

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.INTRODUCCIÓN.

Network Analyst es una potente extensión del GIS ArcGIS que proporciona análisis espaciales basados en una red, incluyendo rutas de circulación, direcciones de viaje, instalaciones más cercanas y análisis de área de servicio.

El tráfico vial en las áreas urbanas es un problema constante en la ingeniería civil ya que este crece constantemente a la par de las mismas, lo cual ha producido que en diferentes países se hayan investigado miles de alternativas con el fin de hallar una respuesta eficiente para esta problemática.

El objetivo de la presente investigación es mejorar la gestión y planificación de rutas de transporte en el área urbana de manera rápida y eficiente, con la finalidad de mejorar la calidad de la circulación vial.

El uso de Network Analyst pretende realizar análisis espacial de forma automatizada, rápida y eficiente en el área de vías y medios de transporte, enfocándose en planificar la circulación y mejorar la misma sin la necesidad de implementar nuevas obras civiles.

De modo que al hacer uso de esta herramienta se pueda mejorar la calidad de los servicios de transporte los cuales forman parte fundamental del día a día de gran parte de la población.

1.2. ANTECEDENTES.

En las últimas décadas, la rápida urbanización y el crecimiento demográfico han planteado desafíos significativos para la planificación y gestión de redes de transporte urbano. La necesidad de desarrollar infraestructuras de transporte eficientes y sostenibles se ha vuelto imperativa para reducir la congestión del tráfico, minimizar el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. En este contexto, las tecnologías de sistemas de información geográfica (SIG) han emergido como herramientas poderosas para el análisis y la planificación de redes de transporte.

Una de las herramientas más avanzadas dentro de los SIG para este propósito es el Network Analyst de ArcGIS. Network Analyst permite a los planificadores y gestores del transporte realizar análisis detallados sobre redes de carreteras, caminos y otros tipos de infraestructura de transporte. Esta extensión proporciona capacidades para encontrar las rutas más cortas, calcular áreas de servicio, optimizar la ubicación de instalaciones y modelar la accesibilidad espacial.

Los estudios previos han demostrado la eficacia de Network Analyst en una variedad de aplicaciones. Por ejemplo, Tsou et al. (2013) utilizaron esta herramienta para optimizar rutas de transporte público en una gran ciudad, lo que resultó en una reducción significativa de los tiempos de viaje y una mejora en la satisfacción del usuario. Del mismo modo, Rodríguez et al. (2016) aplicaron Network Analyst para identificar ubicaciones óptimas para estaciones de bicicletas compartidas, teniendo en cuenta factores como la accesibilidad y la demanda del usuario.

Además, la capacidad de Network Analyst para integrar datos de atributos detallados, como restricciones de giro, velocidades de viaje y tipos de carreteras, permite una modelización precisa y realista de las redes de transporte. Esto es crucial para la toma de decisiones informadas en la planificación urbana. Por ejemplo, Farahani et al. (2019) demostraron cómo el uso de datos de restricciones de tráfico en tiempo real en Network Analyst puede mejorar la eficiencia de las rutas de entrega en entornos urbanos densamente poblados.

A pesar de estas aplicaciones exitosas, todavía existen áreas que requieren mayor exploración y desarrollo. La integración de datos en tiempo real, la modelización de redes multimodales y la consideración de factores socioeconómicos y ambientales son algunas de las áreas emergentes en la investigación del análisis de redes de transporte. En particular, la capacidad de analizar y optimizar redes de transporte multimodal (combinando carreteras, ferrocarriles, rutas de bicicletas, etc.) presenta oportunidades significativas para mejorar la conectividad y la sostenibilidad urbana.

En este sentido, la presente tesis se centra en el análisis y optimización de redes de transporte urbano utilizando Network Analyst en ArcGIS 10.5. El objetivo principal es desarrollar un modelo de red de transporte que permita mejorar la eficiencia y

accesibilidad del sistema de transporte urbano en una ciudad específica. Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a la planificación y gestión más efectiva de las infraestructuras de transporte, promoviendo un desarrollo urbano más sostenible y accesible para todos los ciudadanos.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

1.3.1. Académico.

La evaluación y optimización de redes viales son fundamentales para el desarrollo sostenible de las ciudades y la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. En la actualidad, la urbanización acelerada y el aumento del parque automotor han generado serios desafíos en la planificación y gestión del transporte urbano. Estos desafíos incluyen la congestión del tráfico, el aumento de los tiempos de desplazamiento, el consumo excesivo de combustible y las emisiones de gases contaminantes, que afectan negativamente tanto al medio ambiente como a la salud pública.

En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han emergido como herramientas esenciales para abordar estos problemas. Entre las diversas aplicaciones de los SIG, Network Analyst en ArcGIS se destaca por sus capacidades avanzadas para el análisis y la optimización de redes de transporte. Network Analyst permite realizar análisis detallados, como la búsqueda de rutas óptimas, la definición de áreas de servicio, la localización de instalaciones óptimas y la evaluación de la accesibilidad espacial.

Contribuciones al conocimiento existente:

Optimización de Rutas y Tiempos de Viaje: La capacidad de Network Analyst para calcular rutas óptimas puede contribuir significativamente a la reducción de tiempos de viaje y al ahorro de combustible. Esto es crucial para mejorar la eficiencia del transporte urbano y reducir el impacto ambiental, abordando así dos de los problemas más críticos de la movilidad urbana moderna.

Mejora de la Planificación Urbana: Al integrar datos geospaciales detallados y variables contextuales, Network Analyst permite una planificación más precisa y efectiva de la infraestructura vial. Esta herramienta puede ayudar a los planificadores urbanos a tomar

decisiones informadas sobre la expansión y el mantenimiento de las redes viales, contribuyendo a un desarrollo urbano más ordenado y sostenible.

Análisis de Accesibilidad: La evaluación de la accesibilidad a servicios e infraestructuras es esencial para garantizar la equidad espacial. Network Analyst facilita el análisis de áreas de servicio y la identificación de zonas desatendidas, permitiendo a los planificadores implementar mejoras en la accesibilidad y promover la equidad social.

Respuesta a Emergencias: La capacidad de calcular rutas rápidas y seguras es fundamental en situaciones de emergencia. Network Analyst puede ser utilizado para diseñar y evaluar rutas de evacuación, mejorar la respuesta de los servicios de emergencia y minimizar el tiempo de llegada en situaciones críticas.

Innovación y Relevancia:

La aplicación de Network Analyst en la evaluación de redes viales representa una innovación significativa en el campo de la planificación del transporte. Al integrar múltiples variables y restricciones en los modelos de red, esta herramienta proporciona un enfoque holístico y dinámico para la gestión del transporte urbano. Además, su capacidad para incorporar datos en tiempo real y modelar redes multimodales abre nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo de soluciones de transporte más resilientes y adaptativas.

La relevancia de esta investigación radica en su potencial para proporcionar soluciones prácticas y basadas en evidencia a problemas complejos de movilidad urbana. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados por autoridades locales, urbanistas y académicos para mejorar la infraestructura de transporte, optimizar los recursos disponibles y, en última instancia, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

En conclusión, la evaluación de redes viales utilizando Network Analyst en ArcGIS no solo ofrece beneficios prácticos inmediatos para la gestión del transporte urbano, sino que también contribuye al avance del conocimiento en el campo de los SIG y la planificación del transporte. Esta investigación justifica su importancia tanto por su impacto práctico como por su contribución académica, promoviendo un desarrollo urbano más eficiente, equitativo y sostenible.

1.3.2. Técnico.

La evaluación y optimización de redes viales es una tarea compleja que requiere el análisis detallado de múltiples variables y restricciones. Network Analyst en ArcGIS 10.5 proporciona una plataforma robusta y flexible para abordar esta complejidad, ofreciendo herramientas avanzadas de análisis espacial y modelización de redes. La justificación técnica para utilizar Network Analyst en la evaluación de redes viales se fundamenta en sus capacidades específicas y beneficios técnicos que mejoran la precisión, eficiencia y efectividad del análisis de transporte.

1. **Modelización Precisa de Redes Complejas:** Network Analyst permite la creación de modelos de red detallados que incluyen todos los componentes relevantes de la infraestructura vial, como carreteras, intersecciones, restricciones de giro, velocidades de viaje y tipos de vías. Esta capacidad de modelización precisa es crucial para realizar análisis realistas y representativos de las condiciones del mundo real.
2. **Análisis de Ruta Óptima:** la herramienta de cálculo de la ruta óptima en Network Analyst utiliza algoritmos avanzados, como el algoritmo de Dijkstra y el de A*, para encontrar las rutas más cortas o rápidas entre ubicaciones específicas. Estos algoritmos consideran múltiples factores, como la distancia, el tiempo de viaje, las restricciones de tráfico y las condiciones de las carreteras, lo que resulta en recomendaciones de rutas altamente optimizadas.
3. **Evaluación de Áreas de Servicio:** Network Analyst permite definir y analizar áreas de servicio en función de distancias de viaje o tiempos de viaje. Esta funcionalidad es esencial para evaluar la accesibilidad de servicios e infraestructuras, identificar zonas desatendidas y planificar la expansión de la red vial para mejorar la cobertura y accesibilidad.
4. **Análisis de Localización-Asignación:** la herramienta de localización-asignación de Network Analyst permite optimizar la ubicación de instalaciones, como centros de distribución, estaciones de servicio o puntos de emergencia, en función de la demanda y la accesibilidad. Este tipo de análisis ayuda a maximizar la eficiencia operativa y minimizar los costos de transporte.

5. Integración de Datos en Tiempo Real: Network Analyst puede integrar datos en tiempo real, como actualizaciones de tráfico, condiciones de las carreteras y eventos imprevistos, para realizar análisis dinámicos y adaptativos. Esta capacidad es vital para la planificación de rutas en situaciones de emergencia y para la gestión del tráfico en tiempo real.

6. Soporte Multimodal: la herramienta soporta análisis de redes multimodales, lo que permite combinar diferentes modos de transporte, como vehículos, bicicletas y transporte público, en un único modelo de red. Esto es esencial para desarrollar soluciones de transporte integradas y sostenibles que mejoren la movilidad urbana.

7. Capacidades de Simulación y Escenarios: Network Analyst permite la creación y evaluación de múltiples escenarios de transporte, facilitando la simulación de cambios en la infraestructura vial, la implementación de nuevas políticas de tráfico y la evaluación de sus impactos. Esta capacidad de simulación es crucial para la toma de decisiones informadas y la planificación a largo plazo.

8. Interfaz Intuitiva y Herramientas de Visualización: ArcGIS 10.5 proporciona una interfaz de usuario intuitiva y herramientas de visualización avanzada que facilitan la interpretación y comunicación de los resultados del análisis. Los mapas temáticos, gráficos y reportes generados por Network Analyst son herramientas efectivas para la presentación de resultados a las partes interesadas.

1.3.3. Social.

La red vial de una ciudad es fundamental para la movilidad de sus habitantes, la accesibilidad a servicios esenciales y la equidad social. La evaluación y optimización de estas redes, utilizando herramientas avanzadas como Network Analyst en ArcGIS 10.5, tiene profundas implicaciones sociales que justifican su implementación. La mejora de las redes viales no solo facilita el transporte eficiente, sino que también promueve el bienestar general, la inclusión social y el desarrollo sostenible.

1. Mejora de la Movilidad y Accesibilidad: la movilidad eficiente es esencial para que las personas puedan acceder a oportunidades económicas, educativas y recreativas. Network Analyst permite identificar y optimizar rutas, reduciendo tiempos de viaje y mejorando la conectividad entre diferentes partes de la ciudad. Esto es especialmente importante para

las comunidades marginadas o en áreas periurbanas que a menudo enfrentan desafíos de accesibilidad. Al mejorar las redes viales, se facilita el acceso a trabajos, escuelas, hospitales y otros servicios esenciales, promoviendo la inclusión social y económica.

2. Equidad Espacial: una red vial bien planificada debe servir a todos los segmentos de la población por igual. Sin embargo, en muchas ciudades, ciertas áreas, particularmente aquellas habitadas por poblaciones de bajos ingresos, tienen acceso limitado a infraestructuras de transporte de calidad. Utilizando Network Analyst, los planificadores pueden identificar áreas con déficits de servicio y diseñar intervenciones que mejoren la equidad espacial. Esto asegura que todas las comunidades, independientemente de su ubicación o nivel socioeconómico, tengan acceso justo y equitativo a la red de transporte.

3. Reducción de la Congestión y Mejora de la Calidad de Vida: la congestión del tráfico no solo afecta la eficiencia del transporte, sino que también tiene impactos negativos en la salud pública y el bienestar general. La exposición prolongada a la contaminación del aire y el ruido del tráfico está asociada con problemas de salud como enfermedades respiratorias y estrés. Al utilizar Network Analyst para optimizar la red vial, es posible reducir la congestión, disminuyendo así la exposición a contaminantes y mejorando la calidad de vida de los residentes urbanos.

4. Respuesta Rápida en Situaciones de Emergencia: la capacidad de calcular rutas óptimas y accesibles es crucial durante emergencias, como desastres naturales o incidentes de seguridad. Network Analyst puede ser utilizado para planificar rutas de evacuación eficientes, garantizar el acceso rápido de servicios de emergencia y minimizar el tiempo de respuesta. Esto es vital para proteger vidas y reducir el impacto de las emergencias en las comunidades.

5. Promoción de un Transporte Sostenible: el fomento de modos de transporte sostenibles, como el transporte público, el ciclismo y el caminar, es esencial para reducir la huella de carbono de las ciudades. Network Analyst permite integrar y optimizar redes multimodales, promoviendo una mayor utilización de modos de transporte sostenibles. Esto no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también mejora la salud pública al reducir las emisiones de gases contaminantes.

6. Participación Comunitaria y Transparencia: la implementación de herramientas avanzadas de análisis como Network Analyst facilita la visualización y comunicación de planes de transporte a las comunidades. Esto fomenta la participación pública en el proceso de planificación, asegurando que las voces de todos los grupos demográficos sean escuchadas y consideradas. La transparencia en la toma de decisiones aumenta la confianza pública y fomenta un sentido de pertenencia y responsabilidad compartida en la mejora de la infraestructura urbana.

1.4.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.4.1. Situación Problémica.

El Network Analyst de ArcGIS, es una herramienta que nos brinda una alternativa rápida y eficiente para el análisis de redes viales considerando las necesidades de los usuarios, como ser rutas optimizadas de acuerdo al tiempo y distancia, el área intervención de una línea de transporte en un determinado tiempo y la determinación de zonas en las cuales se requiere la presencia de una línea de transporte en relación a las demás.

