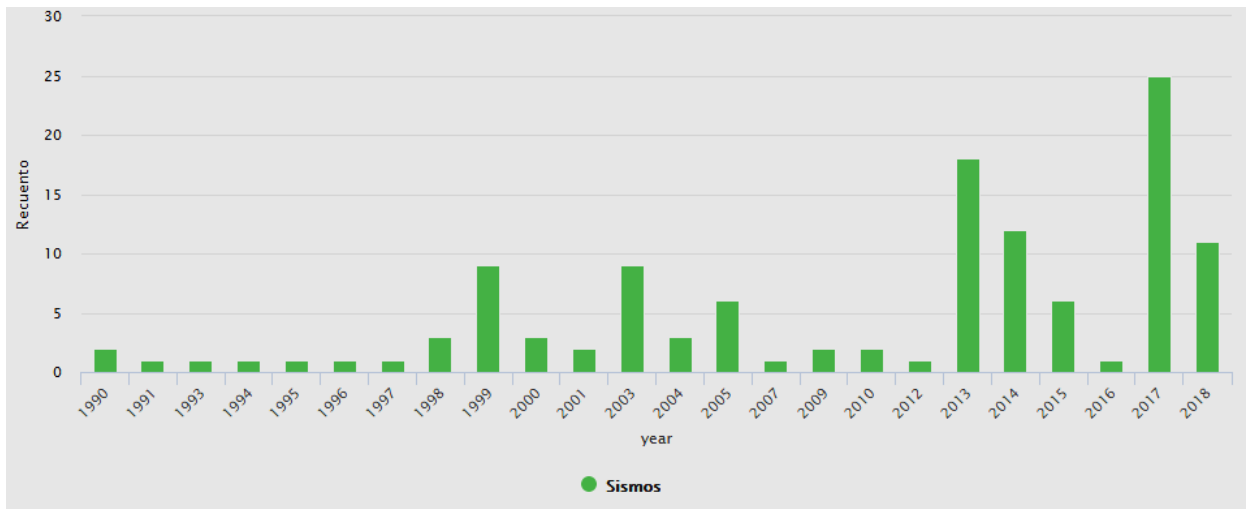
En la Ciudad de México se registraron un total de 6,352 casos de choques, y un total de 4908 registros del Indicador de inundaciones del módulo de peligros del Atlas de riesgos de la Ciudad de México a nivel AGE⁴. Además de un total de 11 sismos registrados en 2018 Grafica 3.2 y Grafica 3.3.



Gráfica 3.2. Indicador de inundaciones por alcaldía. Fuente:

<https://datos.cdmx.gob.mx/explore/dataset/atlas-de-riesgo-inundaciones/table/>

⁴ AGE⁴ urbana es un área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etcétera, y sólo son asignadas al interior de las zonas urbanas que son aquellas con población mayor o igual a 2,500 habitantes y en las cabeceras municipales. Fuente: https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Rezago_social_AGE⁴_2010.aspx



Gráfica 3.3. Recuento de sismos por año. Fuente: <https://datos.cdmx.gob.mx/explore/dataset/catalogo-de-sismos/table/>

Resultados del análisis de modo de falla y efecto

Los resultados del análisis de nodo de falla y efecto de acuerdo con los criterios anteriores se pueden apreciar en la tabla 3.5. De acuerdo con el producto de severidad y ocurrencia de los efectos de las fallas, el número prioritario de riesgo es estimado y visualizado a manera de semáforo con colores que van del verde hasta rojo de acuerdo con el nivel de prioridad de menor a mayor. Dichos valores y colores son dicen cuáles son los principales riesgos a los que se enfrentan los vehículos y vialidades de la RTP, en este caso, el puntaje más alto es de 25 puntos que corresponde a las inundaciones que se pueden presentar a lo largo de la vialidad, seguido de los choques que se presentan.

Componentes	Función del proceso	Falla	Causa	Efecto	Severidad	Ocurrencia	Control actual del proceso	RPN (Risk Priority Number)
Vehículo	Transportar pasajeros	Mecánica	Falta de mantenimiento	Mal funcionamiento del vehículo	3	1		3
			Desgaste	Mal funcionamiento del vehículo	3	1		3
		Golpe	Mal funcionamiento del vehículo	1	2	Inspección visual		2
	Choque	Exceso de velocidad	Caidas de pasajeros	5	3			15
		Semáforos inactivos	Caidas de pasajeros	5	3			15
		Imprudencia de peatones	Caidas de pasajeros	4	2			8
Vías principales (avenidas)	Congestión	Choque (tercero)	Disminución de carriles	4	3			12
		Exceso de demanda	No hay suficiente capacidad	3	3			9
		Inundaciones	Mal desempeño del servicio (tiempos)	5	5			25
	Reducción o cierre de vía	Sismos	Mal desempeño del servicio (tiempos)	5	1			5
		Choque (tercero)	Mal desempeño del servicio (tiempos)	4	3	Inspección visual		12
		Mantenimiento de vía	Mal desempeño del servicio (tiempos)	3	1			3
		Manifestaciones	Mal desempeño del servicio (tiempos)	5	1			5
		Atentado	Heridos, muertos	5	1			5
		Fiestas populares	Mal desempeño del servicio (tiempos)	5	1			5

Tabla 3.5 Análisis de modo de falla y efecto. Elaboración propia

3.2.5 Conclusiones de la evaluación de riesgos

El análisis de riesgos realizado dio como resultado la identificación de la vialidad como componente crítico del sistema de transporte ya que es permite la correcta afluencia de los vehículos que transportan a los pasajeros.

Además, por medio del análisis de modo de falla y efecto, se encontró que los efectos de mayor peso son debidos a las inundaciones y los choques. Por lo cual, la vulnerabilidad de la red, para este caso, tiene que ver directamente con el riesgo de inundación a lo largo de la vialidad y el impacto que puede producir la realización de este evento.

3.3. Selección de indicadores

Los modelos multimedia de tráfico de una red determinan la criticidad de ésta en su conjunto o en sus elementos de acuerdo con la calidad del servicio. De esta forma, los análisis o estudios de simulación permiten estrategias de asignación de recursos. La International Organization for Standardization (ISO) define a la calidad de servicio (Quality of Service QoS) como una medida para denotar que tan bien se proporcionan los servicios en una red.

Los parámetros de calidad de servicio de una red, describen los requerimientos de la red. Por lo que pueden ser especificados en términos de una red local, caracterizados por el tiempo entre llegadas de las conexiones de la red, así como el tiempo de servicio en los nodos (Dobrescu & Ionescu, 2017).

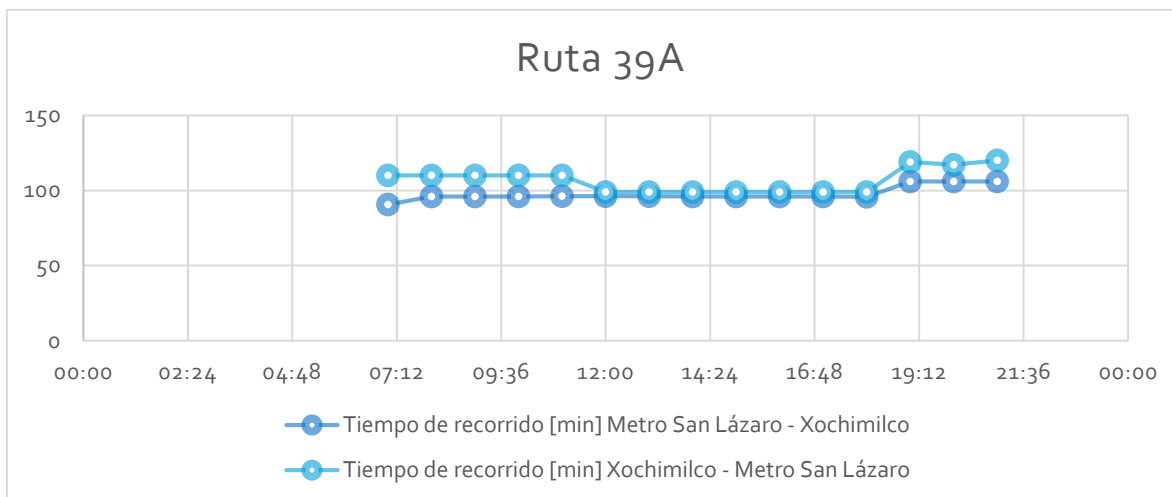
Para este estudio el principal indicador para medir la calidad del servicio es el tiempo entre paradas dadas para cada una de las rutas del caso de estudio.

3.1 Tiempos asociados a cada ruta

Los tiempos esperados de recorrido fueron obtenidos con los datos correspondientes a la estimación que realiza Google Maps respecto a cada una de las rutas en diferentes horarios a lo largo del día y durante una semana. Los cuáles fueron comparados con los tiempos obtenidos gracias a entrevistas realizadas a los usuarios de cada una de las rutas durante una semana y a lo largo del día. De la comparación entre los testimonios y la aplicación, se obtuvieron las siguientes tablas y gráficas.

Tabla 3.6. Tabla de tiempos de recorrido ruta 39A. Elaboración propia

Ruta 39A	Tiempo de recorrido [min]	
	Metro San Lázaro - Xochimilco	Xochimilco - Metro San Lázaro
07:00	91	110
08:00	96	110
09:00	96	110
10:00	96	110
11:00	96	110
12:00	96	99
13:00	96	99
14:00	96	99
15:00	96	99
16:00	96	99
17:00	96	99
18:00	96	99
19:00	106	119
20:00	106	117
21:00	106	120

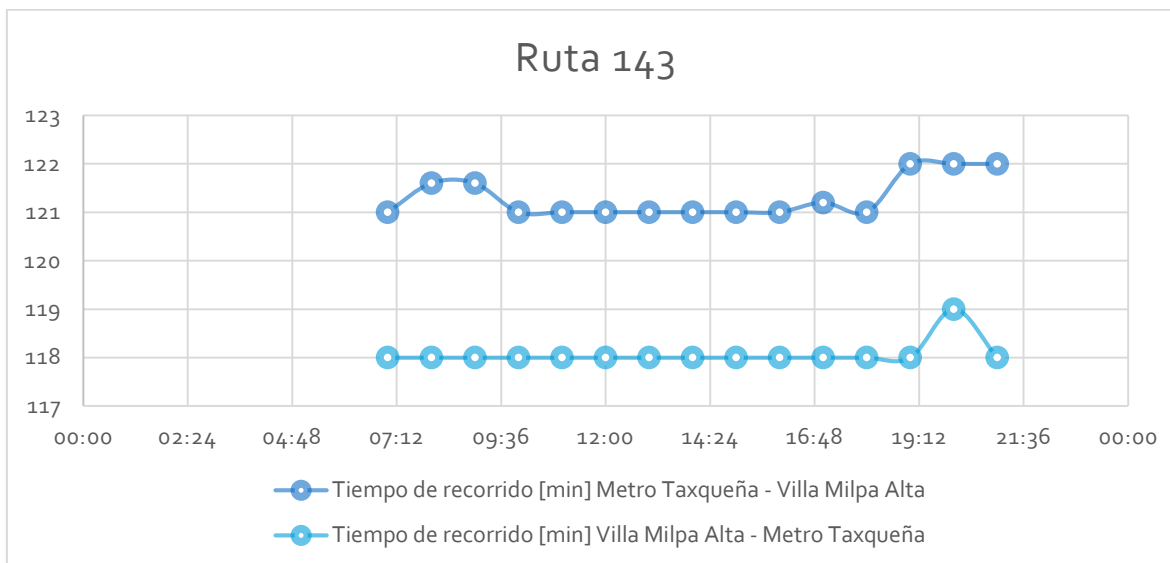


Gráfica 3.4. Tiempos de recorrido ruta 39A. Elaboración propia

De la ruta 39A se obtuvieron los tiempos promedio de viaje a lo largo de la una semana que se pueden apreciar en la tabla 3.6. Los cuales, nos dan un recorrido promedio de 98 y 106.6 minutos a lo largo de la ruta en cuestión. En la gráfica 3.4 se puede observar cómo se comporta el tiempo de recorrido con respecto al horario de uso de la ruta.

Tabla 3.7. Tabla de tiempos de recorrido ruta 143. Elaboración propia

Ruta 143	Tiempo de recorrido [min]	
	Metro Taxqueña - Villa Milpa Alta	Villa Milpa Alta - Metro Taxqueña
07:00	121	118
08:00	122	118
09:00	122	118
10:00	121	118
11:00	121	118
12:00	121	118
13:00	121	118
14:00	121	118
15:00	121	118
16:00	121	118
17:00	121	118
18:00	121	118
19:00	122	118
20:00	122	119
21:00	122	118

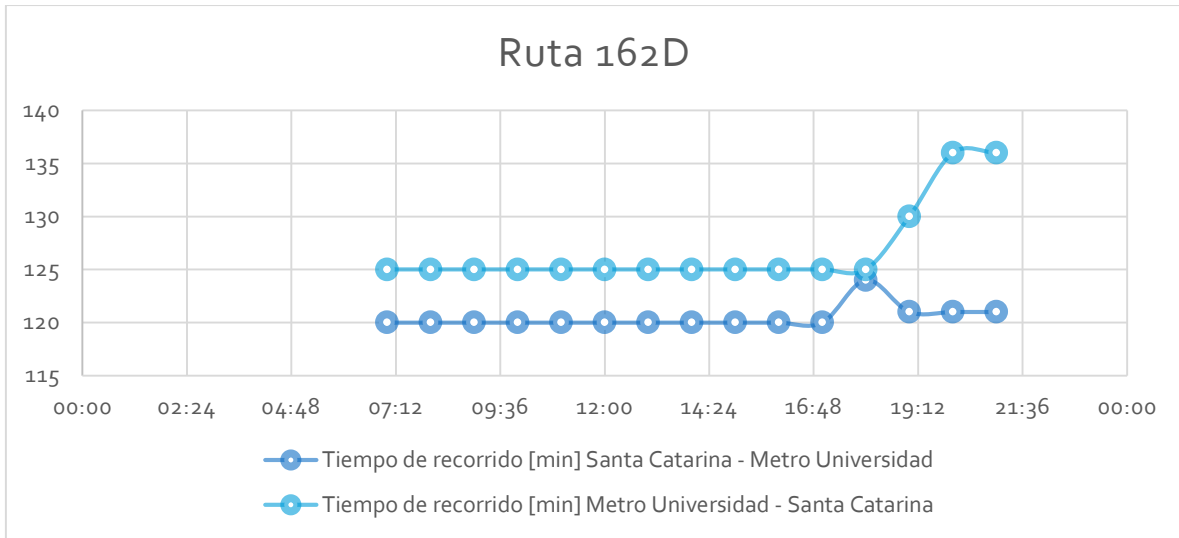


Gráfica 3.5. Tiempos de recorrido ruta 143. Elaboración propia

La tabla 3.7 que corresponde a la ruta 143 de la red, muestra los tiempos promedio de viaje a lo largo de una semana de viaje para cada una de las direcciones del recorrido. Mientras que en la gráfica 3.5 se puede observar los tiempos de recorrido por horario.

Tabla 3.8 Tabla de tiempos de recorrido ruta 162D. Elaboración propia

Ruta 162D	Tiempo de recorrido [min]	
	Santa Catarina - Metro Universidad	Metro Universidad - Santa Catarina
07:00	120	125
08:00	120	125
09:00	120	125
10:00	120	125
11:00	120	125
12:00	120	125
13:00	120	125
14:00	120	125
15:00	120	125
16:00	120	125
17:00	120	125
18:00	124	125
19:00	121	130
20:00	121	136
21:00	121	136



Gráfica 3.5. Tiempos de recorrido ruta 162D. Elaboración propia

Finalmente, de los tiempos promedios de recorrido a lo largo de una semana de la ruta 162D se pueden observar en la tabla 3.8. Mientras que en la gráfica 3.6 se puede observar cómo se comportan los tiempos de recorrido respecto a los horarios de servicio de la ruta.

3.4. Topología de la red

3.4.1 Red y grado de nodos

El caso de estudio la red se compone de tres rutas de la RTP que pasan por distintas zonas de la Ciudad de México, cuyas longitudes y número de paradas es diferente para cada una de ellas. La tabla 3.9 contiene las características que presentan las rutas.