El análisis de redes viales mediante el Network Analyst se define como una herramienta que contribuirá al mejoramiento de la planificación y el planteamiento de las rutas de transporte público analizando todas las alternativas en base a lo requerido por los usuarios.

Dado el alto crecimiento y expansión de la mancha urbana en el lado oeste de la ciudad de Tarija, los problemas de tráfico vehicular no han hecho más que aumentar de modo que al no realizar una adecuada planificación estos aumentarán a tal punto que las vías de circulación se saturen por completo.

Es necesario realizar el análisis mediante Network Analyst y así conocer la situación actual sobre cómo trabajan las líneas de transporte público actualmente y asimismo poder plantear como estas pueden mejorar la calidad del servicio que prestan.

1.4.2.Delimitación Temporal.

La investigación se realizará a partir de un diagnóstico en tiempo presente de las líneas de transporte que operan en el área de intervención.

1.4.3.Delimitación Espacial.

El desarrollo de la investigación tiene por objeto analizar todas las líneas de transporte público pertenecientes al distrito 13 de la ciudad de Tarija, siendo la base de operaciones el propio SIG (ArcGIS) en cual se encuentra la herramienta.

1.4.4. Formulación del Problema.

¿De qué manera el uso de Network Analyst ayuda a realizar el análisis de las líneas de transporte pertenecientes al distrito 13 de la ciudad de Tarija?

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. Objetivo General.

Analizar las condiciones que requiere el Network Data Set en la determinación de rutas óptimas; considerando su aplicación en el área Urbana de la ciudad de Tarija; en tal sentido, se pueda identificar los factores de mejoramiento en el flujo vehicular.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Determinar las longitudes de rutas y tiempos de recorrido de las rutas de transporte público en operación en el distrito 13 de la ciudad de Tarija.
- Construir capas vectoriales georreferenciadas con SIG, en la digitalización de las vías de circulación del distrito 13.
- Elaborar el network dataset con la correspondiente configuración de parámetros y funciones de análisis.
- Analizar las discrepancias al comparar los datos de las rutas de transporte público en actual operación con el modelo elaborado en Network Analyst.
- Analizar la confiabilidad de los resultados proporcionados por Network Analyst.

1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y SUS VARIABLES.

1.6.1. Formulación de la Hipótesis

Con ayuda de Network Analyst se optimiza el flujo vehicular de las rutas urbanas de la ciudad de Tarija.

1.6.2. Conceptualización y Operacionalización de Variables.

Variable dependiente: Condición del flujo vehicular urbano.

Tabla N.º 1 Análisis de variables.

Análisis redes viales				
Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
Condición del flujo vehicular urbano	Es la situación en la cual se encuentra una vía determinada por cuantos vehículos pasan en un determinado tiempo	Velocidad	m/s	Por normas
		Volumen de tránsito	Veh/hr	Medido en las rutas de transporte
		Densidad	Veh/m	Medida en horas específicas

1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.

El alcance real de la presente investigación se realiza de acuerdo a la identificación de una sola variable, como se muestra en la Figura 1 del Anexo A.

En este caso se trata de una sola variable dependiente, que son las rutas de transporte público, de modo que la investigación corresponde a un nivel descriptivo, por lo tanto, responde a un tipo de diseño no experimental transeccional dado que la información se realizará en un momento único.

1.8. CRITERIOS DE DISEÑO METODOLÓGICO.

1.8.1. Unidad de Muestra, Población y Muestra.

- Unidad de muestra: Ruta de transporte público.
- Población: Todas las rutas de transporte público en la ciudad de Tarija.
- Muestra: Todas las rutas de transporte público que ingresan en el distrito 13 de la ciudad de Tarija.

1.8.2. Tamaño de la Muestra.

La muestra estará determinada de acuerdo a un modelo de muestreo por conveniencia dado que la investigación requiere la obtención de los elementos de la población específicos relacionados al área de intervención, de modo que el criterio de conveniencia para este muestreo estará sujeto a que el desarrollo de la investigación realizarse en un plazo de seis meses.

Se requiere analizar las rutas de transporte público que ingresan en el distrito 13 de la ciudad de Tarija, de modo que para la obtención de datos se considerarán solo las rutas de transporte a partir de los puntos de ingreso al distrito.

Los medios de transporte público en cuestión estarán compuestos tanto por los vehículos de transporte pesado como los vehículos de transporte liviano.

Al ser un modelo de muestreo por conveniencia los datos se seleccionaron bajo el criterio del investigador.

De modo que la muestra serán todas las rutas de transporte público que se encuentran dentro del área demarcada, considerándolas desde que ingresan al área de intervención hasta que la abandonan, como se muestra en la Figura 2 del Anexo A.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.MARCO CONCEPTUAL

2.1.1.Introducción a la Planificación Vial.

La movilidad urbana cada vez está sometida a un mayor número de demandas (ambientales, sociales, urbanas, tecnológicas, modales, etc.), cuya respuesta radica en buena parte, en la generación de métodos integradores de aquellas dimensiones influyentes en la movilidad, tanto a nivel conceptual y metodológico, como a nivel instrumental. Desde la literatura especializada, se apunta a que la búsqueda de una integración efectiva entre elementos de la estructura urbana de la ciudad y sus patrones de viaje, es determinante para afrontar estas demandas, tal y como señalan diferentes autores a nivel nacional, internacional o gubernamental. Señalar este aspecto, significa opinar que la estructura urbana y los patrones de viaje están recíprocamente relacionados, de manera que tomar medidas que favorezcan situaciones de equilibrio entre ambos fomentaría externalidades positivas, tales como, facilidad de acceso a actividades, empleos, equipamientos, mejoras en los estándares de vida, etc. Por otro lado, alejarnos de situaciones de equilibrio supondría fomentar externalidades negativas, por ejemplo: congestión, polución, estrés, etc. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

El hecho de que la planificación y evaluación de la movilidad tienda a oscilar en el momento actual, desde modelos de predicción de la demanda de viajes a modelos de gestión de éstos, exige la necesidad de valorar de forma conjunta estructura urbana y patrón de viaje, por tanto, resulta evidente conocer en profundidad las interrelaciones entre ambos aspectos, así como, desarrollar conceptos y métodos que fortalezcan una perspectiva integrada, esencialmente en fases tempranas del proceso de planificación, lo que reforzaría la integración de este binomio como elemento nuclear de la toma de decisiones. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

2.1.2. Entorno de Movilidad en Planificación Vial.

La aplicabilidad está relacionada con la capacidad del concepto para ser útil en el proceso de toma de decisiones, además de exportable a contextos y ámbitos diferentes de los utilizados originalmente. En este sentido, la aplicabilidad se buscará a través de la espacialidad como elemento operativo del entorno de movilidad. Uno de los problemas identificados en una parte importante de las investigaciones que se ocupan de estudiar la relación entre estructura urbana y patrón de viaje, es su débil dimensión espacial, lo que hace difícil que tengan una aplicación directa para parte de planificadores y decisores. Por consiguiente, el entorno de movilidad debe tener una connotación espacial, física, sobre la cual el planificador pueda evaluar, diagnosticar, planificar y decidir. Es decir, el entorno de movilidad será un ámbito espacial. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

La segunda característica importante debe ser su sencillez, la cual está directamente relacionada con su aplicabilidad. Las investigaciones consultadas tienden a valorar el binomio «estructura urbana-patrón de viaje» desde el uso de métodos sofisticados, vinculados generalmente a la estadística multivariante, lo que hace difícil su aplicación directa en el proceso de planificación. De este modo, se pensará que el método sencillo para identificar entornos de movilidad no requeriría el uso de tratamientos estadísticos complejos, usos de softwares especializados, etc., de modo que esté fácilmente al alcance tanto de planificadores y decisores, como de la comunidad investigadora para su estudio y optimización. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

La tercera dimensión relevante del concepto tiene que ver con su capacidad para basarse en el conocimiento previo sobre la relación entre estructura urbana y patrón de viaje. En el desarrollo se ha hecho una revisión de algunas de las características principales y variables más influyentes a la hora de entender las reciprocidades existentes entre ambos elementos. Por tanto, resulta evidente que la búsqueda e identificación de entornos de movilidad debe responder a esa lógica y fuente de conocimiento. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

En último lugar, el entorno de movilidad debe ser un concepto flexible, capaz de operar en ámbitos escalares, competenciales y contextuales diferentes, siendo útil tanto en

sistemas de planificación donde la componente técnica tiene un papel preponderante como en aquellos de menor escala donde prima la dimensión política de la intervención (Alexander et al., 2009), como sería el caso de las áreas metropolitanas. En términos generales, el entorno de movilidad sería útil tanto dentro como fuera de las ciudades (Faludi, 2000). Por ello, su definición debe ser lo suficientemente clara para un amplio abanico de factores y variables que se interrelacionan de tal forma que resulten en un contexto dinámico de los posibles usuarios finales. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

Partiendo de las consideraciones anteriores, el entorno de movilidad es definido como aquella unidad espacial operativa para la planificación y evaluación, resultante de una valoración integrada de factores de la estructura urbana y del patrón de viaje, capaz de aportar información sobre las siguientes cuatro dimensiones:

- a) Urbanística: relacionada con aquellos elementos de la estructura urbana que tienen incidencia sobre el patrón de viaje.
- b) Ambiental: vinculada a la eficiencia de la movilidad en el uso del espacio y la energía.
- c) Socio-económica: relacionada con factores que pueden influir en el comportamiento a la hora de seleccionar determinados modos de transporte.
- d) Modal: que tiene que ver con aspectos vinculados al patrón de viaje, tales como, dotación de transporte público, tráfico privado, rutas peatonales, etc.

Para contextualizar mejor la definición conceptual de entorno de movilidad, conviene mencionar algunos trabajos basados en la identificación de unidades espaciales, como elementos sobre los que articular u orientar la toma de decisiones en el campo de la movilidad. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

2.1.3.Movilidad Urbana Sostenible.

La incorporación del concepto de sostenibilidad a la movilidad ha llevado a la formulación de varias definiciones de movilidad sostenible, en general coincidentes en los principales aspectos: la necesidad de que se provea a todas las personas de acceso a bienes, servicios, fuentes de trabajo y redes sociales, a la vez que se limiten los impactos negativos de la movilidad, a corto y largo plazo, en los aspectos medioambientales, sociales y

económicos. El concepto de movilidad sostenible surge como un nuevo paradigma a la hora de entender la relación entre la movilidad y ciudad, y plantea que es imprescindible fortalecer el vínculo entre la planificación de los usos de suelo y la movilidad.

Se puede considerar que la movilidad sostenible es aquella que:

- Limita las emisiones de gases de generación de residuos, minimiza el consumo de energías no renovables, reúsa y recicla sus componentes, minimiza el uso del espacio y la generación de ruidos.
- Es un sistema económicamente accesible, opera de forma eficiente, ofrece alternativas en cuanto a modos de viaje, y colabora con el desarrollo de la economía y competitividad de las ciudades y regiones.
- Permite el acceso a la ciudad y a la satisfacción de las necesidades de los individuos, empresas y sociedades, de forma segura equitativa (teniendo en cuenta aspectos socioeconómicos, de género, capacidades diferentes, etc.), dentro de cada generación y considerando futuras generaciones.

El concepto de movilidad sostenible implica un cambio en la priorización de los modos de desplazamiento. (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2021)

2.1.4. Metodologías de Planificación Vial.

Estudios de tráfico: la movilidad sostenible proporciona un paradigma alternativo dentro del cual investigar la complejidad de las ciudades y fortalecer los vínculos entre el uso del suelo y el transporte. La ciudad es la forma urbana más sostenible y debe proporcionar la ubicación donde vivirá la mayor parte de la población mundial (70-80%). La investigación empírica ha concluido que los parámetros clave de la ciudad sostenible son que debe tener más de 25,000 habitantes (preferiblemente más de 50,000), con densidades medias (más de 40 personas por hectárea), con desarrollos de uso mixto y con preferencia por desarrollos en corredores accesibles al transporte público y cerca de intercambios altamente accesibles al transporte público. Tales desarrollos se ajustan a los requisitos de las economías basadas en servicios e información. Los asentamientos de este tamaño también estarían vinculados para formar aglomeraciones de ciudades policéntricas, con

jerarquías claras que permitirían una proximidad cercana de las instalaciones cotidianas y altos niveles de accesibilidad a actividades de orden superior. (Banister, 2007)

El análisis convencional del transporte se basa en la premisa de que el viaje es un costo y que los tiempos de viaje deben ser lo más cortos posible. Pero esto está cambiando, ya que la nueva tecnología permite una flexibilidad mucho mayor en el tiempo de viaje, incluyendo el trabajo móvil. (Banister, 2007)

Hay una contradicción entre el deseo de acelerar y el deseo de desacelerar el tráfico. Para fines de evaluación, gran parte del beneficio para el usuario (a menudo más del 80% de los beneficios totales) se deriva de los ahorros en el tiempo de viaje y el deseo de viajar más rápido. (Banister, 2007)

Modelos de simulación de tráfico: los modelos de simulación de tráfico son herramientas computacionales que permiten a los planificadores viales predecir cómo se comportará una red de transporte bajo diferentes condiciones. Estos modelos utilizan datos sobre patrones de tráfico, infraestructura vial y comportamientos de los conductores para generar predicciones sobre los flujos de tráfico y las congestiones. (Banister, 2007)

Estos puntos son importantes para comprender la justificación detrás del análisis del transporte, ya que muchos de los métodos utilizados no pueden manejar el viaje como una actividad valorada o la fiabilidad del tiempo de viaje. Pero también tienen importantes implicaciones para la planificación del transporte, si se va a abrazar los conceptos de una movilidad sostenible. Las principales preocupaciones sobre las dimensiones físicas (forma urbana y tráfico) deben equilibrarse con las dimensiones sociales (personas y proximidad). (Banister, 2007)

El papel de la tecnología es importante, ya que impacta directamente en la eficiencia del transporte al asegurar que se utilice la mejor tecnología disponible en términos de diseño de motores, combustibles alternativos y el uso de fuentes de energía renovable. También se pueden introducir estándares para reducir los niveles de ruido y emisiones en el origen, y se pueden tomar medidas para asegurar que el acceso a ciertas partes de la ciudad esté restringido a aquellos vehículos que se consideren ambientalmente más limpios que otros. (Banister, 2007)