Tabla 3.9 Número de nodos por ruta. Elaboración propia

Ruta	Número de nodos
143	71
162D	84
39A	61

La red total que conforman las tres rutas se conforma por 218 nodos, que corresponden a las paradas autorizadas y que se realizan por los usuarios. Por lo cual, se planteó una matriz nodo-nodo o matriz de adyacencia primeramente de una sola dirección que se formuló en Excel para manipularse por medio de un código programado en Python.

Para obtener ambas direcciones en la matriz de adyacencia se obtuvo la matriz simétrica de la siguiente forma:

$$A = [\textit{matriz unidireccional}]_{218 \times 218}$$

$$B = [A^T]_{218 \times 218}$$

$$A + B = [\textit{matriz bidireccional}]_{218 \times 218}$$

En cuyo caso se puede observar parte del código en la figura 3.3.


```
In [8]: #esta matriz es bidereccional de la red
ADY=A+B
print(ADY)
```

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	208	209	210	\
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
4	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	...	0	0	0	
..	
213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	
217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	

	211	212	213	214	215	216	217
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
..
213	0	1	0	1	0	0	0
214	0	0	1	0	1	0	0
215	0	0	0	1	0	1	0
216	0	0	0	0	1	0	1
217	0	0	0	0	0	1	0

[218 rows x 218 columns]

Figura 3.3. Matriz de adyacencia. Elaboración propia

Para obtener el grado de cada uno de los nodos de la red basta con multiplicar la matriz B por sí misma y obtener la diagonal principal, o bien se puede hacer uso de la paquetería *networkx* de Python. De tal manera que se obtuvo el grado de cada nodo como se ve en la figura 4.4. Por ejemplo, para el nodo 53 se tiene que es de grado 6, lo que indica el número de conexiones que éste presenta.

```
In [18]: #Otra versión del grado del nodo
GRAD=nx.degree(Grafo)
print(GRAD)
```

```
[(0, 1), (1, 2), (2, 2), (3, 2), (4, 2), (5, 2), (6, 2), (7, 2), (8, 2), (9,
2), (10, 2), (11, 2), (12, 2), (13, 2), (14, 2), (15, 2), (16, 2), (17, 2),
(18, 2), (19, 2), (20, 2), (21, 2), (22, 2), (23, 2), (24, 2), (25, 2), (26,
2), (27, 2), (28, 2), (29, 2), (30, 2), (31, 2), (32, 2), (33, 2), (34, 2),
(35, 2), (36, 2), (37, 2), (38, 2), (39, 2), (40, 2), (41, 2), (42, 2), (43,
2), (44, 2), (45, 2), (46, 2), (47, 2), (48, 2), (49, 2), (50, 2), (51, 2),
(52, 2), (53, 6), (54, 2), (55, 2), (56, 2), (57, 2), (58, 2), (59, 2), (60,
2), (61, 3), (62, 2), (63, 2), (64, 2), (65, 2), (66, 2), (67, 2), (68, 2),
(69, 2), (70, 2), (71, 2), (72, 2), (73, 2), (74, 2), (75, 2), (76, 2), (77,
2), (78, 2), (79, 2), (80, 2), (81, 2), (82, 2), (83, 2), (84, 1), (85, 1),
(86, 2), (87, 2), (88, 2), (89, 2), (90, 2), (91, 2), (92, 2), (93, 2), (94,
2), (95, 2), (96, 2), (97, 2), (98, 2), (99, 2), (100, 2), (101, 2), (102,
2), (103, 2), (104, 2), (105, 2), (106, 2), (107, 2), (108, 2), (109, 2), (11
0, 2), (111, 2), (112, 2), (113, 2), (114, 2), (115, 2), (116, 2), (117, 2),
(118, 2), (119, 2), (120, 2), (121, 2), (122, 2), (123, 2), (124, 2), (125,
2), (126, 2), (127, 2), (128, 2), (129, 3), (130, 3), (131, 3), (132, 3), (13
3, 4), (134, 4), (135, 2), (136, 4), (137, 3), (138, 2), (139, 4), (140, 2),
(141, 2), (142, 2), (143, 2), (144, 2), (145, 2), (146, 2), (147, 2), (148,
2), (149, 2), (150, 2), (151, 2), (152, 2), (153, 2), (154, 2), (155, 2), (15
6, 2), (157, 1), (158, 1), (159, 2), (160, 2), (161, 2), (162, 2), (163, 2),
(164, 2), (165, 2), (166, 2), (167, 2), (168, 2), (169, 2), (170, 2), (171,
2), (172, 2), (173, 2), (174, 2), (175, 2), (176, 2), (177, 2), (178, 2), (17
9, 2), (180, 2), (181, 2), (182, 2), (183, 2), (184, 2), (185, 2), (186, 2),
(187, 2), (188, 2), (189, 2), (190, 2), (191, 2), (192, 2), (193, 2), (194,
2), (195, 2), (196, 2), (197, 2), (198, 2), (199, 2), (200, 2), (201, 2), (20
2, 2), (203, 2), (204, 2), (205, 2), (206, 4), (207, 2), (208, 3), (209, 4),
(210, 3), (211, 3), (212, 3), (213, 3), (214, 3), (215, 2), (216, 2), (217,
1)]
```

Figura 3.4. Grado de cada nodo. Elaboración propia

Por medio de la matriz de adyacencia se pudo obtener el grafo representativo de la red de transporte para poder manipularse y obtener diferentes métricas características.

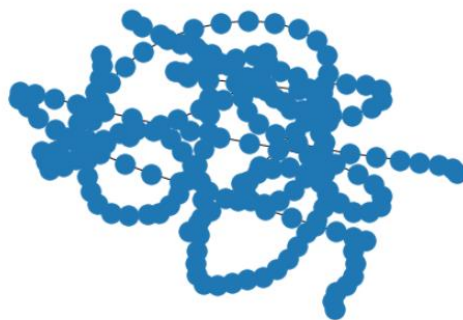


Figura 3.5. Grafo obtenido. Elaboración propia

3.4.2 Métricas de la red

El análisis de una red se conforma por la obtención e interpretación de las métricas que se obtienen al aplicarse a un grafo. A continuación, se presentan las métricas aplicadas al grafo resultante de la matriz de adyacencia de la red. Cabe mencionar, que cada una de estas métricas fueron calculadas con ayuda de un programa en Python. Algunos de los resultados obtenidos por su extensión se pueden revisar en el Apéndice 2.

Métricas de distancia

- I. Centro: Es el conjunto de nodos con excentricidad igual al radio

Resultado: nodos 52 y 53

- II. Diámetro: Se refiere a la excentricidad máxima. Mientras más pequeño sea el diámetro más conectada está el grafo.

Resultado: 105

- III. Excentricidad: Es la máxima distancia que existe entre un nodo i a todos los otros nodos del grafo. Resultados tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resultados de excentricidad por nodo. Elaboración propia

Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad
0	105	44	61	88	102	132	58	176	84
1	104	45	60	89	101	133	57	177	83
2	103	46	59	90	100	134	56	178	82
3	102	47	58	91	99	135	55	179	81
4	101	48	57	92	98	136	54	180	80
5	100	49	56	93	97	137	54	181	79
6	99	50	55	94	96	138	55	182	78
7	98	51	54	95	95	139	54	183	77
8	97	52	53	96	94	140	55	184	76
9	96	53	53	97	93	141	56	185	75
10	95	54	54	98	92	142	57	186	74

Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad	Nodo	Excentricidad
11	94	55	55	99	91	143	58	187	73
12	93	56	56	100	90	144	59	188	72
13	92	57	57	101	89	145	60	189	71
14	91	58	58	102	88	146	61	190	70
15	90	59	57	103	87	147	62	191	69
16	89	60	56	104	86	148	63	192	68
17	88	61	55	105	85	149	64	193	67
18	87	62	56	106	84	150	65	194	66
19	86	63	57	107	83	151	66	195	65
20	85	64	58	108	82	152	67	196	64
21	84	65	59	109	81	153	68	197	63
22	83	66	60	110	80	154	69	198	62
23	82	67	61	111	79	155	70	199	61
24	81	68	62	112	78	156	71	200	60
25	80	69	63	113	77	157	72	201	59
26	79	70	64	114	76	158	102	202	58
27	78	71	65	115	75	159	101	203	57
28	77	72	66	116	74	160	100	204	56
29	76	73	67	117	73	161	99	205	55
30	75	74	68	118	72	162	98	206	54
31	74	75	69	119	71	163	97	207	55
32	73	76	70	120	70	164	96	208	56
33	72	77	71	121	69	165	95	209	57
34	71	78	72	122	68	166	94	210	58
35	70	79	73	123	67	167	93	211	59
36	69	80	74	124	66	168	92	212	60
37	68	81	75	125	65	169	91	213	61
38	67	82	76	126	64	170	90	214	62
39	66	83	77	127	63	171	89	215	63
40	65	84	78	128	62	172	88	216	64
41	64	85	105	129	61	173	87	217	65
42	63	86	104	130	60	174	86		
43	62	87	103	131	59	175	85		

IV. Perímetro: Conjunto de nodos con excentricidad igual a la del radio.

Resultado: 105

V. Radio: Es la mínima excentricidad

Resultado: 53

Métricas de centralidad⁵

- I. Centralidad para nodos: Se refiere a la centralidad de un nodo k como fracción de nodos a los que está conectado.
- II. Centralidad de intermediación de la ruta más corta para los nodos (c_B): Esta métrica se refiere a que un nodo u es la suma de la fracción de los caminos más cortos de todos los pares que pasan a través de u , y se obtiene como:

$$c_B(v) = \sum_{s,t \in V} \frac{\sigma(s, t|v)}{\sigma(s, t)}$$

Donde V es el conjunto de nodos, $\sigma(s, t)$ es el número de (s, t) rutas más cortas y $\sigma(s, t|v)$ es el número de esas rutas que pasan a través del nodo u . Esta métrica nos dice la importancia que tiene un nodo dentro de la red. Los nodos de mayor valor juegan un papel importante a la hora de conectar a otros.

- III. Centralidad de proximidad para nodos (C_p): Es el recíproco del nodo v de la suma de las distancias de las rutas más cortas desde u a todos los demás nodos $n - 1$.

$$C_p(u) = \frac{n - 1}{\sum_{v=1}^{n-1} d(u, v)}$$

Donde $d(u, v)$ es la distancia de la ruta más corta entre u y v , y n es el número de nodos en el grado. Este grado de cercanía entre nodos puede ser considerado

⁵ Ver tablas de resultados en el Apéndice 2.

como una forma de medir cuánto toma para que la información se propague de un determinado nodo de la red a los otros nodos de la red.

Métricas de aproximación y agrupamiento

- I. Coeficiente de agrupamiento (c_u): es una forma de calcular la tendencia a formar triángulos dentro de una red, lo que también se conoce transitivity. De esta forma, los nodos con un grado bajo tienden a pertenecer a comunidades locales bien conectadas, mientras que los nodos de mayor grado conectan muchos más nodos que no están directamente interconectados. Para grafos no ponderados, la agrupación de un nodo u es la fracción de posibles triángulos que existen para ese nodo como:

$$c_u = \frac{2T(u)}{g(u)(g(u) - 1)}$$

Donde $T(u)$ es el número de triángulos a través del nodo u de grado $g(u)$.

- II. Coeficiente de agrupamiento promedio: Se refiere al promedio de c_u .

3.5 Evento: Inundaciones

3.5.1 Características de una inundación

Las inundaciones de tipo pluvial, es decir, a consecuencia de la precipitación se deben a una alta saturación del terreno. Cuando esto pasa, la acumulación del fluido puede permanecer desde horas hasta días dependiendo de la recuperación del suelo a la filtración o la recuperación de la capacidad de las obras hidráulicas (CENAPRED, 2009).

En México, las precipitaciones ocurren de mayo a noviembre que es la época de ciclones tropicales, aunque también puede presentarse en los meses de diciembre

a febrero causadas por los frentes fríos. Por lo cual, el tiempo en el cual existe riesgo de inundación es de más de medio año.

Ahora bien, por el tiempo de respuesta hidrológica de la cuenca el CENAPRED define dos tipos de inundación:

- Inundaciones súbitas: Son el resultado de lluvias repetidas e intensas que se dan en áreas específicas.
- Inundaciones lentas: Ocurren cuando un terreno relativamente plano no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia y ésta tiende a escurrir o acumularse sobre el terreno.

De acuerdo con eso, el tiempo de acumulación de agua suele variar con la respuesta del suelo o de las obras hídricas. Tal duración puede ser perjudicial para la salud y las actividades de las personas, ya que puede tener consecuencias sanitarias y económicas.

3.5.2 Riesgo de inundación en la red estudiada

Las inundaciones son consideradas un riesgo cuando este evento de la naturaleza tiene una interacción directa con las actividades humanas y tienen una afectación negativa. El riesgo depende muchas veces de los niveles de aceptación establecidos, ya que, de acuerdo con los niveles de precipitación y otros factores, los niveles propuestos pueden ir desde muy bajo riesgo hasta muy alto riesgo.

El riesgo de inundación está presente a nivel mundial y afecta de distintas formas a las poblaciones, a causa de que las cantidades de precipitación durante un lapso corto de tiempo pueden variar de acuerdo con la región. "Desde un punto de vista del medio natural, se tendrá en cuenta la pendiente, la permeabilidad del terreno y la presencia de vegetación..." así como de los usos del suelo (Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible, 2020).

En México, las inundaciones son un fenómeno que causa muchas pérdidas económicas.

“Cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) muestran que cerca de 41% del territorio nacional y 31 millones de personas están expuestas a fenómenos hidrometeorológicos” (Hernández Uribe, Barrios Piña, & I. Ramírez, 2017).

Por lo tanto, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), es la encargada de la elaboración de mapas de peligro por inundación, que constituyen la base para la evaluación, en primera instancia de los costos de daños causados por las inundaciones. De acuerdo con eso, los mapas obedecen a información topográfica, estudios hidrológicos e hidráulicos y los análisis de severidad (CONAGUA, 2014).

Los mapas generados por la CONAGUA son parte del Atlas Nacional de Riesgo por Inundación y pueden ser encontrados en el sitio oficial del atlas. En estos mapas, la severidad de las inundaciones es establecida con un índice de colores para definir la resistencia de volcadura que posee un muro de una vivienda ante un flujo. De esta manera el IMTA desarrolló el Atlas Nacional de Riesgos para obtener estimaciones de daños en zonas habitacionales causados por el evento de inundación definidas por región.

La información de la Ciudad de México en cuanto al riesgos de inundación, puede ser visualizada en un mapa con los niveles de riesgo siguientes: Muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Por lo cual, cada una de las rutas de estudio se pueden visualizar en zonas con diferentes niveles de riesgo.

Los mapas siguientes (1.2.1-3) muestran cada nivel de riesgo con un color diferente de acuerdo con la tabla 3.11, para cada zona de la ciudad.

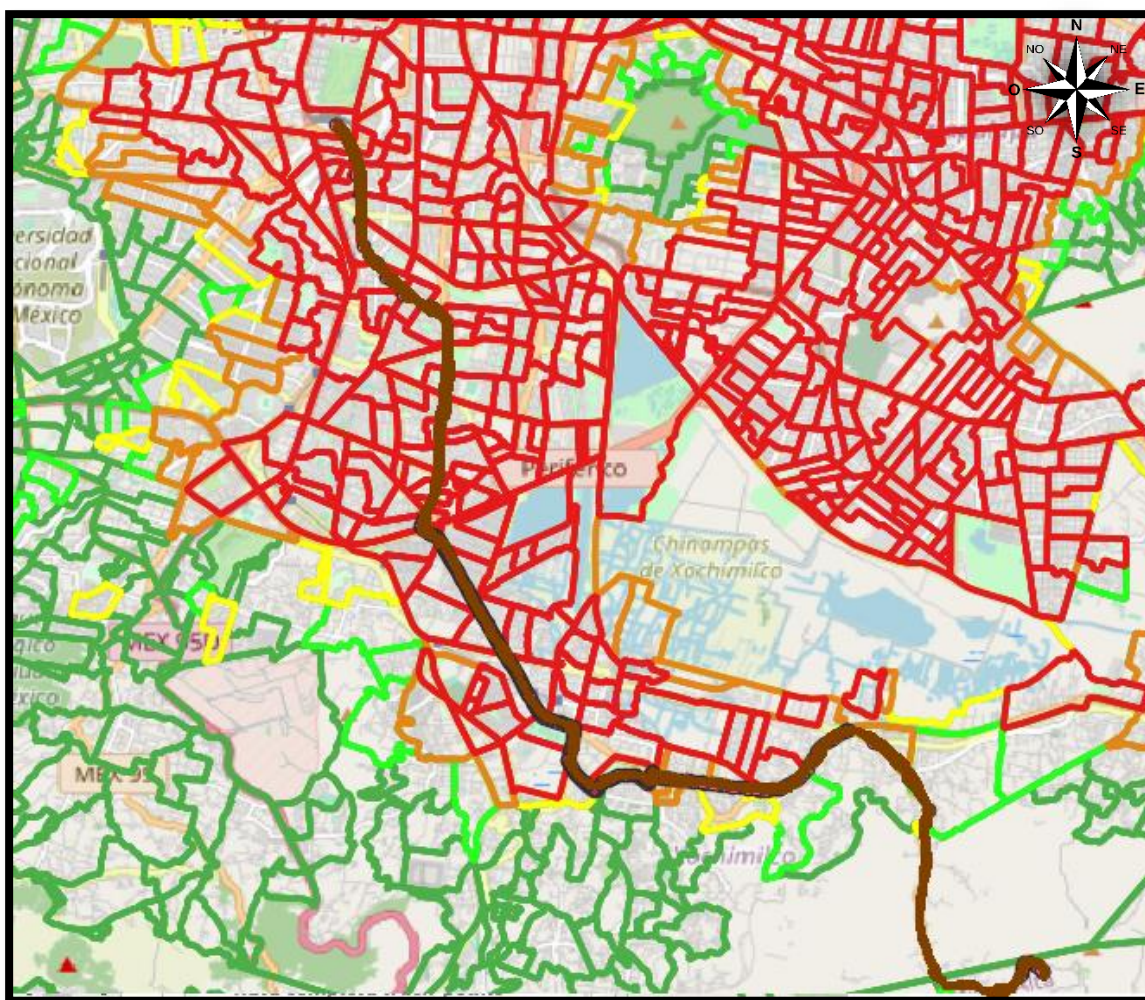
Tabla 3.11. Niveles de riesgo de inundación por colores. Elaboración propia

Nivel de riesgo	Color
Muy alto	Rojo
Alto	Naranja
Medio	Amarillo
Bajo	Verde claro
Muy bajo	Verde fuerte

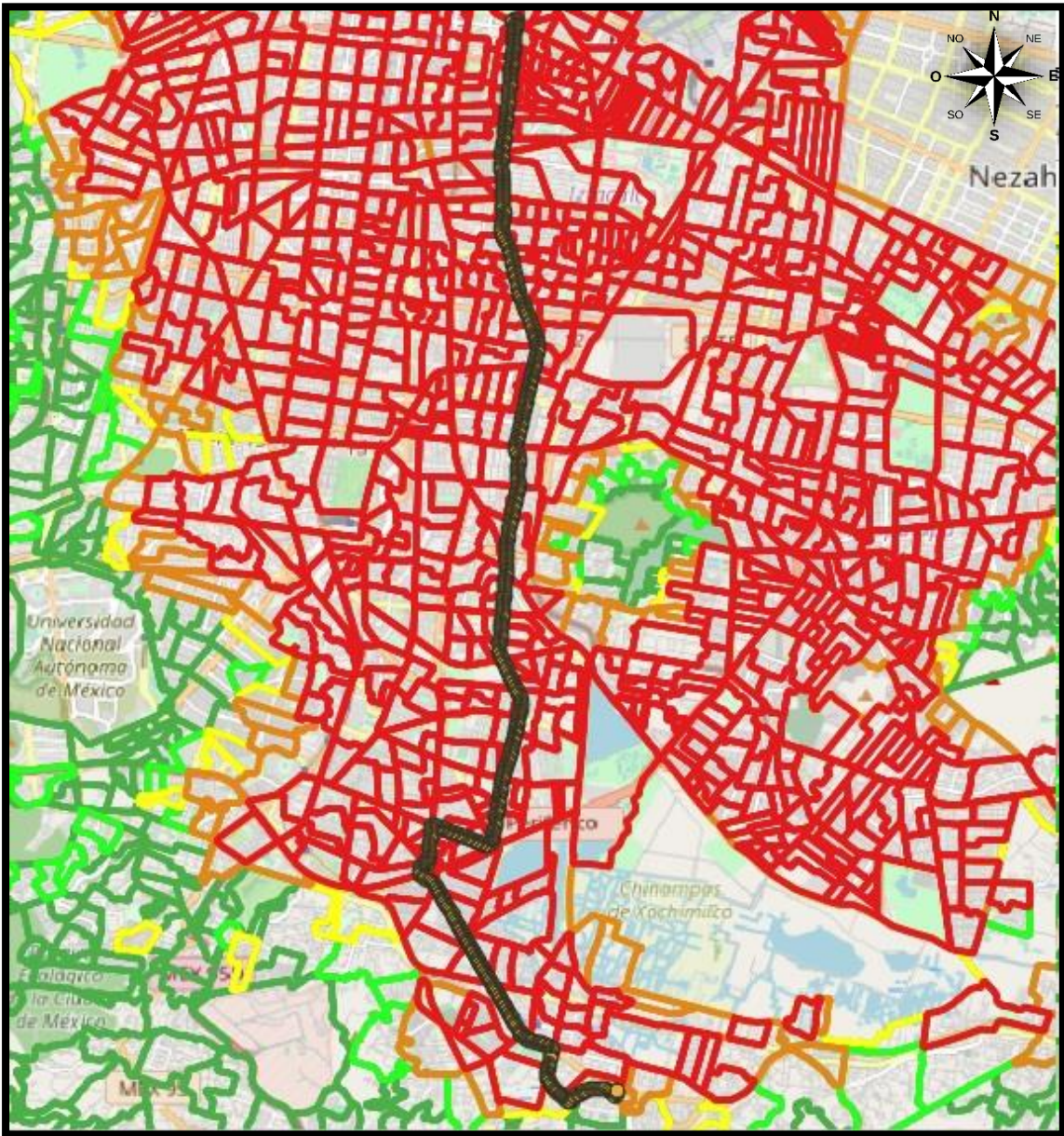
El mapa 3.1 muestra el recorrido que sigue la ruta 143 que va de Taxqueña a Villa Milpa Alta. Como se puede observar la ruta pasa a través de zonas de alto riesgo de inundación, por el mayor número de nodos presentes se concentran en un nivel muy alto de riesgo. Siendo así, que los nodos resultantes pasan a través de zonas de Muy bajo riesgo.

El recorrido de la ruta 39-A de Metro San Lázaro a Bosque de Nativitas lo podemos observar en el mapa 3.2. Dicha ruta, concentra la mayor parte de sus nodos en zonas de Muy alto riesgo de inundación.

Para la ruta 162 Metro Universidad – Santa Catarina, el recorrido se puede visualizar en el mapa 3.3. Los nodos presentes en esta ruta de todos los niveles de riesgo, aunque la mayor parte se concentran en la zona de Muy alto riesgo.



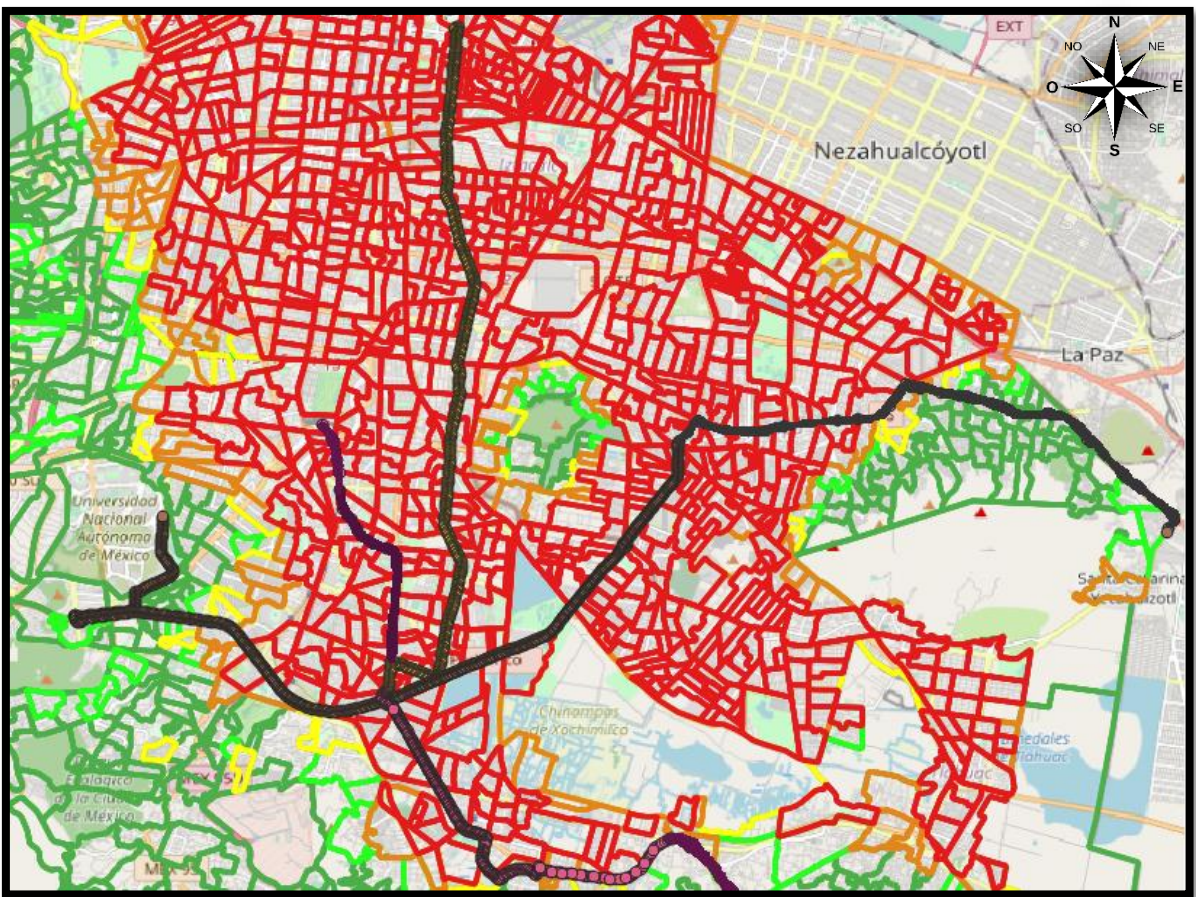
Mapa 3.1 Ruta 143 Taxqueña - Villa Milpa Alta. Elaboración propia



Mapa 3.2 Ruta 39-A de Metro San Lázaro - Bosque de Nativitas. Elaboración propia



Mapa 3.3 Ruta 162-D Metro Universidad – Santa Catarina. Elaboración propia



Mapa 3.4 Red correspondiente a las tres rutas. Elaboración propia

Con base en la información de las zonas en las que se presentan los nodos de la red mapa 3.4, se le asignó una ponderación a cada nivel de riesgo Tabla 3.12., y este a su vez, a cada uno de los nodos de las tres rutas tablas 3.13- 15.

Tabla 3.12 Ponderación de los niveles de riesgo. Elaboración propia

Nivel de riesgo	Color	Ponderación
Muy alto	Rojo	5
Alto	Naranja	4
Medio	Amarillo	3
Bajo	Verde claro	2
Muy bajo	Verde fuerte	1

Tabla 3.13 Niveles de riesgo por nodo: Ruta 162-D Metro Universidad – Santa Catarina.
Elaboración propia

Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo
0	2	17	5	34	5	51	5	68	4
1	2	18	5	35	5	52	5	69	4
2	1	19	5	36	5	53	5	70	4
3	1	20	5	37	5	54	5	71	2
4	1	21	5	38	5	55	5	72	2
5	2	22	5	39	5	56	5	73	1
6	3	23	5	40	5	57	5	74	1
7	4	24	5	41	5	58	5	75	1
8	5	25	5	42	5	59	5	76	1
9	5	26	5	43	5	60	5	77	1
10	5	27	5	44	5	61	5	78	1
11	5	28	5	45	5	62	5	79	1
12	5	29	5	46	5	63	5	80	1
13	5	30	5	47	5	64	5	81	1
14	5	31	5	48	5	65	5	82	1
15	5	32	5	49	5	66	5	83	1
16	5	33	5	50	5	67	5	84	1

Tabla 3.14 Niveles de riesgo por nodo: Ruta 143 Metro Taxqueña – Villa Milpa Alta. Elaboración propia

Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo
85	2	100	2	115	3	130	5	145	5
86	2	101	2	116	3	131	5	146	5
87	2	102	2	117	4	132	5	147	5
88	2	103	2	118	4	133	5	148	5
89	2	104	2	119	4	134	5	149	5
90	2	105	2	120	4	135	5	150	5
91	2	106	2	121	4	136	5	151	5
92	2	107	2	122	5	137	5	152	5
93	2	108	5	123	5	138	5	153	5
94	2	109	5	124	5	139	5	154	5
95	2	110	3	125	5	140	5	155	5
96	2	111	3	126	5	141	5	156	5
97	2	112	3	127	5	142	5	157	5
98	2	113	3	128	5	143	5		
99	2	114	3	129	5	144	5		

Tabla 3.15 Niveles de riesgo por nodo: Ruta 39-A Metro San Lázaro – Bosque de Nativitas. Elaboración propia

Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo	Nodos	Ponderación Riesgo
158	5	170	5	182	5	194	5	206	5
159	5	171	5	183	5	195	5	207	5
160	5	172	5	184	5	196	5	208	5
161	5	173	5	185	5	197	5	209	5
162	5	174	5	186	5	198	5	210	5
163	5	175	5	187	5	199	5	211	5
164	5	176	5	188	5	200	5	212	5
165	5	177	5	189	5	201	5	213	5
166	5	178	5	190	5	202	5	214	5
167	5	179	5	191	5	203	5	215	5
168	5	180	5	192	5	204	5	216	4
169	5	181	5	193	5	205	5	217	4

3.6 Vulnerabilidad de la red

3.6.1 Diseño conceptual para la vulnerabilidad

De acuerdo con la teoría de la sección 1.3 del capítulo 1, los métodos de análisis de vulnerabilidad y robustez de una red de transporte público pueden diferir con respecto al enfoque de análisis elegido. Por lo cual, el enfoque a desarrollarse es el enfoque específico con el planteamiento de un escenario de interrupción que en este caso son el riesgo de inundación.

Ahora bien, la vulnerabilidad se define como el grado de susceptibilidad a eventos que reducen el nivel de servicio o acceso. En una red la vulnerabilidad de un nodo se refiere a que si la pérdida de un número de enlaces disminuye su accesibilidad. Donde el nivel de criticidad de un elemento va a depender de la importancia que tenga en la estructura de la red (Rodríguez-Ñuñez & García Palomares, 2014).

En este estudio, el escenario disruptivo es el de una inundación. En la Ciudad de México se tiene una escala de riesgo de inundación para los meses de mayor precipitación que Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. La ponderación asignada se muestra en la sección 3.5.2 con un intervalo de 5 a 1 respectivamente.

Ahora bien, este riesgo de inundación en cada nodo puede verse con la misma magnitud en algunos nodos. Sin embargo, la importancia que tiene cada nodo en la red es diferente ya que de acuerdo con el grado del nodo obtenido en la sección 3.4.2 este es diferente para muchos nodos.

Por lo cual, se planteó un nivel de impacto N del riesgo de inundación en el nodo i como:

$$N_i = R_i G_i$$

Donde $R_i G_i$ es el producto del riesgo de inundación ponderado R_i y del grado del nodo G_i en el nodo i . De esta manera, el daño del nodo implica la comunicación con el número de nodos que conecta.

Para obtener la vulnerabilidad V de cada uno de los nodos se generó un total de 5 clases con el mismo tamaño numérico englobara los resultados del nivel de impacto y poder expresar los resultados en rangos de vulnerabilidad Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo.

$$V = N_i \quad : \quad N_i \in (1,5)$$

3.6.1 Obtención de la vulnerabilidad de la red

Para poder conocer las condiciones de cada uno de los nodos se estimó el nivel de impacto N_i para cada nodo obteniendo los valores de la tabla 3.16.