Análisis Costo Beneficio: la movilidad urbana cada vez está sometida a un mayor número de demandas (ambientales, sociales, urbanas, tecnológicas, modales, etc.), cuya respuesta radica en buena parte, en la generación de métodos integradores de aquellas dimensiones influyentes en la movilidad, tanto a nivel conceptual y metodológico, como a nivel instrumental. Desde la literatura especializada, se apunta a que la búsqueda de una integración efectiva entre elementos de la estructura urbana de la ciudad y sus patrones de viaje, es determinante para afrontar estas demandas. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

El análisis costo-beneficio es una técnica utilizada en la planificación vial para evaluar la viabilidad de un proyecto. Este análisis compara los costos de construir y mantener una infraestructura con los beneficios que proporcionará, como la reducción en los tiempos de viaje, el ahorro en combustible o la mejora en la calidad de vida. (Banister, 2007)

Participación ciudadana: la aceptación pública impulsa la aceptación política, y solo cuando hay suficiente apoyo público para el cambio se lleva a cabo la acción. Por ejemplo, ahora se reconoce que la congestión es una restricción importante para la calidad de vida de las personas y para la eficiencia de los negocios. Cada vez más, las encuestas de opinión pública en la UE indican que el cambio es esencial y que se espera acción. Tanto el público en general como las empresas apoyan la prioridad de los modos de transporte ambientalmente amigables, e incluso los responsables de la toma de decisiones están de acuerdo (los niveles de apoyo suelen ser alrededor del 80%). Sin embargo, las mismas personas son menos positivas en cuanto a su percepción del apoyo de los demás (por ejemplo, la percepción del público sobre las opiniones de los políticos) hacia las mismas políticas (generalmente alrededor del 40%). Esto sugiere que podría haber una mayor disposición de la esperada para experimentar con políticas para reducir la longitud de los viajes, combinar viajes, cambiar de modos de transporte o incluso cancelar viajes y reducir la necesidad de usar el automóvil. (Banister, 2007)

2.1.5. Planificación Vial Sostenible.

2.1.5.1. Concepto de Movilidad Sostenible.

La movilidad sostenible es un enfoque de la planificación vial que busca reducir el impacto ambiental de los sistemas de transporte mientras se garantiza la accesibilidad y la

eficiencia. Este concepto promueve el uso de modos de transporte menos contaminantes, como el transporte público, la bicicleta y caminar, y el desarrollo de infraestructuras que minimicen la dependencia de los vehículos privados. (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2021)

2.1.5.2.Estrategias de planificación vial sostenible.

El nuevo concepto de movilidad sostenible implica una revisión del concepto tradicional del transporte. La planificación del transporte ha tenido como objeto de estudio los viajes realizados en vehículos particulares, y por ende se ha concentrado en el aumento de la capacidad de las vías, y en la maximización de las distancias y velocidades de los desplazamientos de los mismos. Por el contrario, el nuevo concepto de movilidad, más amplio e integral, tiene como foco a las personas mismas y sus características particulares, y considera todos los modos de desplazamiento. (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2021)

Es así que la incorporación del concepto de movilidad sostenible en la planificación urbana implica un cambio en la forma de entender y abordar las necesidades de desplazamiento de la población. Dentro de este nuevo paradigma, no se considera suficiente tener en cuenta solamente los movimientos de algunos vehículos motorizados, sino que se requiere la comprensión de todo el conjunto de modos de desplazamiento, desde el peatón, la bicicleta, el transporte colectivo, además de los vehículos motorizados privados y la logística. Y, principalmente, se plantea como esencial asegurar la capacidad de las personas de acceder a los lugares que necesitan o desean llegar, lo que surge de la interacción del transporte, la forma urbana y los aspectos individuales de hogares y personas. Por ende, se debe analizar y entender los factores que generan las necesidades de desplazarse que tienen los individuos. Estos factores tienen que ver con elementos económicos, institucionales, sociales y culturales, y también se ven afectados por las características de la ciudad y de cada individuo. (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2021)

2.1.6. Análisis de Casos de Estudio en Planificación Vial.

2.1.6.1. Caso de estudio: planificación vial en ciudades inteligentes.

Las ciudades inteligentes son aquellas que utilizan tecnología avanzada para mejorar la eficiencia de sus sistemas de transporte. En este tipo de ciudades, la planificación vial se integra con tecnologías de sensores y datos en tiempo real para gestionar el tráfico de manera dinámica y reducir la congestión. Un caso de estudio típico puede ser el uso de sistemas de control de tráfico en tiempo real en ciudades como Singapur o Barcelona. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

2.1.6.2. Caso de estudio: planificación vial en ciudades en crecimiento.

El rápido crecimiento urbano en ciudades de países en desarrollo plantea desafíos únicos para la planificación vial. Un ejemplo relevante es la planificación vial en ciudades como Lagos o Ciudad de México, donde la congestión y la falta de infraestructuras adecuadas son problemas críticos. Aquí se pueden estudiar soluciones implementadas, como la construcción de redes de transporte público masivo (BRT) y la modernización de infraestructuras viales. (Julio A Soria-Lara - Luis Miguel Valenzuela Montes, 2014)

2.1.7. Sistemas de Información Geográfica

2.1.7.1. Definición de los SIG.

Existen multitud de definiciones, un SIG es un conjunto de herramientas destinadas a la captura, almacenamiento, tratamiento, análisis, consulta y visualización de datos espaciales extraídos del mundo real para unos fines concretos. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

La captura de la información es la fase inicial en la creación de un SIG. El éxito del sistema dependerá de la calidad de los datos espaciales. Conviene conocer exhaustivamente las fuentes de datos empleadas. Generalmente se combina información procedente de diversas fuentes, pudiendo ser vectoriales o raster. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

El tratamiento de la información capturada sirve para estructurarla y uniformarla, según el modelo de datos relacional diseñado para su posterior explotación. La consulta y el análisis, apoyándose en los datos, sirven para la toma de decisiones. La difusión de los resultados es la finalidad del SIG. Las primeras difusiones se centraban en la producción

cartográfica impresa, pero los avances tecnológicos actuales facilitan la creación de servicios de IG y funcionalidad SIG en la Red. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

En resumen, un SIG es un sistema informático (software y hardware) que gestiona una base de datos con información espacial georreferenciada. A diferencia de los sistemas CAD, un SIG relaciona información geométrica (puntos, líneas, áreas, sólidos etc.), con información temática procedente de una base de datos. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

2.1.7.2.Historia y evolución de los SIG.

Los avances tecnológicos de las dos últimas décadas han supuesto importantes mejoras en los SIG. Estos cambios, apenas han afectado a sus principios básicos, pero han ampliado su ámbito de aplicación y expandido su uso a través de Internet, aumentando la comunidad de usuarios productores y consumidores. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

Hoy en día, un SIG es una potente aplicación informática de gestión de información espacial que funciona bajo una multitud de dispositivos fijos y móviles, e intercambia información con otras fuentes a través de Internet. También se han convertido en un servicio de IG que suministran datos a las IDE a través de Internet. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

2.1.7.3.Componentes de los SIG.

Al tratarse de un sistema informático, un SIG está compuesto de herramientas software y datos alojados en un hardware o componente físico este último conformado por:

- El equipo informático PC o estación de trabajo,
- Las unidades de almacenamiento masivo que guarden la IG,
- Los sistemas para la salida y representación de los datos (pantallas, impresoras o trazadoras),
- Las redes informáticas que permitan la comunicación y el intercambio de información con otros sistemas.

El software o componente lógico de un SIG está compuesto generalmente por dos tipos de aplicaciones que trabajan conjuntamente: la base de datos y el software SIG. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

2.1.8.Fundamentos Teóricos de los SIG.

2.1.8.1.Geografía espacial y la ciencia de los datos geoespaciales.

Hoy día existen diferentes métodos y técnicas modernas para la elaboración de productos cartográficos o geográficos. No obstante, no hay que olvidar que desde la antigüedad han tenido gran importancia los diferentes métodos astronómicos y geodésicos utilizados para conocer la forma y dimensiones de la tierra y el espacio, sin olvidar la importancia que tuvieron en la navegación. También han sido de gran relevancia en la construcción de los grandes imperios de la antigüedad, tanto en la edificación de obras complejas de ingeniería, en el diseño y construcción de grandes sistemas de irrigación como en la cartografía catastral. Asimismo, existen grandes obras realizadas por cartógrafos de diferentes épocas, donde se observa cómo se trataba la cartografía como un arte. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

De este modo, la astronomía, geodesia, topografía y cartografía han tenido un lugar muy importante en el desarrollo de las diferentes civilizaciones de la antigüedad y del presente. Así, las necesidades constructivas, el interés por documentar y dar a conocer lo desconocido, la necesidad de explorar e inventariar la tierra y otros cuerpos celestes, la permanente lucha por planear y/o predecir diferentes eventos futuros, así como el desarrollo de la técnica y la tecnología, ha hecho que las ciencias sigan avanzando a grandes velocidades, en ocasiones inalcanzables por sus estudiosos. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

En la actualidad es posible cartografiar objetos sin necesidad de conocerlos físicamente, con ayuda de técnicas como la fotogrametría y la teledetección; medir distancias, desniveles y ángulos de manera electrónica y digital o conocer la posición de objetos y personas con la ayuda de un GNSS. Aquí es donde se observa el desarrollo de la electrónica y la sinergia que guarda con las geociencias. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

El desarrollo de la cartografía en el siglo XX experimentó grandes avances desde los insumos que se utilizan hasta el desarrollo de programas automatizados para su diseño y elaboración. En este sentido, los adelantos de fotografía aérea y la puesta en órbita de satélites artificiales para la observación de la tierra han permitido generar cartografía de gran exactitud y de grandes extensiones de la superficie de la tierra. Así como estas técnicas aparecieron o evolucionaron en las últimas décadas del siglo XX, también surgió la necesidad de desarrollar software específico para manipular la ingente cantidad de información geoespacial que se puede obtener por estos medios. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

En particular, la teledetección ha tenido un gran desarrollo en cuanto a la puesta en marcha de diferentes misiones espaciales, que han tenido una amplia aceptación en la comunidad científica, desarrollándose una gran cantidad de proyectos regionales, nacionales y globales. Asimismo, han aparecido diferentes programas para la manipulación y análisis de dicha información digital, algunos de carácter comercial sin perjuicio de otros de carácter académico y científico. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

Del mismo modo, son tales las exigencias actuales en la generación y distribución de datos geográficos digitales que es necesario contar o diseñar infraestructuras para difundir o acceder a dicha información geoespacial en medios electrónicos como Internet. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

2.1.8.2.Representación de datos espaciales.

Los datos espaciales en los SIG se representan comúnmente de dos formas:

Datos vectoriales: Representan objetos geográficos mediante puntos, líneas y polígonos. Los puntos pueden representar ubicaciones específicas, las líneas pueden representar rutas (como carreteras o ríos), y los polígonos pueden representar áreas (como países o parcelas). (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

Datos raster: Son matrices de celdas, donde cada celda representa un valor en una localización específica. Los datos raster son particularmente útiles para representar

fenómenos continuos, como la elevación, la temperatura o la vegetación. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

2.1.8.3. Proyecciones cartográficas y sistemas de coordenadas.

Para utilizar Información Geográfica (IG) georreferenciada en una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), es necesario comprender conceptos de la Geomática y de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). La IG se basa en datos del mundo real que requieren un sistema de referencia y un sistema de coordenadas para su representación. La georreferenciación, que incluye coordenadas de latitud, longitud y a veces altura, permite correlacionar y superponer IG de diferentes fuentes. Aunque las coordenadas de latitud y longitud son ampliamente conocidas, la distancia de un grado de longitud varía según la latitud. Para corregir estas variaciones, se han desarrollado sistemas de proyección y de coordenadas, como el sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), ampliamente utilizado en SIG, IDE y en la captura de datos geográficos con GNSS. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

Para localizar puntos en relación con otros, se emplean sistemas de coordenadas como el geográfico (latitud y longitud) y el plano (coordenadas cartesianas x, y), usando el elipsoide de revolución como referencia. Al proyectar coordenadas tridimensionales en un mapa bidimensional, se generan distorsiones en ángulos, áreas o distancias, según el tipo de proyección: conforme (mantiene ángulos), equivalente (mantiene áreas) o equidistante (mantiene distancias). Las proyecciones se clasifican en acimutales, cilíndricas y cónicas, dependiendo de la Figura geométrica sobre la que se proyecta la superficie terrestre. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

2.1.9. Funcionalidades de las Herramientas de un SIG.

2.1.9.1. Captura y recolección de datos espaciales.

Los términos "dato" e "información geográfica (IG)" suelen usarse como sinónimos, aunque tienen diferencias: un dato es una observación bruta y con posibles errores, mientras que la IG es información elaborada que ayuda a reducir la incertidumbre sobre el mundo. La IG se crea cuando los datos se organizan, consultan o combinan. Existen cuatro tipos de datos geográficos: puntuales, lineales, zonales y volumétricos. Estos datos se caracterizan por su posición (ubicación en un sistema de coordenadas), atributos

temáticos (características de la entidad), tiempo (momento del hecho) y relaciones espaciales (conexiones con otras entidades). Además, se considera la dimensión del objeto geográfico, que puede ser puntual, lineal, superficial o volumétrico. En el contexto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la IG se organiza horizontalmente (según tamaño y escala de los mapas) y verticalmente (en capas o "layers"). Existen dos modelos para representar la IG: el modelo raster, que utiliza celdas o píxeles, y el modelo vectorial, que define los objetos geográficos en puntos, líneas y polígonos. Levantamientos topográficos: Utilizados para obtener datos detallados de elevación y características físicas del terreno. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

Imágenes satelitales: Proporcionan vistas detalladas del paisaje y son útiles para el monitoreo de fenómenos a gran escala, como el uso de la tierra, la deforestación o el crecimiento urbano, GPS (Sistema de Posicionamiento Global): Permite la recolección precisa de ubicaciones geográficas en tiempo real, Drones y sensores remotos: Tecnologías emergentes para la recolección de datos geoespaciales de alta precisión. (Miguel A. Bernabé Poveda - Carlos M. López Vázquez, 2012)

2.1.9.2.Gestión y almacenamiento de datos espaciales.