Tabla 3.16 Niveles de impacto por nodo. Elaboración propia

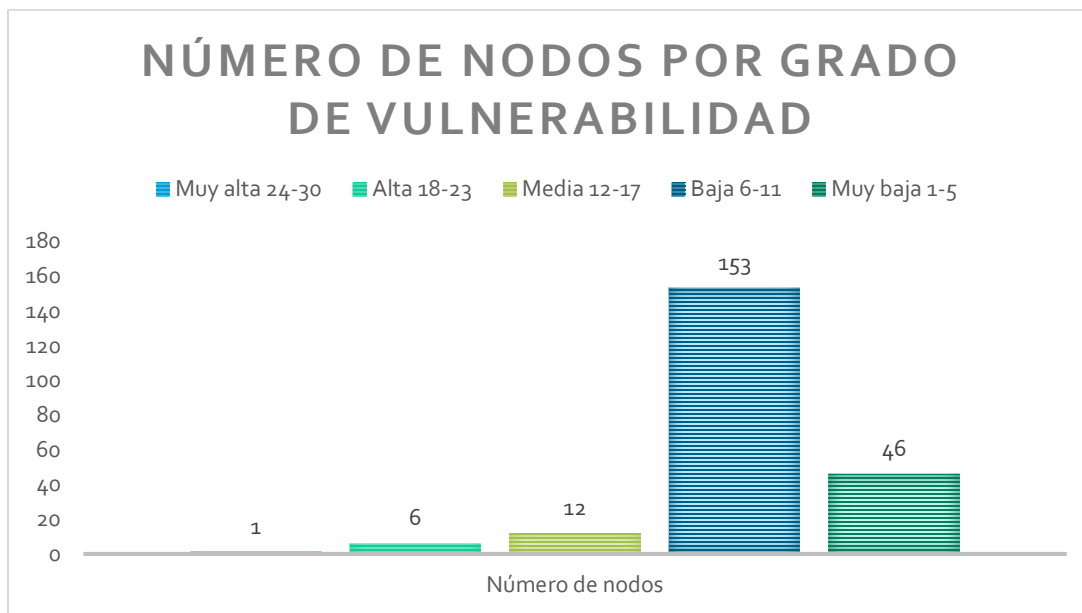
Nodo	N_i	Nodo	N_i	Nodo	N_i	Nodo	N_i	Nodo	N_i
0	2	44	10	88	4	132	15	176	10
1	4	45	10	89	4	133	20	177	10
2	2	46	10	90	4	134	20	178	10
3	2	47	10	91	4	135	10	179	10
4	2	48	10	92	4	136	20	180	10
5	4	49	10	93	4	137	15	181	10
6	6	50	10	94	4	138	10	182	10
7	8	51	10	95	4	139	20	183	10
8	10	52	10	96	4	140	10	184	10
9	10	53	30	97	4	141	10	185	10
10	10	54	10	98	4	142	10	186	10
11	10	55	10	99	4	143	10	187	10
12	10	56	10	100	4	144	10	188	10
13	10	57	10	101	4	145	10	189	10
14	10	58	10	102	4	146	10	190	10
15	10	59	10	103	4	147	10	191	10
16	10	60	10	104	4	148	10	192	10
17	10	61	15	105	4	149	10	193	10
18	10	62	10	106	4	150	10	194	10
19	10	63	10	107	4	151	10	195	10
20	10	64	10	108	10	152	10	196	10
21	10	65	10	109	10	153	10	197	10

Nodo	N_i	Nodo	N_i	Nodo	N_i	Nodo	N_i	Nodo	N_i
22	10	66	10	110	6	154	10	198	10
23	10	67	10	111	6	155	10	199	10
24	10	68	8	112	6	156	10	200	10
25	10	69	8	113	6	157	5	201	10
26	10	70	8	114	6	158	5	202	10
27	10	71	4	115	6	159	10	203	10
28	10	72	4	116	6	160	10	204	10
29	10	73	2	117	8	161	10	205	10
30	10	74	2	118	8	162	10	206	20
31	10	75	2	119	8	163	10	207	10
32	10	76	2	120	8	164	10	208	15
33	10	77	2	121	8	165	10	209	20
34	10	78	2	122	10	166	10	210	15
35	10	79	2	123	10	167	10	211	15
36	10	80	2	124	10	168	10	212	15
37	10	81	2	125	10	169	10	213	15
38	10	82	2	126	10	170	10	214	15
39	10	83	2	127	10	171	10	215	10
40	10	84	1	128	10	172	10	216	8
41	10	85	2	129	15	173	10	217	4
42	10	86	4	130	15	174	10		
43	10	87	4	131	15	175	10		

Con base en los resultados obtenidos se llegó a la construcción de la tabla 3.17 en la que se resumen el total de nodos dentro de cada uno de los rangos. De manera visual podemos ver en la gráfica 3.6 la mayoría de los nodos con un total de 153 nodos de la red tienen una vulnerabilidad baja.

Tabla 3.17 Vulnerabilidad por nodo. Elaboración propia

Vulnerabilidad	Escala	Número de nodos
Muy alta	24-30	1
Alta	18-23	6
Media	12-17	12
Baja	6-11	153
Muy baja	1-5	46



Grafica 3.6. Número de nodos por grado de vulnerabilidad. Elaboración propia

En la tabla 3.18 podemos ver la vulnerabilidad obtenida por nodo.

Tabla 3.18 Vulnerabilidad por nodo. Elaboración propia

Nodo	V	Nodo	V	Nodo	V	Nodo	V	Nodo	V
0	Muy baja	44	Baja	88	Muy baja	132	Media	176	Baja
1	Muy baja	45	Baja	89	Muy baja	133	Alta	177	Baja
2	Muy baja	46	Baja	90	Muy baja	134	Alta	178	Baja
3	Muy baja	47	Baja	91	Muy baja	135	Baja	179	Baja
4	Muy baja	48	Baja	92	Muy baja	136	Alta	180	Baja
5	Muy baja	49	Baja	93	Muy baja	137	Media	181	Baja
6	Baja	50	Baja	94	Muy baja	138	Baja	182	Baja
7	Baja	51	Baja	95	Muy baja	139	Alta	183	Baja
8	Baja	52	Baja	96	Muy baja	140	Baja	184	Baja
9	Baja	53	Muy Alta	97	Muy baja	141	Baja	185	Baja
10	Baja	54	Baja	98	Muy baja	142	Baja	186	Baja
11	Baja	55	Baja	99	Muy baja	143	Baja	187	Baja
12	Baja	56	Baja	100	Muy baja	144	Baja	188	Baja
13	Baja	57	Baja	101	Muy baja	145	Baja	189	Baja

Nodo	V	Nodo	V	Nodo	V	Nodo	V	Nodo	V
14	Baja	58	Baja	102	Muy baja	146	Baja	190	Baja
15	Baja	59	Baja	103	Muy baja	147	Baja	191	Baja
16	Baja	60	Baja	104	Muy baja	148	Baja	192	Baja
17	Baja	61	Media	105	Muy baja	149	Baja	193	Baja
18	Baja	62	Baja	106	Muy baja	150	Baja	194	Baja
19	Baja	63	Baja	107	Muy baja	151	Baja	195	Baja
20	Baja	64	Baja	108	Baja	152	Baja	196	Baja
21	Baja	65	Baja	109	Baja	153	Baja	197	Baja
22	Baja	66	Baja	110	Baja	154	Baja	198	Baja
23	Baja	67	Baja	111	Baja	155	Baja	199	Baja
24	Baja	68	Baja	112	Baja	156	Baja	200	Baja
25	Baja	69	Baja	113	Baja	157	Muy baja	201	Baja
26	Baja	70	Baja	114	Baja	158	Muy baja	202	Baja
27	Baja	71	Muy baja	115	Baja	159	Baja	203	Baja
28	Baja	72	Muy baja	116	Baja	160	Baja	204	Baja
29	Baja	73	Muy baja	117	Baja	161	Baja	205	Baja
30	Baja	74	Muy baja	118	Baja	162	Baja	206	Baja
31	Baja	75	Muy baja	119	Baja	163	Baja	207	Baja
32	Baja	76	Muy baja	120	Baja	164	Baja	208	Alta
33	Baja	77	Muy baja	121	Baja	165	Baja	209	Baja
34	Baja	78	Muy baja	122	Baja	166	Baja	210	Media
35	Baja	79	Muy baja	123	Baja	167	Baja	211	Alta
36	Baja	80	Muy baja	124	Baja	168	Baja	212	Media
37	Baja	81	Muy baja	125	Baja	169	Baja	213	Media
38	Baja	82	Muy baja	126	Baja	170	Baja	214	Media
39	Baja	83	Muy baja	127	Baja	171	Baja	215	Media
40	Baja	84	Muy baja	128	Baja	172	Baja	216	Media
41	Baja	85	Muy baja	129	Media	173	Baja	217	Baja
42	Baja	86	Muy baja	130	Media	174	Media		
43	Baja	87	Muy baja	131	Media	175	Alta		

A continuación, se obtuvieron las medidas de tendencia central para obtener la vulnerabilidad general de la red obteniendo los resultados de la tabla 3.19. Como cada uno de los datos en el intervalo de 6-11 se determinó que la red en conjunto tiene un nivel de vulnerabilidad baja ante el riesgo de inundación.

Tabla 3.19 Medidas de tendencia central

Promedio	9
Mediana	10
Media geométrica	7.93
Media acotada	10

De esta manera, la vulnerabilidad tiene posee la red se identifica como baja ya que las conexiones a los extremos de la red no comprometen el desempeño del resto. Sin embargo, no hay que perder de vista que existe vulnerabilidad alta o muy alta en los nodos centrales que pueden afectar en gran medida el desempeño de la red.

Ahora bien, ante una inundación se puede generar un tiempo de retraso en ir de un punto a otro. De acuerdo con una nota publicada el 16 de junio de 2015 en la revista Forbes, en México datos del INEGI arrojaron que el 7% de los accidentes en carreteras federales tiene origen en agentes naturales, de los cuales el 90% son causados por lluvia. Por lo cual, una de las recomendaciones expresadas es reducir la velocidad de viaje y hacer desaceleraciones suaves y progresivas. Por eso, se plantea que una inundación no solo puede causar una disminución de la velocidad del vehículo, sino que puede llegar al alto total de la unidad.

El tiempo de traslado en caso de inundación puede verse afectado en diferente grado de acuerdo con la duración de la inundación. Ante esto, el indicador de desempeño de la red podría indicarnos como es afectado el desempeño de la red. Sin embargo, el estudio ha sido acotado hasta la obtención de la vulnerabilidad para efectos de exposición a lo largo de una red de transporte de la Ciudad de México.

Capítulo 4. Análisis de resultados, conclusiones y trabajo a futuro

4.1. Introducción

En este capítulo, los resultados analizados serán referenciados a las secciones del capítulo 3 que corresponden a la evaluación de riesgos, la selección de indicadores, la topología de la red, el evento disruptivo que son las inundaciones y cómo es obtenida la vulnerabilidad de la red.

4.2. Resultados

La solución del caso de estudio es planteó como un proceso compuesto de tres etapas principales figura 4.1 las cuales se desarrollaron para llegar a la obtención de la vulnerabilidad de la red. Por lo que podemos partir de los resultados obtenidos en la evaluación de riesgos sección 3.2.

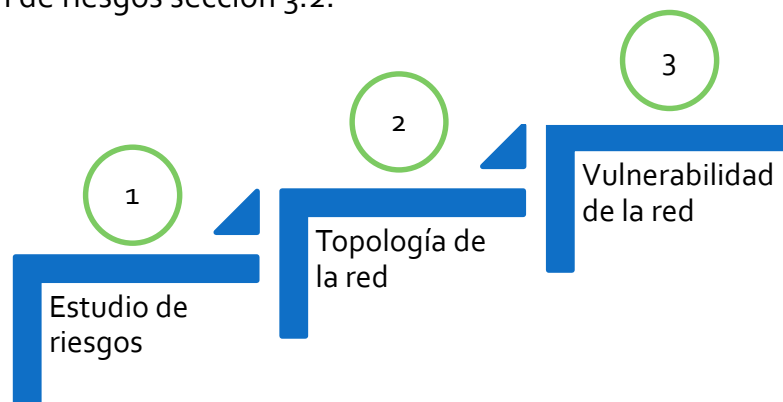


Figura 4.1. Etapas principales del estudio. Elaboración propia

Para la parte de la evaluación de riesgos se determinó el funcionamiento del sistema para poder identificar por medio de listas de verificación al elemento crítico. Como resultado se obtuvo la viabilidad, ya que si ésta se ve obstruida el desplazamiento de

los vehículos de transporte se ve afecta en su flujo. Las causas que podrían llevar a este detenimiento vehicular se evaluaron en el análisis de modo de falla y efecto, en donde se identificó a un riesgo de inundación como un evento que podría causar una afectación mayor de la vialidad. En la figura 4.1 se puede ver un fragmento de la tabla 3.5 de resultados en la cual podemos identificar a una ponderación mayor en el RPN correspondiente a las inundaciones.

Tabla 4.1. Fragmento de la tabla de resultados del análisis de modo de falla y efecto. Elaboración propia

Causa	RPN (Risk Priority Number)
Falta de mantenimiento	3
Desgaste	3
Golpe	2
Exceso de velocidad	15
Semáforos inactivos	15
Imprudencia de peatones	8
Choque (tercero)	12
Exceso de demanda	9
Inundaciones	25
Sismos	5
Choque (tercero)	12
Mantenimiento de vía	3
Manifestaciones	5
Atentado	5
Fiestas populares	5

Por lo que una vez identificado el evento disruptivo se seleccionó un indicador que pudiese verse afectado dado el evento y poder conocer el comportamiento del indicador en condiciones de operación normal. De esta forma, los tiempos de traslado de pasajeros podrían verse afectados con respecto a llevarse a cabo una inundación.

Ahora bien, la etapa 2 se refiere solamente a la topología de la red de transporte y se determinaron métricas para conocer la manera en que interactuaba. De esta manera, se pudo identificar una red de 218 nodos distribuidos a lo largo de tres rutas, en donde se contempló una conexión bidireccional. Con base en esto, los grados de cada uno de los nodos referentes a la conexión con otros nodos dio resultados de un mínimo de 1 hasta un máximo de 6. Los nodos cuyo grado fue de uno pertenece a los puntos de inicio o final de cada ruta, los nodos de grado dos

pertenece a aquellos que se ubican a lo largo de cada ruta, y por último los nodos de grado 4 o 6 pertenecen a aquellos que se ubican en el centro de la red. En la figura 4.2 se puede observar una red que representa a grandes rasgos la red analizada donde las rutas están definidas con x, y y z, en donde vemos los nodos finales coloreados en rojo, los nodos de la periferia en amarillo y los nodos centrales en verde, con lo cual se da una interpretación esquemática de los resultados de grado.

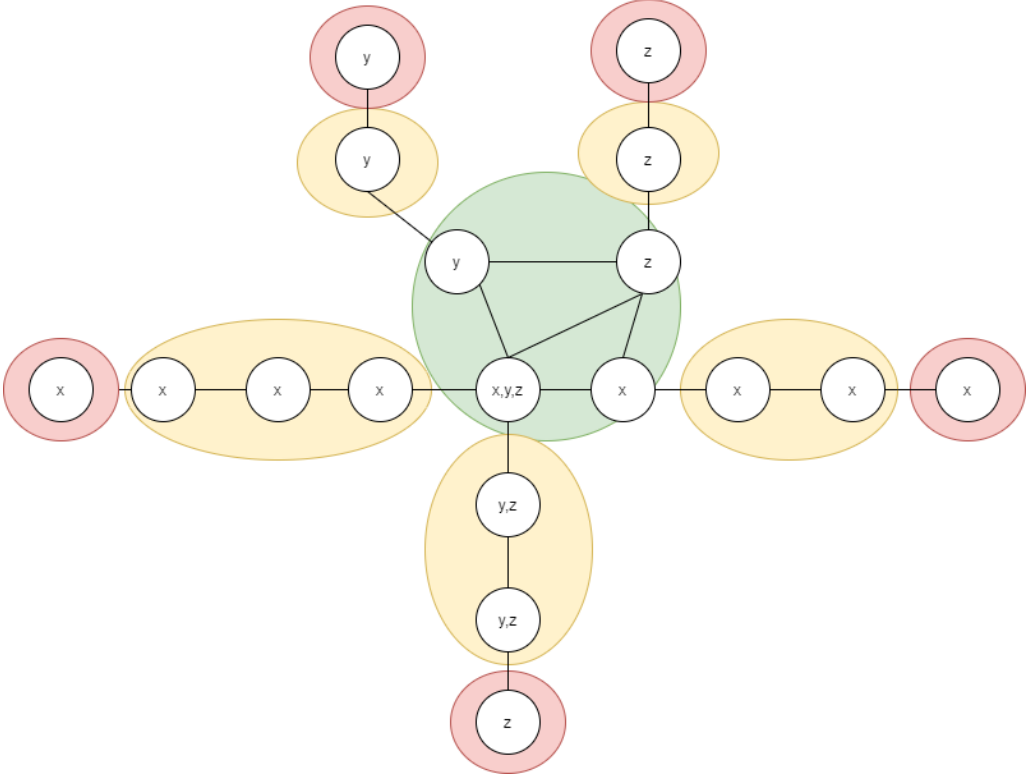


Figura 4.2. Red esquemática. Elaboración propia

Para continuar con el estudio se determinaron métricas de red como se pueden ver en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Métricas de la red. Elaboración propia

Tipo de métrica	Métrica	Resultados
Distancia	Centro	nodos 52 y 53
	Diámetro	105
	Excentricidad	Obtenidos para cada nodo, ver apéndice 2
Centralidad	Para nodos	Obtenidos para cada nodo, ver apéndice 2
	De intermediación	Obtenidos para cada nodo, ver apéndice 2
	De proximidad	Obtenidos para cada nodo, ver apéndice 2
Aproximación y agrupamiento	Coefficiente de agrupamiento	Obtenidos para cada nodo, ver apéndice 2

De las métricas obtenidas para el caso de las distancias, el diámetro a la forma en la que la red está conectada, en este caso la red estudiada presenta un diámetro de 105 que comparado con el número de nodos su distancia es de cerca la mitad de ellos, lo cual indica, junto con la excentricidad que la red posee grandes distancias para los nodos finales o iniciales y una conexión entre pocos nodos.

Las métricas de centralidad también nos indican como es la relación que existe entre cada uno de los nodos y nos hablan de esta en términos de conexión. Que junto con las métricas de aproximación nos indican la configuración de la red.

Ahora bien, continuando con el evento disruptivo, las inundaciones en México se presentan por lo general en temporada de lluvias, la cual se lleva a cabo de mayo a noviembre. La intensidad, así como el tiempo de precipitación, suelen variar por lo cual es difícil saber en caso de inundación cual será el tiempo de respuesta del suelo y de las obras hidráulicas para que el nivel de agua baje. Por lo cual, el evento solo podría tener afectaciones cada medio año.

En México, los datos que indican las zonas de riesgo por inundación se plantean en 5 categorías, las cuales se ponderaron con fines numéricos y poder hacer una evaluación en términos de grado de nodo. De esta forma, se llegó al planteamiento

de nivel de impacto por inundación, con el cual se determina la afectación que tendría un nodo con respecto a los nodos que conecta.

Finalmente, para la obtención de la vulnerabilidad se planteó una agrupación del nivel de impacto del evento de inundación para tener una escala de fácil interpretación en cada nodo. De manera que la susceptibilidad de la red es aquella que compromete un número de enlaces que disminuye la accesibilidad de otros nodos.

La vulnerabilidad total de la red resulto de baja ante inundaciones ya que una inundación en un nodo en la periferia o en los extremos, que nos la mayoría, no compromete en gran medida al resto de los nodos para seguir funcionando. Y solo una inundación de los nodos centrales, un número reducido, podrían tener afectaciones en el resto de la red.

Conclusiones y trabajo a futuro

En la actualidad, el interés por conocer eventos que puedan comprometer el funcionamiento de los sistemas es constante ya que de esto depende el minimizar pérdidas en muchos sentidos. En el caso de las redes de transporte público, éstas están sujetas a muchos riesgos que pueden hacer que su funcionamiento se vea comprometido.

Los resultados obtenidos nos hablan de una red que dada su configuración presenta una vulnerabilidad baja respecto a inundaciones ya que presenta pocas conexiones centrales. Esto se logró gracias a pensar que la red solo está formada por tres rutas y a tener elementos estáticos conectados que es el caso de las vialidades y las paradas.

Ahora bien, la importancia de estudios de este tipo, que ayuden a determinar cómo es la vulnerabilidad de una red, pueden servir como punto de partida para la planeación de rutas, de respuesta ante la emergencia y de mejora del servicio para evitar pérdidas para el usuario.

En trabajos a futuro se podría plantear como es la interacción entre varios riesgos y a su vez con más de un nodo y evaluar efectos desencadenantes. Con lo cual determinar la vulnerabilidad de la red ante un conjunto de eventos y poder obtener parámetros que sirvan a estrategias de mitigación.

Además, se podría hacer una estimación del impacto que puede tener el tiempo de recorrido de los usuarios antes uno o más eventos y proponer escenarios que reflejen las principales situaciones ante las que podría enfrentarse la operación de la red. Y de esta manera, crear herramientas que ayuden a los usuarios a tomar decisiones con respecto al modo de transporte a usar y cómo lidiar con las variaciones en su tiempo de viaje, de transbordo, de costos, etc.

Sin duda, la investigación de los sistemas de transporte puede contribuir a mejorar el desempeño de éstos y mejorar la experiencia de usuarios, dotando de herramientas que permitan tomar decisiones más fácilmente.

Bibliografía

- Aldana, M. (2006). *Redes Complejas*. Obtenido de <https://www.fis.unam.mx/~max/English/notasredes.pdf>
- Banco Mundial. (1 de 12 de 2019). *Transporte*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview#1>
- Barabásil, A.-L. (junio de 2020). *Network Science*. Obtenido de <http://networksciencebook.com/chapter/5#introduction5>
- Bohier-Baeder, S., & Hüging, H. (2012). *Transporte Urbano y Eficiencia Energética*. GIZ.
- Caldarelli, G., & Catanzaro, M. (2014). *Redes: Una breve introducción*. Madrid: Alianza Editorial.
- Cats, O. (2016). The robustness value of public transport development plans. *Journal of transport*, 11.
- Cats, O., Koppenol, G.-J., & Warnier, M. (2017). Robustness assessment of link capacity reduction for complex networks: Application for public transport systems. *Reability Engeneering and System Safety*, 10.
- Cats, O., Yap, M., & van Oort, N. (2016). Exposing the role of exposure: Public transport network risk analysis. *Transportation Research Part A*, 14.
- CENAPRED. (2009). *Inundaciones*. México: CENAPRED.
- CONAGUA. (2014). *Lineamientos para la elaboración de mapas de peligro por inundación*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/469330/Lineamientos__para_la_elaboraci_n_de_mapas_de_peligro_por_inundaci_n.pdf
- CONUEE. (2018). *Movilidad Urbana Sostenible*. México: Secretaría de Energía.
- Dobrescu, R., & Ionescu, F. (2017). *Large Scale Networks: Modeling and simulation*. Boca Raton: Taylor ans Francis Group.
- Gobierno de la Ciudad de México. (10 de Noviembre de 2019). *RTP*. Obtenido de <https://www.rtp.cdmx.gob.mx/>
- Hernández Uribe, R. E., Barrios Piña, H., & I. Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del agua*.

- INEGI. (27 de octubre de 2019). *Cuéntame: Información para niños y no tan niños*. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/densidad.aspx?tema=me&e=09>
- Islas Rivero, V. M., & Lelis Zaragoza, M. (2007). *Análisis de los sistemas de transporte*. Querétaro: Sanfandilla.
- Katja, B. (2002). An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done. *Transport Policy*, 10.
- Malandri, C., Fonzone, A., & Oded, C. (2018). Recovery time and propagation effects of passenger transport disruptions. *Physica A*, 11.
- Matisziw, T. C., & Murray, A. T. (2008). Exploring the vulnerability of network infrastructure to disruption. *Springer-Verlag*, 15.
- Matisziw, T. C., Murray, A. T., & Grubestic, T. H. (2008). A Methodological Overview of Network. *Wiley Periodicals*, 20.
- Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible. (27 de Abril de 2020). *Riesgo de inundación*. Obtenido de <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-7-riesgo-de-inundaciones>
- Molinero Molinero, Á., & Sánchez Arellano, L. (2005). *Transporte público: Planeación, diseño, operación y administración*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Rodríguez-Ñuñez, E., & García Palomares, J. C. (2014). Measuring the vulnerability of public transport networks. *Journal of Transport Geography*, 14.
- Sancho Carrini, F. (15 de mayo de 2016). *Introducción a las redes complejas*. Obtenido de <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=80>
- Sashiko Shirai, R. (2018). *Redes Complejas del Flujo de Pasajeros en Aeropuertos Mexicanos*. México: UNAM.
- Scott, D. M., Novak, D. C., Aultman-Hall, L., & Guo, F. (2006). Network Robustness Index: A new method for identifying critical links and evaluating the performance of transportation networks. *Journal of Transport Geography*, 13.
- Secretaría de Movilidad. (Noviembre de 2019). *Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México*. Obtenido de <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/plan-estrategico-de-movilidad-2019.pdf>
- Soler Anguiano, F., & Alvarez Echeverria, F. (2010). *¿Por qué hacer estudios de riesgo?* México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones*. México: Person Educación.

Un plan de negocios. (17 de febrero de 2020). *Matriz de Decisiones para la toma de decisiones*.
Obtenido de Un plan de negocio: <https://unplandenegocios.com/matriz-decisiones-la-toma-decisiones/>

Universidad Nacional de Cuyo. (2017). Medios de transporte urbano. Provincia de Mendoza,
República de Argentina.

Apéndice

1. Encuesta realizada a pasajeros

9/9/2020 Ruta San Lázaro

Ruta San Lázaro

San Lázaro - Xochimilco
***Obligatorio**

1. 1. ¿Qué tan frecuente usa la ruta?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Poco frecuente Muy frecuente

2. 2. ¿Cuál es el origen de su recorrido? *

Selecciona todos los que correspondan.

San Lázaro
 Xochimilco
 Otro, mencione cuál

3. 3. ¿Cuál es el destino de su recorrido? *

Selecciona todos los que correspondan.

San Lázaro
 Xochimilco
 Otro, mencione cuál

4. Destino

<https://docs.google.com/forms/d/1-8kUfOmHSa1KN788ajGMDa6FLs9q1HKUz9LWXYy-mwIedE> 1/2

5. 4. ¿En que horario viaja frecuentemente?

Marca solo un óvalo.

- Entre 8 y 10 AM
- Entre 10 y 12 AM
- Entre 12 y 2 PM
- Entre 2 y 4 PM
- Entre 4 y 6 PM

6. 5. ¿Cuánto es le tiempo promedio de viaje? (En minutos)

7. 6. A su parecer, ¿influencia la temporada de lluvias el tiempo de viaje? *

Marca solo un óvalo.

- Si
- No
- Tal vez

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Nota: Para cada ruta se utilizó la misma encuesta.

2. Código de Python desarrollado para analizar la red

9/8/2020

MatrizADT

Matriz de adyacencia de una red de transporte público

```
In [10]: import numpy as np
import pandas as pd
import glob as gl
import xlrd as xl
import matplotlib as plt
import networkx as nx
from tabulate import tabulate
```

Importe de datos de excel

```
In [11]: #Esta matriz es unidireccional de la red
test_csv = 'MatAdT.csv'
A= pd.read_csv(test_csv, sep=',', header=None)
print(A)
```

```
   0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  ... 208 209 210 \
0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
1  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
2  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
3  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
4  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  ...  0  0  0
...
213 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
214 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
215 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
216 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
217 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0

   211 212 213 214 215 216 217
0  0  0  0  0  0  0  0
1  0  0  0  0  0  0  0
2  0  0  0  0  0  0  0
3  0  0  0  0  0  0  0
4  0  0  0  0  0  0  0
...
213 0  0  0  1  0  0  0
214 0  0  0  0  1  0  0
215 0  0  0  0  0  1  0
216 0  0  0  0  0  0  1
217 0  0  0  0  0  0  0
```

[218 rows x 218 columns]

<https://es.stackoverflow.com/questions/103733/c%C3%B3mo-puedo-tomar-informaci%C3%B3n-de-excel-en-python-y-guardarla-en-arreglos> (<https://es.stackoverflow.com/questions/103733/c%C3%B3mo-puedo-tomar-informaci%C3%B3n-de-excel-en-python-y-guardarla-en-arreglos>)

localhost:8888/nbconvert/html/Documents/Python/MatrizADT.ipynb?download=false

1/16

Obtención de la matriz adjunta

```
In [12]: B=np.transpose(A)
print(B)
```

```

      0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  ...  208  209  210  \
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
1  1  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
2  0  1  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
3  0  0  1  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
4  0  0  0  1  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
...
213 0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
214 0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
215 0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
216 0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
217 0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0

      211  212  213  214  215  216  217
0  0  0  0  0  0  0  0
1  0  0  0  0  0  0  0
2  0  0  0  0  0  0  0
3  0  0  0  0  0  0  0
4  0  0  0  0  0  0  0
...
213 0  1  0  0  0  0  0
214 0  0  1  0  0  0  0
215 0  0  0  1  0  0  0
216 0  0  0  0  1  0  0
217 0  0  0  0  0  1  0

[218 rows x 218 columns]
```

<http://how.okpedia.org/es/python/como-hacer-una-matriz-transpuesta-en-python>
[/http://how.okpedia.org/es/python/como-hacer-una-matriz-transpuesta-en-python\)](http://how.okpedia.org/es/python/como-hacer-una-matriz-transpuesta-en-python)


```
In [13]: #esta matriz es bidireccional de la red
ADY=A+B
print(ADY)
```

```

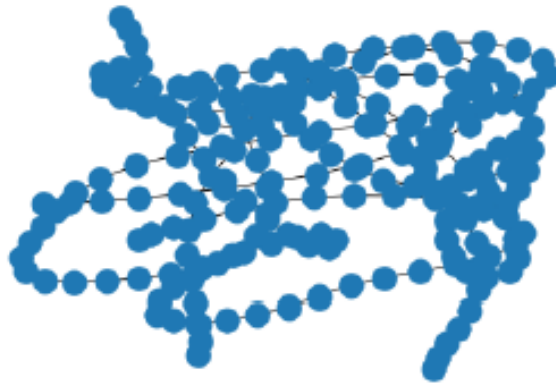
      0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  ... 208 209 210 \
0     0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
1     1  0  1  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
2     0  1  0  1  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
3     0  0  1  0  1  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
4     0  0  0  1  0  1  0  0  0  0  ...  0  0  0
...
213   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
214   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
215   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
216   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0
217   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  ...  0  0  0

      211 212 213 214 215 216 217
0     0  0  0  0  0  0  0
1     0  0  0  0  0  0  0
2     0  0  0  0  0  0  0
3     0  0  0  0  0  0  0
4     0  0  0  0  0  0  0
...
213   0  1  0  1  0  0  0
214   0  0  1  0  1  0  0
215   0  0  0  1  0  1  0
216   0  0  0  0  1  0  1
217   0  0  0  0  0  1  0

[218 rows x 218 columns]
```