Los SIG gestionan grandes volúmenes de datos mediante bases de datos espaciales (geobases de datos), que permiten almacenar información de manera eficiente y realizar consultas espaciales. Estas bases de datos facilitan el acceso y la manipulación de datos, permitiendo análisis y visualizaciones rápidas y efectivas. (ESRI, 2021)

2.1.9.3.Análisis espacial.

Los SIG proporcionan herramientas avanzadas para el análisis espacial, como la interpolación, que predice valores en áreas no muestreadas; el análisis de proximidad, que mide la cercanía entre objetos espaciales; el análisis de superposición, que combina capas para identificar relaciones entre variables; y los modelos de red, empleados para estudiar redes de transporte, recursos y flujos en sistemas complejos. (ESRI, 2021)

2.1.9.4.Visualización de datos geoespaciales.

La capacidad de visualización de los SIG permite representar datos complejos en mapas y gráficos fáciles de interpretar. Esta funcionalidad es clave para la toma de decisiones,

ya que permite identificar patrones, tendencias y anomalías de manera intuitiva. (ESRI, 2021)

2.1.10.Aplicaciones de los SIG.

2.1.10.1.Planificación urbana y ordenamiento territorial.

Uno de los campos más importantes de aplicación de los SIG es la planificación urbana. Los planificadores utilizan los SIG para diseñar y gestionar el desarrollo de ciudades, analizando el uso del suelo, la densidad poblacional, las redes de transporte y las infraestructuras de servicios. Los SIG permiten prever el impacto del crecimiento urbano y proponer soluciones sostenibles. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.10.2.Gestión de recursos naturales.

Los SIG son esenciales para la gestión de recursos naturales, como el agua, la tierra y los bosques. Permiten monitorear cambios en los ecosistemas, evaluar la salud de los recursos hídricos, y realizar análisis de impacto ambiental. La capacidad de los SIG para manejar datos temporales también facilita la evaluación de cambios a lo largo del tiempo, como la deforestación o la degradación del suelo. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.10.3.Gestión de desastres y análisis de riesgos.

Los SIG se utilizan para el análisis de riesgos y la gestión de desastres naturales. Los analistas pueden superponer datos de riesgo de inundaciones, terremotos, huracanes, entre otros, para identificar áreas vulnerables y planificar respuestas ante emergencias. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.10.4.Transporte y logística.

En el sector de transporte y logística, los SIG son fundamentales para optimizar rutas, gestionar flotas de vehículos y analizar el tráfico. Los SIG permiten identificar las rutas más eficientes, basándose en factores como la distancia, el tráfico y la accesibilidad. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.10.5.Salud pública.

En el campo de la salud pública, los SIG se utilizan para mapear la propagación de enfermedades, analizar la distribución geográfica de los servicios de salud y planificar la ubicación de nuevas instalaciones médicas. También permiten estudiar factores espaciales que influyen en la salud de las comunidades, como la proximidad a fuentes de contaminación o la accesibilidad a hospitales. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.10.6.Evolución de los SIG y ARCGIS.

Los sistemas SIG han evolucionado considerablemente desde su concepción en la década de 1960. ArcGIS, desarrollado por ESRI, es una de las plataformas más avanzadas y utilizadas para análisis geoespacial en la actualidad. A lo largo de las últimas décadas, ArcGIS ha integrado tecnologías más avanzadas, como el análisis tridimensional, la simulación de tráfico en tiempo real y la capacidad de modelar redes complejas, lo que ha permitido a los usuarios mejorar la planificación y la toma de decisiones en múltiples sectores. (ESRI, 2021)

2.1.11.Fundamento Network Analyst.

2.1.11.1.ARCGIS.

ArcGIS es una plataforma integral de sistemas de información geográfica (SIG) desarrollada por ESRI. Permite gestionar, analizar y visualizar datos geoespaciales. Está compuesto por una serie de aplicaciones que facilitan la integración de datos geográficos para su análisis y la creación de mapas temáticos, los cuales son utilizados en diversas disciplinas como la geografía, ingeniería, planificación urbana y transporte. (ESRI, 2021)

2.1.11.2.Network Analyst.

Network Analyst es una extensión de ArcGIS diseñada para realizar análisis avanzados en redes de transporte. Esta herramienta permite la modelación de redes compuestas por carreteras, rutas, senderos o cualquier sistema de conectividad que pueda ser representado mediante líneas y nodos. Los usuarios pueden realizar tareas como encontrar la ruta más corta, calcular áreas de servicio, o planificar la mejor secuencia para una flota de vehículos. El software utiliza un modelo de red que incluye datos sobre la geometría de las carreteras (longitud, pendientes, intersecciones), así como atributos adicionales como

límites de velocidad, restricciones de acceso, o costos asociados a diferentes rutas. (ESRI, 2021)

2.1.11.3.Network Analyst en el concepto de la planificación de transporte.

El uso de Network Analyst en ArcGIS ha transformado la forma en que se planifican y gestionan los sistemas de transporte. Su capacidad para modelar redes complejas y analizar múltiples variables simultáneamente permite una mejor comprensión de las redes viales y la optimización de recursos. Es especialmente útil en sectores como la logística, el transporte público y los servicios de emergencia, donde la eficiencia en el tiempo y la distancia es crucial para garantizar el servicio y reducir costos. (Geomática Ecuador - uda, 2008)

2.1.11.4.Principios teóricos del análisis de redes.

El análisis de redes en Network Analyst se basa en la teoría de grafos, un campo de las matemáticas que se ocupa del estudio de redes y sus propiedades. En esta teoría, una red se modela como un conjunto de nodos (representando intersecciones o ubicaciones) conectados por aristas (representando caminos o rutas). Esta representación matemática permite realizar cálculos como la ruta más corta o la mejor asignación de recursos en una red de transporte. (Geomática Ecuador - uda, 2008)

2.1.11.5.Condiciones y requisitos de Network Analyst.

Para utilizar Network Analyst eficazmente en la determinación de rutas, es necesario cumplir con ciertas condiciones y preparar la red de datos de forma adecuada. A continuación, se detallan los principales requisitos:

Red geométrica: La red debe estar topológicamente conectada, lo que significa que los segmentos de carreteras deben estar correctamente alineados y conectados en los nodos apropiados (intersecciones). Cualquier discontinuidad o error en la red geométrica podría resultar en rutas mal calculadas o en la imposibilidad de encontrar un camino viable entre los puntos.

Atributos de costo: Estos son los valores que asignan costos a las rutas para ser utilizados en la optimización. Los atributos más comunes son el tiempo (en función de la velocidad

de la vía) y la distancia. Sin embargo, también se pueden agregar costos adicionales como peajes, consumo de combustible o costos de operación de vehículos.

Restricciones: Las restricciones son reglas que limitan o condicionan el uso de ciertas rutas. Por ejemplo, una restricción puede ser una carretera de un solo sentido, o una restricción de peso que impida el paso de ciertos vehículos. Estas restricciones son vitales para que el análisis de rutas sea realista y aplicable a situaciones reales.

Puntos de origen y destino: El análisis de rutas requiere definir claramente los puntos de partida y llegada. En el caso de los vehículos de transporte público o privado, esto puede incluir estaciones, terminales, o puntos de recogida y entrega de mercancías.

Impedancias: La impedancia es un factor que determina la resistencia al movimiento a lo largo de una ruta. En Network Analyst, la impedancia puede estar relacionada con el tiempo de viaje, la distancia recorrida o cualquier otro costo definido por el usuario. Las impedancias dinámicas, como el tráfico en tiempo real, permiten obtener resultados más precisos. (Geomática Ecuador - uda, 2008)

2.1.11.6. Tipos de redes analizadas en Network Analyst.

Network Analyst puede modelar varios tipos de redes, incluyendo redes viales que representan carreteras y calles, redes de transporte público que abarcan rutas de autobuses, trenes o tranvías, y redes de distribución que ilustran las rutas de transporte de mercancías o vehículos de reparto. (ESRI, 2021)

2.1.11.7. Algoritmo de Dijkstra.

El algoritmo de Dijkstra es uno de los algoritmos más conocidos y utilizados para encontrar la ruta más corta en un grafo. Fue desarrollado por el científico holandés Edsger W. Dijkstra en 1956, y se aplica en diversos campos, como las redes de transporte, telecomunicaciones, y la inteligencia artificial. Es la base del análisis de rutas en muchas herramientas de software, incluyendo Network Analyst. (Geomática Ecuador - uda, 2008)

Conceptos clave: el algoritmo de Dijkstra se aplica a un grafo dirigido ponderado, que consiste en nodos (puntos como intersecciones o ubicaciones en un mapa) y aristas (conexiones entre nodos, como carreteras o caminos). Cada arista tiene un peso o costo asociado, que puede representar la distancia, el tiempo de viaje u otra métrica. El objetivo

del algoritmo es determinar la ruta de costo mínimo desde un nodo de origen hacia los demás nodos del grafo o hacia un nodo destino específico. (DIJKSTRA, 1959)

Funcionamiento del algoritmo: el algoritmo de Dijkstra se basa en la técnica de programación voraz (greedy), lo que significa que toma decisiones locales óptimas en cada paso con la esperanza de encontrar una solución global óptima. El algoritmo sigue los siguientes pasos:

1. Inicialización: se asigna un valor de distancia mínima de 0 al nodo de origen (porque no hay costo para llegar a sí mismo).

A los demás nodos del grafo se les asigna un valor de distancia infinita inicialmente, ya que no se conocen las rutas para llegar a ellos.

Se crea un conjunto de nodos no visitados, donde estarán todos los nodos del grafo.

También se crea un conjunto de nodos visitados que estará vacío al comienzo.

2. Selección del nodo con la distancia mínima: en cada iteración, se selecciona el nodo del conjunto de nodos no visitados que tenga la distancia mínima conocida desde el nodo de origen.

Si la distancia es infinita, significa que no se puede alcanzar desde el nodo origen y el algoritmo termina para ese nodo.

El nodo seleccionado se marca como visitado, es decir, se añade al conjunto de nodos visitados y se elimina de los no visitados.

3. Actualización de vecinos: para el nodo seleccionado, se analizan todos sus nodos vecinos conectados a través de aristas.

Para cada vecino, se calcula una distancia temporal desde el nodo origen hasta ese vecino, sumando la distancia conocida hasta el nodo seleccionado más el peso de la arista que los conecta.

Si esta distancia temporal es menor que la distancia previamente registrada para el nodo vecino, se actualiza la distancia mínima para ese nodo vecino.

Por ejemplo, si el nodo actual A tiene una distancia conocida de 3 desde el origen y está conectado al nodo B con una arista de peso 2, la nueva distancia para B será $3+2=5$. Si previamente B tenía una distancia mayor que 5, se actualiza su valor.

4. Repetir el proceso: el algoritmo repite los pasos 2 y 3, seleccionando en cada iteración el nodo no visitado con la distancia mínima y actualizando las distancias de sus vecinos, hasta que todos los nodos hayan sido visitados o se haya encontrado la ruta más corta al destino.

5. Construcción de la ruta: el algoritmo termina cuando ha visitado todos los nodos o ha encontrado la distancia mínima para el nodo de destino.

Para reconstruir la ruta más corta desde el nodo origen hasta el destino, se puede utilizar un registro de predecesores, que guarda el nodo anterior para cada nodo cuando se actualiza su distancia. Al seguir los predecesores desde el nodo destino hasta el origen, se puede trazar la ruta más corta. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

Complejidad del algoritmo: el rendimiento del algoritmo de Dijkstra depende de la estructura de datos usada para seleccionar el nodo de distancia mínima. En el caso más básico, su complejidad es $O(V^2)$, donde V es el número de nodos. Sin embargo, si se implementa con un montículo binario (binary heap), su complejidad se reduce a $O((V + E) \log V)$, donde E es el número de aristas, mejorando su eficiencia en redes grandes. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

Limitaciones del algoritmo de Dijkstra: el algoritmo de Dijkstra tiene limitaciones, ya que no funciona con aristas de peso negativo; en tales casos, se debe utilizar el algoritmo de Bellman-Ford. Además, al no ser un algoritmo heurístico, Dijkstra explora todas las rutas posibles desde el nodo de origen, lo que puede resultar menos eficiente en situaciones donde una heurística, como el algoritmo A*, podría acelerar el proceso, especialmente si se conoce el nodo destino. A pesar de estas limitaciones, Dijkstra es robusto y preciso para muchos problemas de optimización de rutas en redes con costos no negativos, siendo especialmente adecuado para sistemas de transporte y análisis de redes viales. (DIJKSTRA, 1959)

2.1.11.8.Preparación de los datos para el análisis de redes.

Uno de los primeros pasos en el uso de Network Analyst es la preparación de los datos. Estos deben incluir geometría precisa de las vías (carreteras, intersecciones) así como atributos relevantes (velocidades máximas, restricciones de acceso). Para ello, es esencial que los datos estén correctamente estructurados y verificados para evitar errores en el análisis. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.11.9.Topología de la red.

La topología de una red se refiere a la estructura y las reglas que gobiernan las conexiones entre los distintos elementos de la red. En Network Analyst, la topología asegura que las rutas se calculen correctamente, considerando factores como intersecciones y conexiones válidas entre segmentos de carretera. Una red mal estructurada puede llevar a resultados erróneos en el cálculo de rutas. (ESRI, 2021)

2.1.11.10.Capacidades de análisis en Network Analyst.

Network Analyst ofrece varias capacidades clave, incluyendo el análisis de rutas, que determina la mejor ruta entre dos o más ubicaciones según criterios como tiempo o distancia, siendo crucial para diseñar rutas de transporte público y planificar trayectos de vehículos comerciales. También permite el análisis de áreas de servicio, que identifica las zonas accesibles dentro de un rango específico de tiempo o distancia desde un punto determinado, útil para evaluar la accesibilidad a servicios como hospitales o estaciones de bomberos. Además, facilita la optimización de rutas para flotas (VRP), mejorando la asignación de vehículos para realizar múltiples entregas o recogidas de manera eficiente, lo cual es especialmente beneficioso para empresas de logística y transporte. (ESRI, 2021)

2.1.12.Planificación y Optimización de Redes de Transporte.

2.1.12.1.Planificación vial con SIG y Network Analyst.

La planificación vial utilizando Network Analyst permite modelar y evaluar la infraestructura vial actual, así como planificar nuevas carreteras o expansiones. Mediante simulaciones, se pueden evaluar diferentes escenarios y su impacto en el flujo de tráfico y la eficiencia del transporte. (ESRI, 2021)

2.1.13.Criterios en Planificación y Optimización de Rutas.