Grado de los nodos

In [18]: `nx.draw(Grafo)`



In [13]: `Orden=Grafo.order()
print(Orden)`

218

Clustering

In [19]: `CL=nx.clustering(Grafo)
print(CL)`

```
{0: 0, 1: 0, 2: 0, 3: 0, 4: 0, 5: 0, 6: 0, 7: 0, 8: 0, 9: 0, 10: 0, 11: 0, 12: 0, 13: 0, 14: 0, 15: 0, 16: 0, 17: 0, 18: 0, 19: 0, 20: 0, 21: 0, 22: 0, 23: 0, 24: 0, 25: 0, 26: 0, 27: 0, 28: 0, 29: 0, 30: 0, 31: 0, 32: 0, 33: 0, 34: 0, 35: 0, 36: 0, 37: 0, 38: 0, 39: 0, 40: 0, 41: 0, 42: 0, 43: 0, 44: 0, 45: 0, 46: 0, 47: 0, 48: 0, 49: 0, 50: 0, 51: 0, 52: 0, 53: 0.13333333333333333, 54: 0, 55: 0, 56: 0, 57: 0, 58: 0, 59: 0, 60: 0, 61: 0, 62: 0, 63: 0, 64: 0, 65: 0, 66: 0, 67: 0, 68: 0, 69: 0, 70: 0, 71: 0, 72: 0, 73: 0, 74: 0, 75: 0, 76: 0, 77: 0, 78: 0, 79: 0, 80: 0, 81: 0, 82: 0, 83: 0, 84: 0, 85: 0, 86: 0, 87: 0, 88: 0, 89: 0, 90: 0, 91: 0, 92: 0, 93: 0, 94: 0, 95: 0, 96: 0, 97: 0, 98: 0, 99: 0, 100: 0, 101: 0, 102: 0, 103: 0, 104: 0, 105: 0, 106: 0, 107: 0, 108: 0, 109: 0, 110: 0, 111: 0, 112: 0, 113: 0, 114: 0, 115: 0, 116: 0, 117: 0, 118: 0, 119: 0, 120: 0, 121: 0, 122: 0, 123: 0, 124: 0, 125: 0, 126: 0, 127: 0, 128: 0, 129: 0, 130: 0, 131: 0, 132: 0, 133: 0.3333333333333333, 134: 0.3333333333333333, 135: 0, 136: 0.3333333333333333, 137: 0.3333333333333333, 138: 0, 139: 0, 140: 0, 141: 0, 142: 0, 143: 0, 144: 0, 145: 0, 146: 0, 147: 0, 148: 0, 149: 0, 150: 0, 151: 0, 152: 0, 153: 0, 154: 0, 155: 0, 156: 0, 157: 0, 158: 0, 159: 0, 160: 0, 161: 0, 162: 0, 163: 0, 164: 0, 165: 0, 166: 0, 167: 0, 168: 0, 169: 0, 170: 0, 171: 0, 172: 0, 173: 0, 174: 0, 175: 0, 176: 0, 177: 0, 178: 0, 179: 0, 180: 0, 181: 0, 182: 0, 183: 0, 184: 0, 185: 0, 186: 0, 187: 0, 188: 0, 189: 0, 190: 0, 191: 0, 192: 0, 193: 0, 194: 0, 195: 0, 196: 0, 197: 0, 198: 0, 199: 0, 200: 0, 201: 0, 202: 0, 203: 0, 204: 0, 205: 0, 206: 0.16666666666666666, 207: 0, 208: 0.3333333333333333, 209: 0.5, 210: 0.3333333333333333, 211: 0, 212: 0, 213: 0, 214: 0, 215: 0, 216: 0, 217: 0}
```

```
In [20]: #Otra versión del grado del nodo
GRAD=nx.degree(Grafo)
print(GRAD)

[(0, 1), (1, 2), (2, 2), (3, 2), (4, 2), (5, 2), (6, 2), (7, 2), (8, 2), (9,
2), (10, 2), (11, 2), (12, 2), (13, 2), (14, 2), (15, 2), (16, 2), (17, 2),
(18, 2), (19, 2), (20, 2), (21, 2), (22, 2), (23, 2), (24, 2), (25, 2), (26,
2), (27, 2), (28, 2), (29, 2), (30, 2), (31, 2), (32, 2), (33, 2), (34, 2),
(35, 2), (36, 2), (37, 2), (38, 2), (39, 2), (40, 2), (41, 2), (42, 2), (43,
2), (44, 2), (45, 2), (46, 2), (47, 2), (48, 2), (49, 2), (50, 2), (51, 2),
(52, 2), (53, 6), (54, 2), (55, 2), (56, 2), (57, 2), (58, 2), (59, 2), (60,
2), (61, 3), (62, 2), (63, 2), (64, 2), (65, 2), (66, 2), (67, 2), (68, 2),
(69, 2), (70, 2), (71, 2), (72, 2), (73, 2), (74, 2), (75, 2), (76, 2), (77,
2), (78, 2), (79, 2), (80, 2), (81, 2), (82, 2), (83, 2), (84, 1), (85, 1),
(86, 2), (87, 2), (88, 2), (89, 2), (90, 2), (91, 2), (92, 2), (93, 2), (94,
2), (95, 2), (96, 2), (97, 2), (98, 2), (99, 2), (100, 2), (101, 2), (102,
2), (103, 2), (104, 2), (105, 2), (106, 2), (107, 2), (108, 2), (109, 2), (11
0, 2), (111, 2), (112, 2), (113, 2), (114, 2), (115, 2), (116, 2), (117, 2),
(118, 2), (119, 2), (120, 2), (121, 2), (122, 2), (123, 2), (124, 2), (125,
2), (126, 2), (127, 2), (128, 2), (129, 3), (130, 3), (131, 3), (132, 3), (13
3, 4), (134, 4), (135, 2), (136, 4), (137, 3), (138, 2), (139, 4), (140, 2),
(141, 2), (142, 2), (143, 2), (144, 2), (145, 2), (146, 2), (147, 2), (148,
2), (149, 2), (150, 2), (151, 2), (152, 2), (153, 2), (154, 2), (155, 2), (15
6, 2), (157, 1), (158, 1), (159, 2), (160, 2), (161, 2), (162, 2), (163, 2),
(164, 2), (165, 2), (166, 2), (167, 2), (168, 2), (169, 2), (170, 2), (171,
2), (172, 2), (173, 2), (174, 2), (175, 2), (176, 2), (177, 2), (178, 2), (17
9, 2), (180, 2), (181, 2), (182, 2), (183, 2), (184, 2), (185, 2), (186, 2),
(187, 2), (188, 2), (189, 2), (190, 2), (191, 2), (192, 2), (193, 2), (194,
2), (195, 2), (196, 2), (197, 2), (198, 2), (199, 2), (200, 2), (201, 2), (20
2, 2), (203, 2), (204, 2), (205, 2), (206, 4), (207, 2), (208, 3), (209, 4),
(210, 3), (211, 3), (212, 3), (213, 3), (214, 3), (215, 2), (216, 2), (217,
1)]
```

```
In [21]: NoNodos=Grafo.number_of_nodes()
print(NoNodos)
```

218

Métricas de distancia

```
In [22]: #Mientras más pequeño sea el diámetro más conectada esta La gráfica
#Es La excentricidad máxima
diametro=nx.diameter(Grafo)
print(diametro)
```

105

```
In [23]: #Radio de La gráfica
radio=nx.radius(Grafo)
print(radio)
```

53

```
In [19]: #EL centro es el conjunto de nodos con excentricidad igual al radio
centro=nx.center(Grafo)
print(centro)
```

```
[52, 53]
```

```
In [24]: #Excentricidad de nodos del grafo
#La excentricidad de un node v es La distancia máxima de v a todos los demás n
odos del grafo
Exc=nx.eccentricity(Grafo, v=None, sp=None)
print(Exc)
headers=["Nodo", "Excentricidad"]
#print(tabulate(Exc.items(), headers=headers, tablefmt="fancy_grid"))
```

```
{0: 105, 1: 104, 2: 103, 3: 102, 4: 101, 5: 100, 6: 99, 7: 98, 8: 97, 9: 96,
10: 95, 11: 94, 12: 93, 13: 92, 14: 91, 15: 90, 16: 89, 17: 88, 18: 87, 19: 8
6, 20: 85, 21: 84, 22: 83, 23: 82, 24: 81, 25: 80, 26: 79, 27: 78, 28: 77, 2
9: 76, 30: 75, 31: 74, 32: 73, 33: 72, 34: 71, 35: 70, 36: 69, 37: 68, 38: 6
7, 39: 66, 40: 65, 41: 64, 42: 63, 43: 62, 44: 61, 45: 60, 46: 59, 47: 58, 4
8: 57, 49: 56, 50: 55, 51: 54, 52: 53, 53: 53, 54: 54, 55: 55, 56: 56, 57: 5
6, 58: 58, 59: 57, 60: 56, 61: 55, 62: 56, 63: 57, 64: 58, 65: 59, 66: 60, 6
7: 61, 68: 62, 69: 63, 70: 64, 71: 65, 72: 66, 73: 67, 74: 68, 75: 69, 76: 7
0, 77: 71, 78: 72, 79: 73, 80: 74, 81: 75, 82: 76, 83: 77, 84: 78, 85: 105, 8
6: 104, 87: 103, 88: 102, 89: 101, 90: 100, 91: 99, 92: 98, 93: 97, 94: 96, 9
5: 95, 96: 94, 97: 93, 98: 92, 99: 91, 100: 90, 101: 89, 102: 88, 103: 87, 10
4: 86, 105: 85, 106: 84, 107: 83, 108: 82, 109: 81, 110: 80, 111: 79, 112: 7
8, 113: 77, 114: 76, 115: 75, 116: 74, 117: 73, 118: 72, 119: 71, 120: 70, 12
1: 69, 122: 68, 123: 67, 124: 66, 125: 65, 126: 64, 127: 63, 128: 62, 129: 6
1, 130: 60, 131: 59, 132: 58, 133: 57, 134: 56, 135: 55, 136: 54, 137: 54, 13
8: 55, 139: 54, 140: 55, 141: 56, 142: 57, 143: 58, 144: 59, 145: 60, 146: 6
0, 147: 62, 148: 63, 149: 64, 150: 65, 151: 66, 152: 67, 153: 68, 154: 69, 15
5: 70, 156: 71, 157: 72, 158: 102, 159: 101, 160: 100, 161: 99, 162: 98, 163:
97, 164: 96, 165: 95, 166: 94, 167: 93, 168: 92, 169: 91, 170: 90, 171: 89, 1
72: 88, 173: 87, 174: 86, 175: 85, 176: 84, 177: 83, 178: 82, 179: 81, 180: 8
0, 181: 79, 182: 78, 183: 77, 184: 76, 185: 75, 186: 74, 187: 73, 188: 72, 18
9: 71, 190: 70, 191: 69, 192: 68, 193: 67, 194: 66, 195: 65, 196: 64, 197: 6
4, 198: 62, 199: 61, 200: 60, 201: 59, 202: 58, 203: 57, 204: 56, 205: 55, 20
6: 54, 207: 55, 208: 56, 209: 57, 210: 58, 211: 59, 212: 60, 213: 61, 214: 6
1, 215: 63, 216: 64, 217: 65}
```

```
In [25]: #Perímetro
#Conjunto de nodos con excentricidad igual a la del diámetro
Per=nx.periphery(Grafo, e=None)
print(Per)
```

```
[0, 85]
```

Métricas de centralidad

```
In [28]: #centralidad de proximidad para los nodos
#Mientras menor sea el valor, se puede decir que el nodo está más cercano al
#centro de la red, por eso a veces se define como 1 entre la cantidad anterior
#https://networkx.github.io/documentation/networkx-1.10/reference/generated/ne
tworkx.algorithms centrality.closeness centrality.html
CenProx=nx.closeness centrality(Grafo)
#print(CenProx)
headers=["Nodo", "Centralidad de proximidad"]
#print(tabulate(CenProx.items(), headers=headers, tablefmt="fancy_grid"))
```