2.1.13.1.Optimización de rutas.

El objetivo de la optimización de rutas es minimizar un criterio específico, como el tiempo total de viaje, la distancia recorrida o el costo asociado al transporte. Entre las técnicas de optimización se encuentra la optimización de tiempo, que busca las rutas más rápidas considerando factores como la velocidad de las carreteras y el tráfico, lo cual es crucial en áreas con alta congestión vehicular. La optimización de distancia se enfoca en reducir la distancia total recorrida, siendo útil para ahorrar combustible y disminuir el desgaste del vehículo. Por último, la optimización de costos analiza la reducción de los gastos monetarios del viaje, abarcando aspectos como peajes, consumo de combustible y mantenimiento de vehículos. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.13.2.Factores que influyen la selección de rutas.

Los factores que afectan la selección de rutas abarcan las condiciones del tráfico, que incluyen tanto datos históricos como información en tiempo real, lo que impacta los tiempos de viaje y es esencial para planificar rutas eficientes. También se considera la seguridad vial, que implica evitar áreas con altos índices de accidentes o zonas peligrosas. Además, las restricciones físicas, como limitaciones de peso, altura o ancho de los vehículos en ciertas carreteras, son cruciales para asegurar que las rutas seleccionadas sean compatibles con las características de los vehículos utilizados. (Geomática Ecuador - uda, 2008)

2.1.13.3.Evaluación y validación de resultados.

El análisis comparativo de las rutas propuestas por Network Analyst con las rutas actuales se puede llevar a cabo utilizando indicadores como el tiempo de viaje, al comparar los tiempos estimados con los tiempos reales medidos en el campo; los costos operativos, evaluando el ahorro potencial en términos de costos de operación; y la satisfacción del usuario, midiendo la percepción de los usuarios sobre las nuevas rutas propuestas en el caso del transporte público. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.14. Metodologías para el Análisis Comparativo de Rutas.

2.1.14.1. Evaluación de rutas actuales versus rutas propuestas.

La metodología para comparar las rutas actuales con las generadas por Network Analyst consta de varios pasos: primero, se realiza la recopilación de datos de campo, que incluye la medición de tiempos reales de viaje, la identificación de cuellos de botella y la observación de las condiciones de tráfico en diferentes momentos del día. Luego, se modela la red en Network Analyst, ingresando datos relevantes sobre la infraestructura vial, como atributos de velocidad, restricciones y costos. Finalmente, se lleva a cabo una comparación y análisis de discrepancias entre los resultados del análisis de rutas y las rutas actuales, para identificar diferencias en términos de eficiencia, costos y viabilidad. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.1.14.2. Modelado de escenarios.

El modelado de escenarios permite anticipar el impacto de posibles cambios en la infraestructura, como la apertura de nuevas carreteras, cambios en las políticas de restricción vehicular, o incluso el aumento del tráfico en determinadas áreas. Estos escenarios permiten realizar una planificación proactiva. (Dr. Luis Chias Becerril - Ing. Héctor Daniel Reséndiz)

2.2. MARCO NORMATIVO

2.2.1. Ley Municipal Nro. 117 – Ley de Movilidad Urbana y Transporte.

2.2.1.1. Artículo 1 (objeto).

La presente Ley tiene por objeto regular la movilidad urbana, el transporte y el control del tránsito, generando para todas las personas las condiciones óptimas de preservación del medio ambiente en cumplimiento de sus derechos para su desplazamiento por el territorio municipal de manera segura, igualitaria, sustentable y eficiente.

2.2.1.2. Artículo 2 (marco legal y competencial).

- I. La presente Ley se fundamenta en las competencias exclusivas contempladas en los numerales 2, 5, 6, 18, 28 y 36 parágrafo I del Artículo 302 de la Constitución Política del Estado.
- II. La presente Ley Municipal Autónoma se rige y fundamenta en:

- a) La Constitución Política del Estado Plurinacional,
- b) Ley N.º 031 Marco de Autonomías y Descentralización “Andrés Ibáñez”, c) Ley N.º 482 de Gobiernos Autónomos Municipales,
- d) Ley N.º 165 General de Transporte
- e) Ley No 821 de modificación de la ley N.º 165
- f) Ley N.º 441 de Control de Pesos y Dimensiones Vehiculares en la Red Vial Fundamental
- g) Ley N.º 1333 del Medio Ambiente
- h) Ley N.º 3988 eleva a rango de ley el Código de tránsito
- i) Ley N.º 264 del sistema nacional de seguridad ciudadana para una vida segura j) Ley No 836 que modifica y complementa la Ley N.º 264
- k) Reglamento del Código de Tránsito
- l) Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica, Anexo 5 aprobado mediante Decreto Supremo No. 24176, y su modificación contemplada en el Decreto Supremo No 28139,
- m) Decreto Supremo No 27113 que reglamenta la Ley de Procedimiento Administrativo,
- n) Manual Interamericano de Dispositivos de Control de Tránsito.

2.2.1.3. Artículo 3 (ámbito de aplicación).

La presente Ley tiene como ámbito de aplicación la jurisdicción del Municipio de Tarija.

2.2.1.4. Artículo 4 (definiciones).

Para efectos de aplicación de la presente Ley se utilizarán las siguientes definiciones:

Autoridad Competente: es la representación del Órgano Ejecutivo que emite políticas, planifica, regula, fiscaliza y/o administra la ejecución, gestión, operación y control del Sistema de Transporte Integral.

Carga: todo bien mueble tangible, ya sea como mercancías o mercaderías, materiales, equipos, semovientes, correo u otro cualquiera susceptible de traslado mediante vehículos de transporte.

Accesibilidad: capacidad de desplazarse con facilidad y sin obstáculos físicos a un determinado lugar. Es decir, la posibilidad de tener acceso.

Coche multiusuario o coche compartido: Es un modelo de alquiler de automóviles en el que el usuario alquila el vehículo durante cortos períodos de tiempo, habitualmente por una hora.

Concesión: contrato administrativo entre un concedente (persona pública) y un concesionario (persona natural o jurídica privada) que cumple determinadas condiciones objetivas, subjetivas y temporales, para que éste efectúe la prestación de un servicio público, a cambio de una contraprestación onerosa, reservándose el concedente potestades de regulación y control, a efecto de garantizar criterios principistas de: continuidad, regularidad, uniformidad, generalidad, obligatoriedad, calidad, eficiencia, eficacia, sostenibilidad, tarifa equitativa.

Conducción eficiente: significa conducir de manera inteligente ahorrando combustible, que aprovecha los beneficios de las últimas tecnologías incorporadas en los vehículos, al mismo tiempo que mejora la seguridad vial. Estacionamientos disuasorios
Estacionamientos para automóviles situados en la periferia de ciudades generalmente grandes, cuyo fin es alentar a los conductores a estacionar su vehículo privado y acceder al centro de las ciudades mediante el transporte público.

Estudio de impacto vial. Estudio que permite identificar los efectos como consecuencia de las actividades de un nuevo proyecto como ser: Fraccionamientos, plazas comerciales, desarrollos turísticos, gasolineras, etc. que afecten sobre la operación actual de la red vial existente.

Intermodalidad: propiedad de un desplazamiento de viajeros o mercancías de un punto a otro del sistema de transporte, consistente en realizarlo en distintos y sucesivos modos de transporte (dos o más).

Movilidad sostenible: movilidad eficiente, segura, equitativa, saludable, participativa y competitiva.

Operador del servicio de transporte público: es la persona natural o jurídica, pública, privada o mixta que opera un servicio de transporte público.

Planes de movilidad: es un estudio socio-urbanístico que tiene por objeto la ordenación urbanística y de los diferentes medios de transporte con vistas a lograr una movilidad más sostenible, un uso equilibrado de los medios de transporte y una menor dependencia al vehículo privado.

Plataformas logísticas: zona especializada que cuenta con la infraestructura y los servicios necesarios para facilitar la complementariedad modal y servicios de valor agregado a la carga, donde distintos agentes coordinan sus acciones en beneficio de la competitividad de los productos que hacen uso de la infraestructura.

Tráfico calmado y/o Calles amigables: conjunto de medidas encaminadas a reducir la intensidad y velocidad de los vehículos hasta conseguir compatibilizar la circulación con las actividades que se desarrollan en la vía sobre la que se aplica.

2.2.1.5. Artículo 5 (principios).

Además de los principios establecidos en la Ley General del Transporte N.º 165, la presente Ley reconoce los siguientes:

1. La movilidad sostenible: el Gobierno Autónomo Municipal reconoce como un acto de legítimo derecho de sus habitantes, la locomoción de personas y carga bajo criterios de: accesibilidad, seguridad, bajo impacto ambiental y sostenibilidad. La oferta (pública o privada) de servicios de transporte, será efectuada bajo el criterio prestacional de servicio público.
2. El fomento de medios de transporte sostenibles: el Gobierno Autónomo Municipal orientará sus políticas de movilidad, a la promoción de medios de transporte de personas y mercancías de menor costo social y ambiental (transporte público y colectivo), así como de medios de transporte no motorizado (bicicletas y demás velocípedos, o por medio peatonal).

3. Movilidad general: la movilidad sostenible, debe ser promovida por el nivel central del Estado y las Entidades Territoriales Autónomas en el marco de los principios complementariedad, coordinación y lealtad institucional de la Ley No 031, de 19 de julio de 2010, Ley Marco de Autonomías y Descentralización "Andrés Bóñez".

4. Inclusión del ordenamiento territorial en las políticas de movilidad: el Gobierno Autónomo Municipal deberá considerar en la formulación de políticas públicas de movilidad el uso racional del territorio, para reducir las necesidades de movilidad de personas y mercancías.

5. Gradualidad y priorización: la transformación del transporte local, hacia un sistema de transporte sostenible e inclusivo, debe ser entendida como una tarea gradual, de implementación de políticas de forma gradual y bajo una priorización preestablecida.

6. Optimización de la protección ambiental: las medidas de protección de la Madre Tierra, establecidas en legislación general, en ejercicio de sus competencias exclusivas, no constituyen óbice para la emisión de legislación adicional y complementaria por parte del Gobierno Autónomo Municipal, que en el desarrollo de sus competencias de protección ambiental puede también profundizar esa protección, siempre y cuando las nuevas disposiciones se enmarquen en las políticas generales y eleven la eficacia de la protección, permitiendo un diligente cuidado de los ciclos y procesos que garantizan la vida.

2.2.1.6. Artículo 6 (alcance competencial).

La presente Ley tiene el siguiente alcance competencia:

I. En materia de Transporte, registro de propiedad automotor, ordenamiento y educación vial, administración y control del tránsito urbano:

a) Planificar y desarrollar el transporte urbano, incluyendo el ordenamiento del tránsito urbano.

b) Efectuar el registro del derecho propietario de los vehículos automotores legalmente importados, ensamblados o fabricados en el territorio nacional. Remitiendo al nivel central del Estado, la información necesaria en los medios y conforme a los parámetros

técnicos determinados para el establecimiento de un registro centralizado, integrado y actualizado para todo el país.

- c) Desarrollar, promover y difundir la educación vial con participación ciudadana.
- d) Regular las tarifas de transporte.
- e) Coordinación con la Policía Boliviana, en lo que corresponda.
- f) Desarrollar e implementar el Programa Municipal de Transporte.
- g) Promover los sistemas de transporte que atiendan las necesidades y demandas de zonas periféricas y rurales.
- h) Promocionar medios de transporte no motorizado (peatonal y ciclístico)
- i) Priorizar el transporte público masivo.
- j) Promocionar el reparto urbano de mercancías organizado.
- k) Mejorar la seguridad vial y salud pública.
- l) Gestionar la demanda de transporte.
- m) Elaborar y ejecutar Planes, Programas y Proyectos.

II. En materia de Ordenamiento Territorial:

- a) Potenciar el urbanismo de proximidad.
- b) Vincular la planificación urbanística con la oferta de infraestructura, los servicios de transporte público y las dotaciones para el transporte no motorizado.
- c) Implementar plataformas logísticas y diseño de rutas para el tráfico pesado.
- d) Optimizar las infraestructuras existentes.
- e) Establecer políticas de estacionamiento.

III. En materia de Infraestructura:

- a) Realizar estudios de evaluación de movilidad generada, como instrumento de planificación.
- b) Implementar el Programa Municipal de Transporte.

- c) Promocionar la intermodalidad y desarrollo de infraestructura para medios de transporte no motorizados.
- d) Desarrollar infraestructura exclusiva para el transporte público (terminales, carriles).
- e) Desarrollar planes de movilidad para empresas y centros educativos.

IV. En materia de Medio Ambiente:

- a) Reducir los niveles de contaminación en materia atmosférica, acústica, visual y reducción de los niveles de consumo de gasolina y diésel.

2.2.1.7.Artículo 7 (reducción de contaminación y consumo de combustibles fósiles).

El Gobierno Autónomo Municipal de Tarija y la provincia Cercad participará y promoverá las siguientes acciones:

- a) Reducción de los niveles de contaminación locales en materia atmosférica, acústica, visual y reducción de los niveles de consumo de gasolina y diésel.
- b) Vehículo limpio y eficiente.
- c) Eficiencia energética y servicios públicos de transporte.
- d) Promoción de vehículos con tecnologías alternativas.
- e) Promoción de la conducción eficiente (uso responsable del coche).
- f) Implementación de un sistema de revisión técnica vehicular eficiente.
- g) Implementación de políticas de tráfico calmado, calles amigables en coordinación con las entidades de Transporte Público y la Policía Boliviana.

2.2.1.8.Artículo 8 (gestión de la demanda de transporte).

- a) Estacionamientos disuasorios de vehículos privados e incentivadores del uso del transporte público.
- b) Implantación de medidas coercitivas para la mejora de la sostenibilidad en el transporte.
- c) Promover medidas económicas que incentiven la utilización del transporte público.
- d) Incentivos tributarios que favorezcan comportamientos ambientalmente sostenibles.

e) Utilización del coche multiusuario o el coche compartido.

f) Información y concienciación pública.

2.2.1.9.Artículo 9 (clasificación del transporte terrestre).

El transporte terrestre, para efectos de esta ley se clasifica en:

a) Transporte de personas. - Que comprende el desplazamiento de personas de un lugar a otro bajo condiciones

reguladas. El transporte de personas, a su vez se clasifica en:

1. Transporte público de personas: implica el desplazamiento de personas a cambio de una tarifa. Por ser de interés público, se encuentra sometido al régimen de servicio público.

2. Transporte privado de personas: implica el desplazamiento de personas, para responder a necesidades puntuales de interés privado o a necesidades puntuales de interés público. Posee regulación básica, no tiene carácter de servicio público, pero está sometido a regulaciones específicas.

b) Transporte de carga: que comprende la translación de carga de un lugar a otro, bajo condiciones reguladas.

Se encuentra sometido al régimen de libre competencia.

2.2.1.10.Artículo 10 (clasificación de vehículos).

Los vehículos, atendiendo a las actividades en que se utilicen y para los efectos de esta ley, se clasifican en:

I. De uso privado: los utilizados en el transporte de personas u objetos, para satisfacer las necesidades particulares de sus propietarios o poseedores legales, ya sean éstos personas naturales o jurídicas, sin que dicho transporte constituya de manera alguna actividad remunerada o profesional;

II. De transporte público: los destinados para el transporte de personas o cosas, cuando esta actividad constituya un servicio que administre el Estado u opere indirectamente y se clasifican en:

- a) Taxi, radio taxi y taxi trufi: los empleados para el transporte de personas sin sujeción a itinerarios fijos, mediante el pago de un precio que se determinará según la tarifa de taxímetro o zona correspondiente, y autorizados en sitios o asignados a centros de control;
- b) De pasajeros: los destinados al transporte urbano y rural de personas en general, en viajes regulares, con itinerarios y horarios; los utilizados para el transporte público bajo demanda mediante aplicaciones móviles; los dedicados al transporte urbano o rural de escolares o de trabajadores o turistas, en recorridos especiales, todos, mediante el pago de un precio que acorde a la modalidad se determinará según la tarifa y sistema de cobro correspondiente;
- c) De carga: los dedicados exclusivamente al transporte de materiales u objetos. Por su capacidad serán de carga pesada, mediana o ligera;
- d) De carga especial: los autorizados para el transporte de materiales clasificados como peligrosos, por sus características explosivas, corrosivas, altamente combustibles o contaminantes, u otros que generen riesgo;
- e) Mixtos: los autorizados para transportar pasajeros, carga ligera u objetos;
- f) Equipo móvil especial: los vehículos no comprendidos en las clasificaciones anteriores, previa autorización de la autoridad competente.

III. De uso oficial: los destinados a la prestación de servicios públicos nacionales, departamentales o municipales; y de seguridad: los adaptados para servicios de seguridad, protección civil, salud y emergencia, operados tanto por entidades públicas como por particulares, plenamente identificables por colores, rótulos y las señales de seguridad reglamentarias.

2.2.2. Plan Departamental de Ordenamiento Territorial Tarija 2006 – 2025.

2.2.2.1. Capítulo vi normas de vialidad.

2.2.2.1.1. Artículo 66 (descripción).

La estructura vial como organizadora de la ciudad, nos permite reconocer su forma de crecimiento, generar economías externas, definir la calidad de la articulación interna, etc. Así mismo, esta estructura vial forma parte y permite conectarnos con el sistema

provincial, departamental y nacional, complementando precisamente esta estructuración del sistema vial al interior del municipio. De igual manera, esta red construida en base a la articulación de vías de heterogéneos perfiles, producto de un espacio construido, permite relacionar y articular a los diferentes distritos establecidos en la ciudad. En este sentido, el presente Plan de uso del suelo, norma los tipos de vías y su localización o trazo necesario para lograr un adecuado sistema vial que responda de forma real a la topografía, zonas planificadas, densidades previstas y equipamientos urbanos a instalarse, garantizando seguridad, economía e incorporando elementos que aporten a mejorar la calidad ambiental. El plano 36 permite visualizar la red vial de la ciudad y su articulación regional, nacional e internacional.

Forman parte de ese sistema vial las cuatro categorías de básicas propuestas en el plan: Vías Regionales, Principales, Distritales y Locales las que, en base a su dimensionamiento y flujo vehicular, permitirán otorgar una mayor eficiencia al sistema vial. A continuación, se describen las cuatro categorías establecidas.

2.2.2.1.2. Artículo 67 (red de vías regionales).

Esta categoría de vía pertenece a la red conocida como fundamental y a la red Departamental, que permite la conexión del departamento entre sí, con el país y países vecinos, en nuestro caso, Argentina. Dentro de esta categoría de vía, encontramos tres: la regional turística, ubicada al margen izquierdo del Guadalquivir, conocida como costanera o avenida de las Américas; la regional perimetral que se encuentra planteada del área urbana y la vía en proyecto denominada bioceánica.

La vía Bioceánica, de responsabilidad nacional (red fundamental), cuyo trazo se encuentra en estudio, toca tangencialmente la ciudad, como corresponde a carreteras de esta característica, la que canalizará todo el transporte pesado nacional e internacional, en lo que corresponde a la internación de mercaderías y otros a los departamentos del país.

La vía Regional, de responsabilidad departamental (red departamental), se origina en la zona sur y su trazo a través de la ciudad es equidistante de la actual circunvalación a una distancia promedio de 1.500 m., conectándose con la vía fundamental en el sector norte a la altura de San Mateo mediante un puente que cruza el Guadalquivir. Esta vía reemplazará la actual Avenida de las Américas convirtiéndose en el paso obligado del transporte

pesado, complementándose con el diseño de rotondas en las intersecciones con vías distritales. En cuanto al uso del suelo, se respetará los establecidos en las diferentes zonas de su trayecto. Es necesario, para consolidar el trazo de esta vía, la afección de propiedad privada, la misma que deberá ser cancelada mediante el trámite de expropiación respectiva.

La vía Regional turística, de responsabilidad municipal (red municipal), modifica su uso, excluyendo el tráfico pesado, para así permitir el recorrido de la ciudad, con una visión turística. Los predios cuyas fachadas estén sobre esta vía dentro del límite del área patrimonial, no podrán alcanzar alturas mayores a los 9m, en consideración al riesgo de inundaciones a las que está sujeta.

Los predios cuyas fachadas estén sobre esta categoría de vías podrán alcanzar una altura máxima de 21m., a partir de los 7 metros de retiro.

Esta categoría de vías se norma con una sección transversal cuya dimensión se la establece mayor a 50m y menor a 100m, 4m para áreas laterales y vías de 10 y 11m, con camellones de 5m. Los perfiles de estas vías se muestran en la Ver Figura 11 y la localización determinada en el Plano 37.

Dentro de esta categoría de vías se encuentra la ruta bioceánica o vía fundamental F001; el trazo de esta vía no debe ingresar al polígono del área urbana general. Surge como alternativa a la actual vía fundamental que atraviesa la ciudad; el perfil formulado por la autoridad caminera para dicha vía es de 100 m según Figura 12, el que contiene dos vías de 13.2m con tres carriles cada vía, incluyéndose un carril para ciclovía, tiene un separador central de 9.2 m y separadores laterales de 32.2m., donde se incluye la acera.

2.2.2.1.3. Artículo 68 (red de vías principales).

Son las vías que interconectan las principales carreteras nacionales dentro del Área Urbana, denominadas también departamentales (red Departamental) y sirven de enlace entre las diferentes zonas urbanas, principalmente de sureste a noroeste. La expansión de la ciudad hacia el sector norte, obliga a estructurar la ciudad en ese sentido, previendo su estructuración vial. Para el efecto, se han definido vías paralelas de este a oeste, hasta el límite establecido por la vía regional bioceánica.

Se incorpora a esta categoría de vía la que conduce al lago San Jacinto, constituyéndose en principal debido a la incorporación de equipamiento productivo y de deporte instalado y a implementarse en la zona, cuyo potencial turístico reconocido, permite desarrollar actividades relacionadas con el rubro. Igualmente, se incorporan a esta categoría las dos vías en ambos márgenes del Guadalquivir, tramo de la misma ya se ha consolidado; sin embargo, otros requieren un diseño para constituirse como tales. Por otra parte, se ha incorporado a esta red hacia el norte de la ciudad la vía que sirve de límite del área intensiva y que se intercepta por el este y oeste con la vía regional, la misma que en ese tramo está trazada para el mediano plazo y como tal queda sobre el área extensiva.

Los usos permitidos en este tipo de vía son los de carácter comercial, pudiéndose instalar en sobre ellas equipamientos especiales, como gasolineras, las que deberán sujetarse a las normas vigentes de la superintendencia para la instalación de las mismas. Se establece que los predios cuyas fachadas estén sobre esta categoría de vías podrán alcanzar alturas de 18m a partir de los 5 mts. de retiro a excepción de las vías en su paso por zonas de Uso Combinado.

La sección transversal para estas vías se establece en una dimensión mayor a 30 y menor a 50; el perfil transversal presenta aceras perimetrales de 4m, vías de 10m y separador de 2m. El perfil de estas vías se muestra en la Figura 13 y la localización en el Plano 38.

2.2.2.1.4. Artículo 69 (red de vías distritales).

Permite la relación del centro de la ciudad con los sectores extremos como norte – sur y este – oeste. Las vías distritales que conforman la red municipal determinan y estructuran el crecimiento de la ciudad. Con ese carácter, se señalan las vías en los distritos 12 y 13, sobre todo en zonas no consolidadas o en proceso de consolidación.

Se establece que los predios cuyas fachadas estén sobre estas vías podrán alcanzar alturas de 15 m a excepción de las vías en su paso por zonas de Uso Combinado a partir de 3.5 de retiro.

Estas vías en su aspecto formal, presentarán dos calzadas con jardín separador, resultando un perfil entre los 24m y los 30m. El perfil de estas vías se muestra en la Figura 14 y la localización determinada en el presente plan en el Plano 39.

2.2.2.1.5. Artículo 70 (red de vías locales).

Las vías pertenecientes a esta red de orden municipal, propiciarán la organización al interior de los distritos y estarán constituidas por vías cuya dimensión está establecida mayores a 20m y menores a 24m. El perfil de estas vías se muestra en la Figura 15 y su localización en el Plano 40.

2.2.2.1.6. Artículo 71 (red de vías vecinales).

Son aquéllas que sirven de colectoras del tráfico al interior de las vías locales, canalizando el tránsito entre barrios (pertenecen a la red municipal). Estas vías tendrán un ancho de vía de 14 m como mínimo hasta los 20m como máximo. El perfil mínimo corresponde a aceras de 3 m y calzadas de 8. El perfil de estas vías se muestra en la Figura 16. Esta es la vía de dimensiones mínimas que se incorporarán a la ciudad en los planes de urbanización y loteamientos.

2.2.2.1.7. Artículo 72 (red de vías costaneras).

Otra categoría de vías son las denominadas costaneras, pertenecen a la red municipal, su objetivo es el de preservar las cuencas las que fungen como drenajes naturales al interior de la ciudad, pero también crear corredores verdes, que permitirán sanear dichos cauces aportando a mejorar el medio ambiente y el paisaje urbano. De igual manera, estas vías, al margen del aspecto netamente ambiental, permitirán que vías como las principales no se vean truncadas, sino que, mediante la bifurcación de éstas, nos permita la conexión que hoy extrañamos en nuestra estructura vial. Los perfiles para estas vías son dos; el de 15m para las vías costaneras principales y 12 para las costaneras distritales; ver gráfico 17 y su localización en el plano 41.

2.2.2.1.8. Artículo 73 (de las intersecciones).

Se reconocen como intersecciones a los diferentes cruces entre dos o más líneas de tráfico, existiendo las intersecciones en cruz, las intersecciones en T, las glorietas y las intersecciones a desnivel.

De acuerdo a la importancia de las vías, se deberán elegir el tipo de solución más adecuada al tipo de intersección.

- En el caso de las intersecciones entre el Corredor Bioceánico (Avenida Ecológica) y las Rutas Fundamentales, deberán ser necesariamente Intersecciones a desnivel.
- En el caso de las intersecciones entre Vías Regionales y Vías Principales, se deberá prever el espacio suficiente para la construcción de Glorietas Grandes. (Ej. Segunda Circunvalación con Calle Colón, Calle Comercio con Circunvalación, etc.)
- En el caso de las intersecciones entre Vías Principales, se deberá, en lo posible, construir intersecciones en “T”, para evitar el cruce de vehículos, evitando posibles puntos de choque. Estas intersecciones deberán contar con espacio suficiente para que los vehículos que ingresan de la vía secundaria a la vía principal puedan esperar el momento adecuado de ingreso.
- Las intersecciones entre vías Principales con Distritales, serán intersecciones en cruz, debiendo prever la señalización necesaria.
- Las intersecciones entre Vías costaneras con distritales, principales o Regionales, serán en “T”, para lo cual se deberá prever el espacio suficiente para que los vehículos esperen el momento de ingreso a la vía principal.
- El flujo vehicular, en ningún momento deberá cruzar líneas de tráfico de las otras vías que componen las intersecciones.

En ningún caso se permitirá la construcción de intersecciones que no cumplan con las características mínimas exigidas por el tráfico actual o proyectado. Adicionalmente a la construcción de las intersecciones, se deberá prever la colocación de señalización horizontal, vertical y semáforos que ordenarán el flujo vehicular.

2.2.3.Código de Tránsito, 16 de Febrero de 1973.

2.2.3.1.Título I – Disposiciones Preliminares.

2.2.3.1.1.Artículo 1 (aplicación y objeto).

El tránsito por las vías terrestres de la República de Bolivia, abierta a la circulación pública, se regirá por este Código.

2.2.3.1.2.Artículo 2 (vías terrestres).

A los efectos de la aplicación del Código son vías terrestres: las avenidas, calles, pasajes, autopistas, vías expresas, carreteras, caminos y sendas de circulación pública.

2.2.3.1.3.Artículo 3 (del servicio).

Servicio Nacional de Tránsito, como organismo integrante de la Policía Nacional, ejecutará y hará cumplir las disposiciones del presente Código.

2.2.3.1.4.Artículo 4 (clasificación).

Las vías públicas se clasifican en urbanas y rurales. Son vías urbanas: las autopistas, vías expresas, avenidas, calles, pasajes y paseos. Son vías rurales: las carreteras, caminos y sendas.

2.2.3.1.5.Artículo 12 (vehículos).

Vehículo es todo medio de transporte para personas, semovientes o cosas.

2.2.3.1.6.Artículo 13 (reglamento).

El reglamento de este Código clasificará los vehículos de acuerdo a su tracción, características y clases de servicio.

2.2.3.2.Título II – De la circulación.