{0: 0.01626442812172088, 1: 0.01653207374676215, 2: 0.016806071871127634, 3: 0.017086614173228345, 4: 0.017373899119295436, 5: 0.01766813222602182, 6: 0.01796952633322292, 7: 0.018278301886792452, 8: 0.018594687232219367, 9: 0.01891891891892, 10: 0.01925124201561391, 11: 0.01959191043698086, 12: 0.019941187281749678, 13: 0.02029934518241347, 14: 0.020666666666666667, 15: 0.02104344453064391, 16: 0.021429982223977878, 17: 0.021826594246630457, 18: 0.02223360655737705, 19: 0.02265135699373695, 20: 0.023080195703041907, 21: 0.023520485584218515, 22: 0.023972602739726026, 23: 0.024436936936936937, 24: 0.02491389207807118, 25: 0.02540388667759307, 26: 0.025907354345749763, 27: 0.02642474427666829, 28: 0.026956521739130435, 29: 0.02750316856780735, 30: 0.028065183652353855, 31: 0.02864308342133052, 32: 0.029237402317434654, 33: 0.02984869325997249, 34: 0.03047752808988764, 35: 0.03112449799196787, 36: 0.03179021388807501, 37: 0.032475306794372945, 38: 0.03318042813455657, 39: 0.03390625, 40: 0.034653465346534656, 41: 0.03542278811622592, 42: 0.036214953271028034, 43: 0.03703071672354949, 44: 0.03787085514834206, 45: 0.03873616565512317, 46: 0.03962746530314098, 47: 0.04054559043348281, 48: 0.041491395793499045, 49: 0.04246575342465753, 50: 0.04346955128205128, 51: 0.04450369155045119, 52: 0.045569088618227636, 53: 0.046666666666666667, 54: 0.0446685878962536, 55: 0.04283458349782866, 56: 0.041145240803943876, 57: 0.03991905813097866, 58: 0.039028776978417265, 59: 0.04054559043348281, 60: 0.042185069984447904, 61: 0.043962722852512154, 62: 0.04248238057948316, 63: 0.04108292313517607, 64: 0.039758153169659215, 65: 0.03850248403122782, 66: 0.037310866574965615, 67: 0.03617872624208069, 68: 0.035101908767389195, 69: 0.034076633165829144, 70: 0.033099450884685785, 71: 0.03216721019863623, 72: 0.03127702507927357, 73: 0.030426247896803142, 74: 0.02961244541484716, 75: 0.028833377624235983, 76: 0.02808697903184054, 77: 0.027371342078708377, 78: 0.026684702410231187, 79: 0.026025425761573517, 80: 0.025391996255558155, 81: 0.024783005938784835, 82: 0.0241971454058876, 83: 0.02363319538226966, 84: 0.02309001915301128, 85: 0.016620710784313725, 86: 0.01690031152647975, 87: 0.017186757484555677, 88: 0.017480264217818592, 89: 0.01778105539167486, 90: 0.018089363121040345, 91: 0.018405428329092453, 92: 0.018729501122043846, 93: 0.019061841180604357, 94: 0.019402718168812588, 95: 0.019752412160932094, 96: 0.0201112140871177, 97: 0.020479426198565496, 98: 0.020857362552864283, 99: 0.021245349520266302, 100: 0.021643726311589867, 101: 0.022052845528455284, 102: 0.02247307373653687, 103: 0.022904792062486808, 104: 0.02334839681514956, 105: 0.02380430013163668, 106: 0.024272930648769574, 107: 0.024754734200319414, 108: 0.025250174540377007, 109: 0.025759734093067425, 110: 0.026283914728682172, 111: 0.026823238566131027, 112: 0.027378248801413072, 113: 0.027949510561566204, 114: 0.028537611783271962, 115: 0.029143164114961054, 116: 0.029766803840877914, 117: 0.03040919282511211, 118: 0.03107101947308133, 119: 0.031752999707345624, 120: 0.03245587795393359, 121: 0.03318042813455657, 122: 0.03392745465916198, 123: 0.03469779341221618, 124: 0.035492312724893685, 125: 0.03631191432396252, 126: 0.03715753424657534, 127: 0.038030143708377144, 128: 0.03893074991029781, 129: 0.03986039676708303, 130: 0.04075882794891059, 131: 0.041666666666666667, 132: 0.042582417582417584, 133: 0.043504410585404975, 134: 0.044421699078812694, 135: 0.045312173731467946, 136: 0.04623907948007671, 137: 0.04518009577347491, 138: 0.044043028211893646, 139: 0.045454545454545456, 140: 0.043785310734463276, 141: 0.04221789883268483, 142: 0.04074352234322193, 143: 0.03935437069278201, 144: 0.03804347826086957, 145: 0.03680461329715061, 146: 0.035632183908045977, 147: 0.034521158129175944, 148: 0.03346699568167798, 149: 0.0324655894673848, 150: 0.031513215219285504, 151: 0.0306064880112835, 152: 0.029742324561403508, 153: 0.028917910447761194, 154: 0.028130671506352088, 155: 0.027378248801413072, 156: 0.02665847665847666, 157: 0.025969363331737674, 158: 0.01694253591505309, 159: 0.017233163913595934, 160: 0.01753110357085151, 161: 0.017836593785960874, 162: 0.018149882903981264, 163: 0.018471229145386448, 164: 0.018800901057009184, 165: 0.01913917798553537, 166: 0.019486350574712645, 167: 0.019842721287490855, 168: 0.020208604954367666, 169: 0.02058432934926958

```
7, 170: 0.020970235794356397, 171: 0.021366679795194958, 172: 0.0217740317078
06542, 173: 0.02219267743914911, 174: 0.02262301918265221, 175: 0.02306547619
0476192, 176: 0.023520485584218515, 177: 0.023988503205836835, 178: 0.0244700
0451059991, 179: 0.024965485503911644, 180: 0.025475463723878846, 181: 0.0260
0047927150731, 182: 0.026541095890410957, 183: 0.027097902097902096, 184: 0.0
27671512369293546, 185: 0.02826256837718156, 186: 0.02887174028738691, 187:
0.02949972811310495, 188: 0.030147263128646847, 189: 0.030815109343936383, 19
0: 0.031504065040650404, 191: 0.03221496437054632, 192: 0.032948679016094745,
193: 0.03370611991301647, 194: 0.03448823903369358, 195: 0.03529603122966818
6, 196: 0.03613053613053613, 197: 0.03699284009546539, 198: 0.037884078212290
506, 199: 0.038805436337625177, 200: 0.039758153169659215, 201: 0.04074352234
322193, 202: 0.04176289453425712, 203: 0.04281767955801105, 204: 0.0439093484
41926344, 205: 0.045039435450394356, 206: 0.04620954003407155, 207: 0.0452838
0634390651, 208: 0.04439443535188216, 209: 0.04353059177532598, 210: 0.042234
33242506812, 211: 0.04136484940907358, 212: 0.040500186636804776, 213: 0.0396
4194373401535, 214: 0.03879156238827315, 215: 0.03737512917671375, 216: 0.036
04651162790698, 217: 0.03479794740218089}
```



```
In [29]: #Centralidad para Los nodos  
CenNodos=nx.degree_centrality(Grafo)  
print(CenNodos)
```

```
{0: 0.004608294930875576, 1: 0.009216589861751152, 2: 0.009216589861751152,
3: 0.009216589861751152, 4: 0.009216589861751152, 5: 0.009216589861751152, 6:
0.009216589861751152, 7: 0.009216589861751152, 8: 0.009216589861751152, 9: 0.
009216589861751152, 10: 0.009216589861751152, 11: 0.009216589861751152, 12:
0.009216589861751152, 13: 0.009216589861751152, 14: 0.009216589861751152, 15:
0.009216589861751152, 16: 0.009216589861751152, 17: 0.009216589861751152, 18:
0.009216589861751152, 19: 0.009216589861751152, 20: 0.009216589861751152, 21:
0.009216589861751152, 22: 0.009216589861751152, 23: 0.009216589861751152, 24:
0.009216589861751152, 25: 0.009216589861751152, 26: 0.009216589861751152, 27:
0.009216589861751152, 28: 0.009216589861751152, 29: 0.009216589861751152, 30:
0.009216589861751152, 31: 0.009216589861751152, 32: 0.009216589861751152, 33:
0.009216589861751152, 34: 0.009216589861751152, 35: 0.009216589861751152, 36:
0.009216589861751152, 37: 0.009216589861751152, 38: 0.009216589861751152, 39:
0.009216589861751152, 40: 0.009216589861751152, 41: 0.009216589861751152, 42:
0.009216589861751152, 43: 0.009216589861751152, 44: 0.009216589861751152, 45:
0.009216589861751152, 46: 0.009216589861751152, 47: 0.009216589861751152, 48:
0.009216589861751152, 49: 0.009216589861751152, 50: 0.009216589861751152, 51:
0.009216589861751152, 52: 0.009216589861751152, 53: 0.027649769585253454, 54:
0.009216589861751152, 55: 0.009216589861751152, 56: 0.009216589861751152, 57:
0.009216589861751152, 58: 0.009216589861751152, 59: 0.009216589861751152, 60:
0.009216589861751152, 61: 0.013824884792626727, 62: 0.009216589861751152, 63:
0.009216589861751152, 64: 0.009216589861751152, 65: 0.009216589861751152, 66:
0.009216589861751152, 67: 0.009216589861751152, 68: 0.009216589861751152, 69:
0.009216589861751152, 70: 0.009216589861751152, 71: 0.009216589861751152, 72:
0.009216589861751152, 73: 0.009216589861751152, 74: 0.009216589861751152, 75:
0.009216589861751152, 76: 0.009216589861751152, 77: 0.009216589861751152, 78:
0.009216589861751152, 79: 0.009216589861751152, 80: 0.009216589861751152, 81:
0.009216589861751152, 82: 0.009216589861751152, 83: 0.009216589861751152, 84:
0.004608294930875576, 85: 0.004608294930875576, 86: 0.009216589861751152, 87:
0.009216589861751152, 88: 0.009216589861751152, 89: 0.009216589861751152, 90:
0.009216589861751152, 91: 0.009216589861751152, 92: 0.009216589861751152, 93:
0.009216589861751152, 94: 0.009216589861751152, 95: 0.009216589861751152, 96:
0.009216589861751152, 97: 0.009216589861751152, 98: 0.009216589861751152, 99:
0.009216589861751152, 100: 0.009216589861751152, 101: 0.009216589861751152, 1
02: 0.009216589861751152, 103: 0.009216589861751152, 104: 0.00921658986175115
2, 105: 0.009216589861751152, 106: 0.009216589861751152, 107: 0.0092165898617
51152, 108: 0.009216589861751152, 109: 0.009216589861751152, 110: 0.009216589
861751152, 111: 0.009216589861751152, 112: 0.009216589861751152, 113: 0.00921
6589861751152, 114: 0.009216589861751152, 115: 0.009216589861751152, 116: 0.0
09216589861751152, 117: 0.009216589861751152, 118: 0.009216589861751152, 119:
0.009216589861751152, 120: 0.009216589861751152, 121: 0.009216589861751152, 1
22: 0.009216589861751152, 123: 0.009216589861751152, 124: 0.00921658986175115
2, 125: 0.009216589861751152, 126: 0.009216589861751152, 127: 0.0092165898617
51152, 128: 0.009216589861751152, 129: 0.013824884792626727, 130: 0.013824884
792626727, 131: 0.013824884792626727, 132: 0.013824884792626727, 133: 0.01843
3179723502304, 134: 0.018433179723502304, 135: 0.009216589861751152, 136: 0.0
18433179723502304, 137: 0.013824884792626727, 138: 0.009216589861751152, 139:
0.018433179723502304, 140: 0.009216589861751152, 141: 0.009216589861751152, 1
42: 0.009216589861751152, 143: 0.009216589861751152, 144: 0.00921658986175115
2, 145: 0.009216589861751152, 146: 0.009216589861751152, 147: 0.0092165898617
51152, 148: 0.009216589861751152, 149: 0.009216589861751152, 150: 0.009216589
861751152, 151: 0.009216589861751152, 152: 0.009216589861751152, 153: 0.00921
6589861751152, 154: 0.009216589861751152, 155: 0.009216589861751152, 156: 0.0
09216589861751152, 157: 0.004608294930875576, 158: 0.004608294930875576, 159:
0.009216589861751152, 160: 0.009216589861751152, 161: 0.009216589861751152, 1
62: 0.009216589861751152, 163: 0.009216589861751152, 164: 0.00921658986175115
2, 165: 0.009216589861751152, 166: 0.009216589861751152, 167: 0.0092165898617
```

```
51152, 168: 0.009216589861751152, 169: 0.009216589861751152, 170: 0.009216589
861751152, 171: 0.009216589861751152, 172: 0.009216589861751152, 173: 0.00921
6589861751152, 174: 0.009216589861751152, 175: 0.009216589861751152, 176: 0.0
09216589861751152, 177: 0.009216589861751152, 178: 0.009216589861751152, 179:
0.009216589861751152, 180: 0.009216589861751152, 181: 0.009216589861751152, 1
82: 0.009216589861751152, 183: 0.009216589861751152, 184: 0.00921658986175115
2, 185: 0.009216589861751152, 186: 0.009216589861751152, 187: 0.0092165898617
51152, 188: 0.009216589861751152, 189: 0.009216589861751152, 190: 0.009216589
861751152, 191: 0.009216589861751152, 192: 0.009216589861751152, 193: 0.00921
6589861751152, 194: 0.009216589861751152, 195: 0.009216589861751152, 196: 0.0
09216589861751152, 197: 0.009216589861751152, 198: 0.009216589861751152, 199:
0.009216589861751152, 200: 0.009216589861751152, 201: 0.009216589861751152, 2
02: 0.009216589861751152, 203: 0.009216589861751152, 204: 0.00921658986175115
2, 205: 0.009216589861751152, 206: 0.018433179723502304, 207: 0.0092165898617
51152, 208: 0.013824884792626727, 209: 0.018433179723502304, 210: 0.013824884
792626727, 211: 0.013824884792626727, 212: 0.013824884792626727, 213: 0.01382
4884792626727, 214: 0.013824884792626727, 215: 0.009216589861751152, 216: 0.0
09216589861751152, 217: 0.004608294930875576}
```

```
In [36]: #Centralidad de intermediación de La ruta más corta para Los nodos.  
#es una medida que cuantifica la frecuencia o el número de  
#veces que un nodo actúa como un puente a lo largo del camino más corto entre  
#otros dos nodos  
CenMed=nx.betweenness centrality(Grafo)  
print(CenMed)
```

```
{0: 0.0, 1: 0.009216589861751152, 2: 0.01834784092848609, 3: 0.02739375320020
4814, 4: 0.03635432667690732, 5: 0.04522956135859362, 6: 0.0540194572452637,
7: 0.06272401433691757, 8: 0.07134323263355521, 9: 0.07987711213517666, 10:
0.08832565284178188, 11: 0.09668885475337088, 12: 0.10496671786994369, 13: 0.
11315924219150027, 14: 0.12126642771804062, 15: 0.12928827444956478, 16: 0.13
722478238607272, 17: 0.14507595152756445, 18: 0.15284178187403993, 19: 0.1605
2227342549924, 20: 0.1681174261819423, 21: 0.1756272401433692, 22: 0.18305171
530977984, 23: 0.19039085168117428, 24: 0.19764464925755248, 25: 0.2048131080
389145, 26: 0.21189622802526029, 27: 0.21889400921658989, 28: 0.2258064516129
0325, 29: 0.2326335552142004, 30: 0.2393753200204813, 31: 0.2460317460317460
5, 32: 0.25260283324799454, 33: 0.2590885816692268, 34: 0.2654889912954429, 3
5: 0.27180406212664276, 36: 0.2780337941628264, 37: 0.28417818740399386, 38:
0.2902372418501451, 39: 0.29621095750128007, 40: 0.3020993343573989, 41: 0.30
79023724185015, 42: 0.31362007168458783, 43: 0.31925243215565796, 44: 0.32479
945383171194, 45: 0.33026113671274965, 46: 0.33563748079877115, 47: 0.3409284
8608977644, 48: 0.3461341525857655, 49: 0.3512544802867384, 50: 0.35628946919
2695, 51: 0.36123911930363545, 52: 0.3661034306195597, 53: 0.619154292541390
5, 54: 0.028631165727939924, 55: 0.01975593104625363, 56: 0.01137139443591056
6, 57: 0.004366501678329636, 58: 0.0022116971041702227, 59: 0.007552483358934
9725, 60: 0.016427718040621268, 61: 0.21127752176139275, 62: 0.18305171530977
984, 63: 0.1756272401433692, 64: 0.1681174261819423, 65: 0.16052227342549924,
66: 0.15284178187403993, 67: 0.14507595152756445, 68: 0.13722478238607272, 6
9: 0.12928827444956478, 70: 0.12126642771804062, 71: 0.11315924219150027, 72:
0.10496671786994369, 73: 0.09668885475337088, 74: 0.08832565284178188, 75: 0.
07987711213517666, 76: 0.07134323263355521, 77: 0.06272401433691757, 78: 0.05
40194572452637, 79: 0.04522956135859362, 80: 0.03635432667690732, 81: 0.02739
3753200204814, 82: 0.01834784092848609, 83: 0.009216589861751152, 84: 0.0, 8
5: 0.0, 86: 0.009216589861751152, 87: 0.01834784092848609, 88: 0.027393753200
204814, 89: 0.03635432667690732, 90: 0.04522956135859362, 91: 0.0540194572452
637, 92: 0.06272401433691757, 93: 0.07134323263355521, 94: 0.0798771121351766
6, 95: 0.08832565284178188, 96: 0.09668885475337088, 97: 0.10496671786994369,
98: 0.11315924219150027, 99: 0.12126642771804062, 100: 0.12928827444956478, 1
01: 0.13722478238607272, 102: 0.14507595152756445, 103: 0.15284178187403993,
104: 0.16052227342549924, 105: 0.1681174261819423, 106: 0.1756272401433692, 1
07: 0.18305171530977984, 108: 0.19039085168117428, 109: 0.19764464925755248,
110: 0.2048131080389145, 111: 0.21189622802526029, 112: 0.21889400921658989,
113: 0.22580645161290325, 114: 0.2326335552142004, 115: 0.2393753200204813, 1
16: 0.24603174603174605, 117: 0.25260283324799454, 118: 0.2590885816692268, 1
19: 0.2654889912954429, 120: 0.27180406212664276, 121: 0.2780337941628264, 12
2: 0.28417818740399386, 123: 0.2902372418501451, 124: 0.29621095750128007, 12
5: 0.3020993343573989, 126: 0.3079023724185015, 127: 0.31362007168458783, 12
8: 0.31925243215565796, 129: 0.3276965027349054, 130: 0.32656840513983343, 13
1: 0.3336242979868168, 132: 0.34255764432415664, 133: 0.3534680060793738, 13
4: 0.32881129154170563, 135: 0.2956429465454052, 136: 0.30154199075089977, 13
7: 0.005287449507879605, 138: 0.0009742845764351142, 139: 0.3474462365591404,
140: 0.14507595152756445, 141: 0.13722478238607272, 142: 0.12928827444956478,
143: 0.12126642771804062, 144: 0.11315924219150027, 145: 0.10496671786994369,
146: 0.09668885475337088, 147: 0.08832565284178188, 148: 0.07987711213517666,
149: 0.07134323263355521, 150: 0.06272401433691757, 151: 0.0540194572452637,
152: 0.04522956135859362, 153: 0.03635432667690732, 154: 0.02739375320020481
4, 155: 0.01834784092848609, 156: 0.009216589861751152, 157: 0.0, 158: 0.0, 1
59: 0.009216589861751152, 160: 0.01834784092848609, 161: 0.02739375320020481
4, 162: 0.03635432667690732, 163: 0.04522956135859362, 164: 0.054019457245263
7, 165: 0.06272401433691757, 166: 0.07134323263355521, 167: 0.079877112135176
66, 168: 0.08832565284178188, 169: 0.09668885475337088, 170: 0.10496671786994
369, 171: 0.11315924219150027, 172: 0.12126642771804062, 173: 0.1292882744495
6478, 174: 0.13722478238607272, 175: 0.14507595152756445, 176: 0.152841781874
```

```

03993, 177: 0.16052227342549924, 178: 0.1681174261819423, 179: 0.175627240143
3692, 180: 0.18305171530977984, 181: 0.19039085168117428, 182: 0.197644649257
55248, 183: 0.2048131080389145, 184: 0.21189622802526029, 185: 0.218894009216
58989, 186: 0.22580645161290325, 187: 0.2326335552142004, 188: 0.239375320020
4813, 189: 0.24603174603174605, 190: 0.25260283324799454, 191: 0.259088581669
2268, 192: 0.2654889912954429, 193: 0.27180406212664276, 194: 0.2780337941628
264, 195: 0.28417818740399386, 196: 0.2902372418501451, 197: 0.29621095750128
007, 198: 0.3020993343573989, 199: 0.3079023724185015, 200: 0.313620071684587
83, 201: 0.31925243215565796, 202: 0.32479945383171194, 203: 0.33026113671274
965, 204: 0.33563748079877115, 205: 0.34092848608977644, 206: 0.3642108396524
6775, 207: 0.10374261413047885, 208: 0.0996712424515803, 209: 0.0675687180487
4881, 210: 0.03204766374889261, 211: 0.03274937215029384, 212: 0.031641186940
726145, 213: 0.028831203927210072, 214: 0.029857910906298028, 215: 0.01834784
092848609, 216: 0.009216589861751152, 217: 0.0}

```

Métricas de aproximación y agrupamiento

```

In [37]: #Coeficiente de agrupamiento promedio
Clus=nx.average_clustering(Grafo)
print(Clus)