2.2.3.2.1.Artículo 14 (circulación).

Circulación es el movimiento de peatones, vehículos y semovientes por la vía pública.

2.2.3.2.2.Artículo 19 (reglas de circulación).

Los vehículos circularán por las vías públicas sujetándose a las siguientes reglas básicas:

- Conservando el lado derecho de la vía.
- El adelantamiento-de un vehículo a otro, estacionado o en movimiento, se hará por el lado izquierdo precedido de la señal reglamentaria.
- Es prohibido el adelantamiento en las curvas, bocacalles, cruces, pasos a nivel y en general en los lugares donde el conductor no tenga libre visibilidad;
- Para girar, a la derecha o izquierda, se colocará con anticipación en el carril del lado correspondiente.

- En un cruce de rutas de igual categoría, tiene preferencia el vehículo que está circulando por la vía del lado derecho con relación al sentido de la circulación.
- Tiene privilegio de paso, con relación a las vías secundarias el vehículo que circula por las rutas señaladas como preferenciales.
- En las pendientes, los vehículos de subida tienen preferencia de paso, con relación a los de bajada.
- Al bajar una pendiente el conductor deberá utilizar la misma velocidad que emplearía al subir, estando prohibido quitar el contacto y hacer cambio del dual.
- Durante la noche es obligatorio el empleo de luces: En el cruce entre vehículos los conductores utilizarán luz baja.

2.2.3.2.3. Artículo 23 (servicio de emergencia).

Los vehículos en servicio de emergencia, anunciada mediante sirenas u otros dispositivos, como las Ambulancias, Bomberos, Policía y Fuerzas Armadas, tienen preferencia en la circulación.

2.2.3.2.4. Artículo 35 (velocidad reglamentaria).

Ningún vehículo circulará a velocidades superiores o inferiores a las establecidas por la Policía de Tránsito de acuerdo a reglamento.

2.2.3.3. Título IV – De los servicios públicos.

2.2.3.3.1. Artículo 108 (clasificación)

La clasificación y categorización de los vehículos de servicio público se determinará por el Reglamento de este Código.

2.3. ANALISIS Y POSICION DEL INVESTIGADOR

En base a los conceptos ya descritos con anterioridad, para el desarrollo de este proyecto se plantea la realización de un trabajo de observación, el cual no inferirá directamente en el medio en el cual se realizará, sin embargo, plantea el análisis de datos reales, los cuales en base a funciones lógicas y las metodologías estadísticas que forman parte de esta investigación, permitirán el análisis y proyección de una posible situación futura, la cual dependerá de las condiciones que se planteen para la misma, por ejemplo, si se tiene planteado realizar el reacondicionamiento de una calle principal dentro de la zona urbana, al contar con dicha condición y los datos de la misma, con antelación se puede realizar la

planeación y contramedidas, ante el problema que dicha situación puede presentar en la circulación vial.

De modo que el objeto de la investigación conforma una parte fundamental a la hora de realizar dicho análisis, ya que para poder plantear una solución viable técnica y económicamente lo más cercana a la realidad, de acuerdo a las necesidades que se tengan, deberán aplicarse criterios relevantes de la ingeniería, permitiendo procesar toda la información y traducirla en nueva información de interés de manera rápida y concisa.

CAPÍTULO 3

APLICACIÓN

CAPÍTULO 3

APLICACIÓN

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

La presente investigación se realizó en la ciudad de Tarija, ubicada en la Provincia Cercado del departamento de Tarija, específicamente en el distrito 13, el cual se encuentra al sur del río Guadalquivir comprendiendo dentro del mismo los barrios Alto Senac, Senac, Tabladita, Catedral, Andalucía, Luis de Fuentes, Méndez Arcos y San Antonio.

3.2. CRITERIOS METODOLÓGICOS.

3.2.1. Unidades de Muestreo.

Se establecieron como unidades de muestreo las rutas de transporte público que operan en la ciudad de Tarija, muestra estará determinada de acuerdo a un modelo de muestreo por conveniencia dado que la investigación requiere la obtención de los elementos de la población específicos relacionados al área de intervención, de modo que el criterio de conveniencia para este muestreo estará sujeto a que el desarrollo de la investigación realizarse en un plazo de seis meses.

Se requiere analizar las rutas de transporte público que operan de la ciudad de Tarija, de modo que para la obtención de datos se considerarán solo las rutas de transporte que funciones dentro de los límites de la ciudad.

Los medios de transporte público en cuestión estarán compuestos tanto por los vehículos de transporte pesado como los vehículos de transporte liviano.

Al ser un modelo de muestreo por conveniencia la selección de datos se realizará bajo el criterio del investigador.

3.2.2. Población.

La delimitación de la población referida para esta investigación se realizó tomando como base todas las rutas de transporte público que operan en la ciudad de Tarija, las cuales estaban compuestas por líneas de micros y taxi trufis. para lo cual se investigó las entidades encargadas de administrar dichas rutas de transporte.

Se realizó una solicitud al departamento municipal de infraestructura y servicios públicos del gobierno autónomo municipal de Tarija con la finalidad de averiguar cuáles eran las

entidades encargadas del manejo y administración de cada una de las líneas de transporte público.

Siendo dichas entidades: el Sindicato de micros “La tablada”, el Sindicato de Taxi trufi vecinal (Contruvet), el Sindicato de micros “Luis de Fuentes”, la organización Micros cooperativa “Virgen de Chaguaya”, el Sindicato Taxi Trufis “26 de marzo”, Cooperativa de transporte Taxi trufi “El Chapaco” y Cooperativa de transporte Taxi trufi “Full sin Frontera”

Entidades las cuales administran en conjunto con el Gobierno Municipal de Tarija las redes de transporte público que operan a lo largo de toda la ciudad de Tarija.

Siendo 41 líneas de transporte las cuales se encuentran en funcionamiento, siendo estas:

Tabla N.º 2 Líneas micro La Tablada.

SINDICATO TRANSPORTE DE MICROS LA TABLADA
MICRO LINEA A
MICRO LINEA CH
MICRO LINEA B
MICRO LINEA C
MICRO LINEA S
MICRO LINEA D

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º 3 Líneas taxi trufi Vecinal.

TAXI TRUFI VECINAL (CONTRUVET)
TAXI TRUFI BANDERITA NARANJA
TAXI TRUFI BANDERITA NARANJA - VERDE OSCURO
TAXI TRUFI BANDERITA VERDE LECHUGA - NARANJA
TAXI TRUFI BANDERITA BLANCA - VERDE
TAXI TRUFI BANDERITA AZUL - NARANJA
TAXI TRUFI BANDERITA BLANCA - VERDE
TAXI TRUFI BANDERITA BLANCO - VERDE
TAXI TRUFI BANDERITA ROJO - BLANCO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º 4 Lineas micro Luis de fuentes.

SINDICATO DE TRANSPORTE DE MICROS LUIS DE FUENTES
MICRO LINEA 5
MICRO LINEA E
MICRO LINEA F
LINEA SAN JACINTO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º 5 Lineas micro Virgen de Chaguaya.

MICROS COOPERATIVA VIRGEN DE CHAGUAYA
MICRO LINEA 1
MICRO LINEA 11
MICRO LINEA 9
MICRO LINEA 4
MICRO LINEA 6

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º 6 Lineas taxi trufi 26 de marzo.

TAXITRUFÍ 26 DE MARZO
TAXI TRUFÍ BANDERITA AZUL
TAXI TRUFÍ BANDERITA AZUL - ROSADO
TAXI TRUFÍ BANDERITA AMARILLO - AZUL
TAXI TRUFÍ BANDERITA BLANCO - AZUL
TAXI TRUFÍ BANDERITA ROJO - AMARILLO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º 7 Lineas taxi trufi El Chapaco.

COOPERATIVA DE TRANSPORTE TAXI TRUFÍ EL CHAPACO
TAXI TRUFÍ BANDERITA ROJA
TAXI TRUFÍ BANDERITA VERDE
TAXI TRUFÍ BANDERITA ROJA - AZUL
TAXI TRUFÍ BANDERITA BLANCO - CELESTE
TAXI TRUFÍ BANDERITA BLANCO - NARANJA
TAXI TRUFÍ BANDERITA CELESTE
TAXI TRUFÍ BANDERITA AMARILLA
TAXI TRUFÍ BANDERITA ROSADA

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º 8 Lineas taxi trufi Full Sin Frontera.

COOPERATIVA TRANSPORTE TAXI TRUFI EL FULL SIN FRONTERA
TAXI TRUFI BANDERITA VERDE
TAXI TRUFI BANDERITA MORADA
TAXI TRUFI BANDERITA VERDE - MORADO
TAXI TRUFI BANDERITA MORADO - BLANCO
TAXI TRUFI BANDERITA VERDE - BLANCO

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Definición de la muestra.

Al ser un modelo de muestreo por conveniencia, se estableció como parámetro de selección el distrito 13 de la ciudad de Tarija, dado que para el análisis se requiere contemplar un área determinada en la cual se realizará la construcción del Network Dataset.

De modo que primeramente se realizó la identificación de todas las redes de transporte público tanto de micros como taxi trufis que intervienen en el área de estudio, siendo estas las siguientes:

Tabla N.º 9 Unidades de muestra.

UNIDADES DE MUESTREO
MICRO LINEA 5
MICRO LINEA 6
MICRO LINEA D
TAXITRUFU BANDERITA AZUL
TAXITRUFU BANDERITA MORADO - BLANCO
TAXITRUFU BANDERITA ROJO - AMARILLO
TAXITRUFU BANDERITA AZUL - ROSA CLARO
TAXITRUFU BANDERITA BLANCO - VERDE CLARO
TAXITRUFU BANDERITA AZUL - AMARILLO

Fuente: Elaboración propia

Selección que se realizó bajo el criterio de que son líneas de transporte que intervienen en el distrito 13 y que adicionalmente estas requieren de manera obligada hacer uso de los puentes ubicados sobre el río Guadalquivir, parámetro el cual permite definir de manera más precisa los límites del área de estudio.

3.3. ELABORACIÓN DE CAPAS

3.3.1. Funcionamiento de Network Analyst.

Network Analyst es una extensión de software en ArcGIS que permite realizar análisis en redes, como las de transporte, basándose en un conjunto de herramientas especializadas. Estas herramientas permiten modelar sistemas de transporte, optimizar rutas, calcular distancias y analizar redes de manera detallada.

3.3.1.1. Modelado de la red.

Network Analyst utiliza lo que se llama un dataset de red (network dataset). Este dataset representa los caminos, carreteras o cualquier red de transporte que estés analizando. Un dataset de red contiene información como:

Segmentos de carretera: las líneas que representan calles o carreteras.

Conectividad: define cómo se conectan los distintos segmentos de la red.

Restricciones: como sentidos únicos, prohibiciones de giros, y restricciones de altura o peso.

Costos o impedancias: datos como el tiempo de viaje, distancia recorrida, o costos asociados, que son claves para el análisis de rutas.

El modelado adecuado de la red es fundamental para obtener rutas precisas. Debes asegurarte de que las conexiones entre los nodos (intersecciones) y los bordes (carreteras) se definan correctamente.

3.3.1.2. Datos de entrada.

Para trazar una ruta, Network Analyst necesita dos puntos básicos:

Punto de origen (inicio de la ruta).

Punto de destino (final de la ruta).

Estos puntos pueden ser definidos manualmente en el mapa o cargados desde una base de datos con coordenadas específicas.

3.3.1.3.Algoritmo de ruta más corta.

El motor de Network Analyst utiliza el algoritmo de Dijkstra o una variación del mismo (algoritmo A*), que busca la ruta más corta entre dos puntos en una red de grafos. En este contexto, la "distancia" puede ser medida en términos de:

Distancia real (en kilómetros o metros).

Tiempo de viaje (minutos u horas).

Otros factores de costo (combustible, peajes, etc.).

El algoritmo funciona así:

Busca los caminos disponibles desde el punto de origen hasta el destino.

Compara los costos asociados a cada ruta.

Selecciona el camino con el costo total más bajo, teniendo en cuenta todas las restricciones y posibles impedancias.

3.3.1.4.Restricciones y parámetros adicionales.

Puedes agregar restricciones adicionales al análisis, lo que permite personalizar la ruta generada. Algunas de estas restricciones incluyen:

Sentidos únicos: Considera si una calle tiene un sentido de circulación específico.

Tiempos de espera o semáforos.

Alturas de puentes o túneles, que pueden impedir el paso de ciertos vehículos.

Prohibiciones de giros o zonas restringidas.

Estas restricciones permiten que el análisis sea mucho más realista, simulando las condiciones de tráfico y las normas de circulación.

3.3.1.5.Cálculo de la ruta.

Una vez que se definen las restricciones y el algoritmo ha identificado todas las posibles rutas, Network Analyst selecciona la ruta más eficiente según el criterio establecido (tiempo, distancia o costo). El resultado es una línea que representa el camino óptimo.

3.3.1.6. Análisis adicionales.

Además de trazar rutas simples entre dos puntos, Network Analyst puede realizar otros análisis complejos como:

Rutas con múltiples paradas (Ruteo de Vehículos): permite calcular rutas que pasan por varios puntos intermedios, optimizando el orden de las paradas.

Zonas de servicio (Service Area): define áreas dentro de una distancia o tiempo de viaje específicos desde un punto de interés.

Matriz de costos (OD Cost Matrix): calcula las distancias o tiempos de viaje entre múltiples puntos de origen y destino, útil para análisis de cobertura.

Asignación de instalaciones (Location-Allocation): encuentra la mejor ubicación para una nueva instalación, como una tienda o estación de servicio, basada en la demanda de los usuarios.

3.3.1.7. Visualización de resultados.

Finalmente, los resultados del análisis de ruta se muestran en el mapa como una línea que sigue los caminos seleccionados. Además, puedes obtener un informe detallado que incluye:

Distancia total recorrida.

Tiempo total de viaje.

Instrucciones de giro a giro (turn-by-turn directions).

En resumen, Network Analyst optimiza el trazado de rutas mediante la creación de un modelo de red que contiene los caminos y sus atributos, utiliza algoritmos como Dijkstra o A* para encontrar el camino más corto o rápido, y permite incluir múltiples restricciones para adaptar el análisis a condiciones reales.

3.3.2. Aplicación de Network Analyst para la Determinación de Rutas.

Una de las principales virtudes de Network Analyst es permitir a los usuarios realizar una adecuada planificación de rutas, esto en base a los requerimientos de cada uno de dichos usuarios.