```

```
0.012844036697247707
```

```

In [47]: #Coeficiente de agrupamiento para Los nodos
ClusGr=nx.clustering(Grafo, nodes=None,weight=None)
print(ClusGr)

```

```

{0: 0, 1: 0, 2: 0, 3: 0, 4: 0, 5: 0, 6: 0, 7: 0, 8: 0, 9: 0, 10: 0, 11: 0, 1
2: 0, 13: 0, 14: 0, 15: 0, 16: 0, 17: 0, 18: 0, 19: 0, 20: 0, 21: 0, 22: 0, 2
3: 0, 24: 0, 25: 0, 26: 0, 27: 0, 28: 0, 29: 0, 30: 0, 31: 0, 32: 0, 33: 0, 3
4: 0, 35: 0, 36: 0, 37: 0, 38: 0, 39: 0, 40: 0, 41: 0, 42: 0, 43: 0, 44: 0, 4
5: 0, 46: 0, 47: 0, 48: 0, 49: 0, 50: 0, 51: 0, 52: 0, 53: 0.13333333333333333
3, 54: 0, 55: 0, 56: 0, 57: 0, 58: 0, 59: 0, 60: 0, 61: 0, 62: 0, 63: 0, 64:
0, 65: 0, 66: 0, 67: 0, 68: 0, 69: 0, 70: 0, 71: 0, 72: 0, 73: 0, 74: 0, 75:
0, 76: 0, 77: 0, 78: 0, 79: 0, 80: 0, 81: 0, 82: 0, 83: 0, 84: 0, 85: 0, 86:
0, 87: 0, 88: 0, 89: 0, 90: 0, 91: 0, 92: 0, 93: 0, 94: 0, 95: 0, 96: 0, 97:
0, 98: 0, 99: 0, 100: 0, 101: 0, 102: 0, 103: 0, 104: 0, 105: 0, 106: 0, 107:
0, 108: 0, 109: 0, 110: 0, 111: 0, 112: 0, 113: 0, 114: 0, 115: 0, 116: 0, 11
7: 0, 118: 0, 119: 0, 120: 0, 121: 0, 122: 0, 123: 0, 124: 0, 125: 0, 126: 0,
127: 0, 128: 0, 129: 0, 130: 0, 131: 0, 132: 0, 133: 0.33333333333333333, 134:
0.33333333333333333, 135: 0, 136: 0.33333333333333333, 137: 0.33333333333333333,
138: 0, 139: 0, 140: 0, 141: 0, 142: 0, 143: 0, 144: 0, 145: 0, 146: 0, 147:
0, 148: 0, 149: 0, 150: 0, 151: 0, 152: 0, 153: 0, 154: 0, 155: 0, 156: 0, 15
7: 0, 158: 0, 159: 0, 160: 0, 161: 0, 162: 0, 163: 0, 164: 0, 165: 0, 166: 0,
167: 0, 168: 0, 169: 0, 170: 0, 171: 0, 172: 0, 173: 0, 174: 0, 175: 0, 176:
0, 177: 0, 178: 0, 179: 0, 180: 0, 181: 0, 182: 0, 183: 0, 184: 0, 185: 0, 18
6: 0, 187: 0, 188: 0, 189: 0, 190: 0, 191: 0, 192: 0, 193: 0, 194: 0, 195: 0,
196: 0, 197: 0, 198: 0, 199: 0, 200: 0, 201: 0, 202: 0, 203: 0, 204: 0, 205:
0, 206: 0.16666666666666666, 207: 0, 208: 0.33333333333333333, 209: 0.5, 210:
0.33333333333333333, 211: 0, 212: 0, 213: 0, 214: 0, 215: 0, 216: 0, 217: 0}

```

```
In [ ]:
```

Anexos

1. Lista de paradas tomadas de Google Maps

17:11	○	CETRAM Metro San Lázaro - Paradero La...
	🚏	39-A Metro San Lázaro - Bosque de Nativitas por Cafetales 1 h 8 min (60 paradas) Servicio prestado por Red de Transporte de Pasajeros
17:12	●	Avenida Ingeniero Eduardo Molina - Calzada Ignac...
17:13	●	Calzada Ignacio Zaragoza - Eje 3 Oriente Francisc...
17:14	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Cec...
17:16	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Fra...
17:17	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Lor...
17:18	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Ave...
17:20	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Met...
17:20	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Via...
17:21	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - 16 ...
17:23	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Plut...
17:24	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Del ...
17:26	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Fra...
17:27	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Tez...
17:28	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Ave...
17:29	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Apa...

17:30	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - San...
17:31	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - San...
17:32	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Eje ...
17:33	●	Eje 3 Oriente Francisco Del Paso Y Troncoso - Físi...
17:34	●	Avenida 5 - Crisóforo Salido Grijalva
17:35	●	Avenida 5 - Escuadrón 201
17:36	●	Avenida 5 - Anastasio Sarabia
17:37	●	Avenida 5 - Eje 8 Sur Calzada Ermita - Iztapalapa
17:39	●	Arneses Campesinos
17:40	●	Arneses - Ganaderos
17:42	●	Arneses - Cuauhtémoc
17:43	●	Arneses -Calzada Tasqueña
17:45	●	Carlota Armero - Canal Nacional
17:45	●	Carlota Armero - Apaches
17:47	●	Carlota Armero - Plaza Teotihuacán
17:48	●	Carlota Armero - Mariquita Sánchez
17:49	●	Carlota Armero - Manuela Sáenz
17:50	●	Carlota Armero - Calzada De La Virgen

17:51	●	Armada De México - Amacuzac
17:52	●	Armada De México - Tepetlapa
17:53	●	Armada De México - Calzada De Las Bombas
17:55	●	Armada De México - Rancho Vista Hermosa
17:57	●	Cafetales - Calzada Del Hueso
17:59	●	Cafetales - Cañaverales
18:00	●	Cafetales - Alfalfares
18:00	●	Hacienda Mazatepec - Cafetales
18:01	●	Acoxta - 2da. Cerrada De Acoxta
18:02	●	Acoxta - El Potrero
18:02	●	Acoxta - La Garita
18:03	●	Acoxta - La Teja
18:03	●	Acoxta - Canal De Miramontes
18:05	●	Canal de Miramontes - El Cántaro
18:05	●	Canal de Miramontes - Carreta
18:08	●	Prolongación División Del Norte - Periférico
18:09	●	Prolongación División Del Norte - Felipe Ángeles
18:10	●	Prolongación División Del Norte - Plan De La Noria
18:11	●	Prolongación División Del Norte - Avenida De La N...
18:12	●	Prolongación División Del Norte - San Bernardino

18:14	●	Prolongación División Del Norte - Condominio San...
18:14	●	Prolongación División Del Norte - Guadalupe I. Ra...
18:15	●	Prolongación División Del Norte - Avenida México
18:16	●	Prolongación División Del Norte - 20 De Noviembre
18:18	●	Prolongación División Del Norte - Redención
18:18	●	Francisco Goitia - Gladiolas
18:19	○	Francisco Goitia - 16 De Septiembre

20:35 ○ Ruta 81 Milpa Alta Taxqueña

🚋 **143**

Villa Milpa Alta - Metro Tasqueña

1 h 21 min (72 paradas)

Servicio prestado por Red de Transporte de Pasajeros

20:36 ● Sonora Norte - Nuevo León

20:36 ● México Oriente - Campeche

20:37 ● Avenida Nuevo León - Aguascalientes

20:37 ● Avenida Nuevo León Poniente - Tlaxcala

20:38 ● Avenida Nuevo León -Puebla Norte

20:40 ● Avenida Nuevo León - Jalisco

20:43 ● Camino A San Pedro Actopan - Carretera A Oaxtep...

20:44 ● Avenida Miguel Hidalgo - Cerrada Hidalgo

20:45 ● Avenida Miguel Hidalgo - Tlaloc

20:45 ● Avenida Niños Héroes - Avenida Miguel Hidalgo

20:46 ● Avenida Niños Héroes - Fray Bartolomé De Las Ca...

20:47 ● Avenida Niños Héroes - Carretera A Oaxtepec

20:48 ● Carretera A Oaxtepec - Camino A Minas

20:49 ● Carretera A Oaxtepec - Cuitláhuac

20:50 ● Carretera A Oaxtepec - Km. 17.5

20:57	●	Carretera A Oaxtepec - Jimenez
20:59	●	Carretera A Oaxtepec - La Herradura
21:00	●	Carretera A Oaxtepec - Santuario
21:01	●	Cuauhtémoc - Carretera A Oaxtepec
21:02	●	Cuauhtémoc - Acueducto
21:03	●	Avenida Actopan - Lazaro Cardenas
21:03	●	Avenida Actopan - Cerrada Actopan
21:04	●	Avenida Actopan - Avenida México Poniente
21:06	●	Avenida México Poniente - Avenida Chapultepec
21:07	●	Avenida Tenochtitlán - La Gallera
21:08	●	Avenida Tenochtitlán - Cuauhtémoc
21:09	●	Avenida Tenochtitlán - Ignacio Zaragoza
21:10	●	Estación 41429859
21:11	●	Avenida Tenochtitlán - La Planta
21:12	●	Avenida Tenochtitlán -Cerrada Benito Juárez
21:13	●	Avenida Tenochtitlán - Ahuhuetitla
21:13	●	Calzada Xochimilco - Tulyehualco - Margarita Maz..
21:14	●	Calzada Xochimilco - Tulyehualco - Cocoxochilt
21:14	●	Calzada Xochimilco - Tulyehualco - Desiderio Peña

21:15	●	Calzada Xochimilco - Tulyehualco - Prolongación ...
21:16	●	Calzada Xochimilco - Tulyehualco - Zacapa
21:17	●	Camino A Nativitas- Mercado
21:17	●	Camino A Nativitas - Ciclamen
21:18	●	Camino A Nativitas- Madre Selva
21:19	●	Camino A Nativitas - Lirio Acuático
21:20	●	Camino A Nativitas - 5 De Mayo
21:21	●	Prolongación División Del Norte - Ramírez Del Cas..
21:22	●	Prolongación División Del Norte - Margaritas
21:24	●	Prolongación División Del Norte - 20 De Noviembre
21:25	●	Prolongación División Del Norte - Avenida México

21:25	●	Prolongación División Del Norte - Guadalupe I. Ra..
21:27	●	Prolongación División Del Norte - Unidad Habitaci..
21:28	●	Prolongación División Del Norte - San Bernardino
21:30	●	Prolongación División Del Norte - Plan De La Noria
21:31	●	Prolongación División Del Norte - Villa De Ayala
21:32	●	Prolongación División Del Norte - Periférico
21:34	●	Canal de Miramontes - El Faro
21:35	●	Canal de Miramontes - La Vereda
21:36	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Coap..
21:37	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Abre..
21:38	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Siena
21:38	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Parma

21:40	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Ranc...
21:41	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Alam...
21:42	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Calz...
21:43	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Escu...
21:44	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Ram...
21:45	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Cirue...
21:46	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Alde...
21:47	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Teno...
21:48	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Retor...
21:50	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Calz...
21:51	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Marc...
21:52	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Aveni...
21:54	●	Eje 1 Oriente Avenida Canal de Miramontes - Calz...
21:56	○	Cetram Metro Tasqueña - Anden A

20:37	○	Eje 10 Sur - Santa Catarina
		162-D
		Santa Catarina - Metro Universidad
		1 h 31 min (84 paradas)
		Servicio prestado por Red de Transporte de Pasajeros
20:38	●	Eje 10 Sur - Ignacio Martínez
20:39	●	Eje 10 Sur - Narciso Ma. Loreto
20:40	●	Eje 10 Sur - Secundaria No. 95
20:41	●	Eje 10 Sur - Panteón Santa Catarina
20:45	●	Eje 10 Sur - Zona Ecológica



20:50	Eje 10 Sur - Estanislao Ramírez
20:51	Eje 10 Sur - Cráter Tycho
20:51	Eje 10 Sur - Montes Cáucaso
20:53	Carlos A. Vidal - Francisco Villa
20:54	Carlos A. Vidal - Everardo González
20:55	Carlos A. Vidal - Centro De Salud Dif
20:55	Vicente Guerrero - Andrés Quintana Roo
20:56	Paseo Nuevo - Ojo De Agua
20:57	Avenida Tláhuac - Ojo De Agua
20:58	Avenida Tláhuac - Benito Juárez
20:59	Avenida Tláhuac - Camino Real
21:00	Avenida Tláhuac - Frente No. 6828/Aurex
21:01	Avenida Tláhuac - Luis Delgado
21:02	Avenida Tláhuac - General F. Mendoza
21:02	Avenida Tláhuac - Felipe Ángeles
21:03	Avenida Tláhuac - 16 De Septiembre
21:04	Avenida Tláhuac - Flores Magón
21:05	Via Magdaleno Ita, 25
21:06	Magdaleno Ita - Teófilo Nore
21:06	Teófilo Nore - Rodrigo Valdez

21:07 ● Teófilo Nore - Guillermo Prieto
21:08 ● Guillermo Prieto - Andrés Nellado/Deodato
21:09 ● Guillermo Prieto - José Tartini/Agustin Romero
21:10 ● La Turba - Teposan / Lombardos
21:10 ● La Turba - Quelite / Walquirias
21:11 ● La Turba - Unidad Habitacional La Draga / Creson ...
21:11 ● La Turba - Unidad Habitacional La Draga / Alberca...
21:12 ● La Turba - Bosque Tláhuac

21:13 ● La Turba - Unidad Habitacional Villa Centro Ameri...
21:14 ● La Turba - Langosta/Don Pascuale
21:15 ● La Turba - Abulón/Aida
21:16 ● La Turba - Huachinango
21:16 ● La Turba - Gitana
21:17 ● La Turba - Piraña
21:18 ● Piraña - Derechos Democrático/ Casa Hogar
21:18 ● Piraña - Ócéano
21:19 ● Piraña - Sirena
21:19 ● Piraña - Hipocampo/Guacepil
21:20 ● Piraña - Tintorera
21:21 ● Canal De Chalco - Piraña
21:24 ● Canal Canal De Chalco - Aldama
21:25 ● Canal De Chalco - Zapata / Deportivo Gallegos
21:26 ● Canal De Chalco - Río Fuerte

21:27	●	Canal De Chalco - Río Balsas
21:28	●	Canal De Chalco - Avenida De Las Torres
21:29	●	Canal De Chalco - Calle 2
21:30	●	Canal De Chalco - Anillo Periférico Canal De Garay
21:33	●	Anillo Periférico Canal de Garay -Deportivo Xochi..
21:36	●	Anillo Periférico Canal de Garay - Cruz Roja De Cu..
21:38	●	Anillo Periférico Canal de Garay - Sauzales
21:41	●	Acoxpa - 2da. Cerrada De Acoxpa
21:42	●	Acoxpa - El Potrero
21:42	●	Acoxpa - La Garita
21:43	●	Acoxpa - La Teja
21:43	●	Acoxpa - Canal De Miramontes
21:44	●	Acoxpa - Plaza Coapa
21:46	●	Acoxpa - División Del Norte
21:47	●	Acoxpa - Calzada Guadalupe
21:48	●	Acoxpa - Las Torres
21:50	●	Acoxpa - El Bordo
21:51	●	Calzada De Tlalpan - Calzada Acoxpa
21:54	●	Calzada De Tlalpan - San Alejandro

21:55	●	Estadio Azteca - Las Flores
21:56	●	"Avenida Estadio Azteca San Benjamín"
21:56	●	San Cástulo - San Jorge
21:57	●	Santa Úrsula - San Cástulo
21:58	●	Santa Úrsula - Santo Tomás
21:58	●	Santa Úrsula - San Federico
21:59	●	Santa Úrsula - San Ricardo
21:59	●	Avenida Santa Úrsula - San Pascacio
22:00	●	Santa Úrsula - San Gabino
22:01	●	Avenida Santa Úrsula - San Guillermo
22:01	●	Rey Papatzini - Coras
22:02	●	Rey Papatzin - Chichimecas
22:02	●	Rey Papatzin - Mixtecas
22:03	●	Aztecas - Rey Topitzin
22:04	●	Aztecas - Tlatecuhtli
22:04	●	Aztecas - Felipe Madrigal
22:08	○	Terminal Cetram Metro Universidad - And..