Por ejemplo, la Alcaldía de Tarija debido a que se aproximan fechas importantes, propuso un proyecto para remodelar las aceras de ya que estas se encuentran en muy mal estado, para ello contrataron una empresa externa para realizar la entrega de material en los puntos de interés.

Dichos puntos son el Mercado Central, el Palacio de Justicia, la Plaza Principal Luis de Fuentes y la Plazuela Sucre, los cuales pueden observarse en la Figura 3 en el Anexo A.

Debido a la falta de planificación no se designaron áreas de descarga eficientes, por lo tanto, para ello se debe hacer varias entregas durante la jornada laboral, para evitar que se produzcan retrasos y tiempos muertos.

El encargado de la empresa alquiló un área de carga y descarga ubicada en la avenida Domingo Paz, para poder realizar las entregas de manera eficiente designó a su ingeniero especialista en SIG para que elabore un diseño de ruta mediante Network Analyst y así reducir los tiempos y costos de transporte.

Para la ejecución del diseño, primeramente, se requiere realizar una planificación que se ajuste a las situaciones propuestas para la ejecución de la tarea.

En primera instancia, se realiza una recopilación y un análisis de los datos que se tienen a disposición, siendo fundamental conocer la situación de las calles, las estaciones de parada, las restricciones de tránsito y las velocidades de trabajo del transporte.

Dado que la planificación que se realiza mediante Network Analyst no plantea una metodología distinta a una planificación vial convencional, la diferencia entre ambas es que la herramienta brinda la opción de automatizar partes del proceso, lo cual se traduce en una mayor eficiencia a la hora elaborar un plan de trabajo.

Por lo tanto, a la hora de construir la base de datos para que la planificación sea coherente con la realidad, se debe hacer un análisis previo de todos los parámetros que afectan el cálculo.

3.3.2.1. Factores a considerar en el cálculo de tiempos de recorrido

Tráfico vehicular: el tráfico es uno de los principales factores que afecta los tiempos de recorrido. Para incluir el tráfico en la planificación vial, se deben considerar varias variables:

Volumen de tráfico: es la cantidad de vehículos que circulan en una vía durante un periodo determinado. El volumen puede variar significativamente según la hora del día (horas pico y horas valle). Los volúmenes más altos generan más congestión y aumentan los tiempos de recorrido.

Condiciones de tráfico: factores como accidentes, obras en la carretera, intersecciones congestionadas o el comportamiento de los conductores pueden influir en el tráfico y, por ende, en los tiempos de recorrido.

Fluctuación del tráfico: las condiciones de tráfico cambian a lo largo del día, por lo que es importante realizar estudios de tráfico que midan cómo varía el flujo en distintos horarios.

Determinación de los datos de tráfico para los cálculos:

Datos históricos de tráfico: utilizar datos históricos de tráfico puede ser de gran ayuda para predecir las condiciones. Muchas ciudades recopilan estos datos a través de sensores de tráfico, cámaras o estudios periódicos.

Análisis de tráfico en tiempo real: para obtener tiempos más precisos, se puede emplear servicios como Google Maps, Waze u otras aplicaciones que brindan datos en tiempo real sobre la congestión. Estas plataformas usan información de vehículos conectados y dispositivos móviles para estimar el flujo de tráfico en diferentes rutas.

Modelos de simulación de tráfico: para planificaciones viales más complejas, se puede usar modelos de simulación de tráfico que predicen cómo será el tráfico en diferentes escenarios, permitiendo ajustar los tiempos de recorrido para cada situación.

Horario de operación: los tiempos de recorrido dependen también del horario en que se operan las rutas, ya que el flujo vehicular varía considerablemente durante el día. Para ajustar los tiempos de recorrido en función del horario de operación, debes identificar los siguientes periodos:

Horas pico: son los momentos del día en que el volumen de tráfico es más alto, normalmente durante el inicio y fin de la jornada laboral (generalmente entre las 7-9 AM y 5-7 PM). Los tiempos de recorrido serán mayores en estos periodos debido a la congestión.

Horas valle: Son las horas en las que el tráfico es más ligero. Generalmente ocurren a mitad del día (entre las 10 AM y las 4 PM) y durante la noche. Los tiempos de recorrido tienden a ser menores.

Determinación de la influencia del horario de operación en los cálculos:

Estudios de tráfico desagregados por hora: es recomendable contar con datos de tráfico desagregados por intervalos de tiempo (horas o periodos de 15 minutos), lo que te permitirá ajustar los tiempos de recorrido según el horario de operación.

Promedios ponderados: se puede calcular un promedio ponderado de los tiempos de recorrido para distintas franjas horarias. De este modo, se puede crear una estimación del tiempo promedio que tome una ruta según el momento del día.

Semaforización: la semaforización es otro factor que impacta directamente en los tiempos de recorrido. Los semáforos controlan el flujo en las intersecciones y pueden generar demoras significativas si no están bien sincronizados o si el ciclo del semáforo no está optimizado.

Determinación de la influencia de la semaforización en los cálculos:

Ciclo del semáforo: cada semáforo tiene un ciclo que incluye las fases de luz verde, amarilla y roja. El tiempo que un vehículo debe esperar en un semáforo depende de la duración de estas fases. Es fundamental conocer el ciclo de cada semáforo a lo largo de la ruta.

Intersecciones sincronizadas: en algunas ciudades, los semáforos están sincronizados para que el tráfico fluya de manera continua en ciertas direcciones. Esto reduce el tiempo de espera en semáforos para los vehículos que siguen la dirección preferente.

Frecuencia y número de semáforos: el número de semáforos a lo largo de la ruta y su proximidad también influyen. Si un vehículo debe detenerse frecuentemente, el tiempo total de viaje se incrementará.

Demoras en las intersecciones: las intersecciones donde hay más conflicto de tráfico (por ejemplo, giros a la izquierda) tienden a tener tiempos de espera más largos. Estas demoras deben considerarse en el cálculo total de tiempos de recorrido.

3.3.2.2.METODOS PARA CALCULAR EL TIEMPO DE RECORRIDO

- Método basado en velocidad promedio

Este método es bastante simple y consiste en dividir la distancia total entre el origen y destino por la velocidad promedio del vehículo, ajustada según las condiciones del tráfico.

Ajuste según el tráfico: La velocidad promedio puede ajustarse para diferentes momentos del día según las condiciones del tráfico (por ejemplo, disminuir la velocidad promedio durante horas pico y aumentarla en horas valle).

- Método basado en tiempos segmentados

Este método es más preciso y se basa en dividir la ruta en segmentos y calcular el tiempo de recorrido para cada segmento considerando tráfico, semáforos y condiciones específicas.

Pasos para el cálculo segmentado:

Dividir la ruta en varios segmentos (tramos entre intersecciones o semáforos).

Calcular el tiempo de recorrido para cada segmento utilizando la fórmula básica de tiempo, pero ajustando la velocidad según las condiciones de tráfico locales.

Sumar los tiempos de espera en cada intersección semaforizada o en puntos conflictivos.

Sumar los tiempos de todos los segmentos y puntos de espera para obtener el tiempo total de recorrido.

- Uso de simuladores de tráfico

Cuando se cuenta con herramientas avanzadas, como simuladores de tráfico o software especializado (por ejemplo, VISSIM, Synchro, o SimTraffic), se puede simular las condiciones reales de tráfico y semaforización para obtener tiempos de recorrido muy precisos.

Estos simuladores permiten modelar la infraestructura vial, incluyendo semáforos, el comportamiento de los conductores y otros factores que afectan el tráfico. Además, proporcionan datos sobre demoras en intersecciones, velocidades promedio y tiempos de espera.

Una vez definidos los parámetros que afectan a los datos de entrada, se puede realizar la respectiva planificación, la cual se estructura en base a los siguientes criterios:

1. Definir el Propósito y Objetivos de la Ruta

Antes de comenzar con el análisis, es importante tener claros los objetivos:

- Reducir el tiempo de viaje

Uno de los requerimientos es que el recorrido de la ruta les brinde a los usuarios tiempos de viaje eficientes, de modo que la variable de impedancia a la hora de realizar la simulación será la de tiempo, permitiendo que el vehículo de transporte trabaje con eficiencia.

2. Recolección y Preparación de Datos

Datos espaciales necesarios: Para este caso se ha definido que la ruta tiene que cumplir con el requerimiento de descarga de material en los puntos de interés (Mercado Central, El Palacio de Justicia, La Plaza Principal Luis de Fuentes y La Plazuela Sucre).

Restricciones: datos que afecten el tráfico, como límites de velocidad, condiciones de tráfico histórico, zonas de acceso restringido, etc.

Las restricciones están definidas de acuerdo al vehículo y las situaciones que puedan presentarse, la nueva ruta se plantea como un recorrido específico basado en la necesidad

de hacer descarga de material de manera eficiente, de modo que los parámetros de velocidad se ajustaran de acuerdo a las velocidades medias.

Para esta simulación no se realizará una comparación dado que el objetivo es plantear una ruta nueva y en base a los resultados de la simulación establecer si la funcionalidad de la misma logra satisfacer las necesidades del operador.

3. Análisis de Factores de Tiempo y Distancia

Tiempo de viaje y distancia son dos de los principales factores que afectan una ruta de transporte público.

La distancia puede configurarse como uno de los impedimentos principales para el análisis de la ruta. Esto permite que Network Analyst busque rutas que minimicen la distancia total, sin embargo, se requiere optimizar la ruta basada en el tiempo de viaje en lugar de la distancia. Para ello, se debe incluir el tiempo que toma recorrer cada tramo de la red vial, calculado a partir de la longitud de los tramos y la velocidad promedio permitida.

Ponderación de variables: dependiendo del tipo de análisis que se realice, es posible que se prefiera ponderar el tiempo sobre la distancia, o viceversa. Por ejemplo, si el objetivo es maximizar la velocidad de viaje, el tiempo será más relevante.

4. Criterios de Optimización

Con los datos preparados, se puede establecer los criterios de optimización:

Minimización del tiempo: Network Analyst buscará rutas que minimicen el tiempo de viaje, considerando la velocidad de las calles y las condiciones de tráfico.

Minimización de la distancia: si el objetivo es reducir la distancia total que recorre el transporte, se puede establecer este criterio.

Balance entre tiempo y distancia: se puede ponderar ambos factores para crear rutas que logren un equilibrio entre la distancia recorrida y el tiempo de viaje.

5. Restricciones y Condiciones del Transporte

Es fundamental establecer restricciones que afecten las rutas. Estas restricciones pueden incluir:

Accesibilidad: algunas calles pueden estar restringidas para transporte pesado debido a su tamaño o a restricciones de acceso.

Zonas prohibidas: como áreas con restricciones ambientales o de seguridad donde no se permite el paso de vehículos públicos.

6. Simulación y Ajustes

Después de generar una propuesta de ruta, es útil realizar simulaciones de cómo se comportaría en la práctica. Esto incluye:

Simulación de tiempo de viaje: analizar cuánto tiempo tomaría recorrer la ruta en diferentes horarios del día.

Ajustes: si los tiempos de viaje son demasiado largos o las rutas no son eficientes, se puede ajustar los criterios y restricciones para optimizar la ruta.

7. Presentación de Resultados y Toma de Decisiones

Finalmente, los resultados del análisis se deben presentar de manera clara y comprensible para los tomadores de decisiones. Esto puede incluir mapas que muestren las nuevas rutas propuestas, gráficos de tiempos de viaje, distancias recorridas, y análisis de costos operativos.

Una vez definido el proceso de planeación solo queda realizar la construcción de la vía requerida tomando en cuenta todos los factores descritos con anterioridad.

3.3.2.3.SIMULACIÓN DE RECORRIDO

Una vez definidos los parámetros de la red vial, ajustados en base a todas las variables que afectan a los mismos, estos se cargan en el Dataset.

Al ser puntos dispersos, la elaboración manual de una ruta eficiente requiere que el diseño de la misma se realice bajo los criterios clave de la planificación de rutas.

Network Analyst al trabajar con el algoritmo Dijkstra como base realiza el cálculo de manera rápida ofreciendo una ruta basada en los criterios de distancia y tiempo de la red perteneciente al Dataset, ya que las celdas de cada segmento le proporcionan los datos necesarios al algoritmo para realizar los respectivos cálculos, sin embargo, para realizar

una planificación adecuada los datos de tiempo y distancia deben estar sujetos a los criterios anteriores, como se observa en las Figuras 4 y 5 del Anexo A.

Ofreciendo asimismo un apartado de resultados, los cuales permiten realizar una evaluación preliminar de desempeño de acuerdo a las distancias de recorrido y los tiempos en cada uno de los segmentos de la red, detalle el cual puede observarse en la Figura 6 del Anexo A.

Otra ventaja de la utilización de Network Analyst es el poder prestar soluciones rápidas a inconvenientes que pudiesen presentarse durante la realización de las actividades.

Continuando con el ejemplo expuesto con anterioridad, se da el caso de que durante la jornada laboral se presenta una situación problemática, como ser que por la Calle Ingavi exista una marcha de personas que obstruya la circulación vehicular por la misma.

Esto supondría que la simulación realizada se descarte como solución al problema, además de que se requieran tomar medidas rápidas para evitar mayores inconvenientes durante el periodo de tiempo en el cual se produce el problema.

Una de las virtudes de Network Analyst es poder brindar al usuario la opción de elaborar soluciones rápidas ya que dicha herramienta automatiza el proceso, permitiendo ajustar el modelo de simulación a las nuevas necesidades.

Como parte de la planificación, tener en cuenta esta opción es ventajoso, ya que permite elaborar un análisis temporal, sugiriendo rutas específicas para rangos de tiempo específicos lo cuales dependan de los factores mencionados con anterioridad englobándolos en horas pico y horas valle.

Y asimismo ajustar en dichos modelos de simulación las restricciones de circulación vehicular que puedan presentarse.

Para el caso expuesto, dentro de Network Analyst, con ayuda de las herramientas del mismo, se definen las restricciones de circulación de modo que cuando se haga el cálculo de la ruta más eficiente (basada en el tiempo ajustado y la distancia de recorrido más corta), esta se ajuste a la realidad.

Una vez marcadas las restricciones solo se debe hacer correr nuevamente la simulación para poder visualizar la nueva solución con los cambios requeridos, como se observa en las Figuras 7, 8 y 9 en el Anexo A.

Network Analyst al ser una herramienta dependiente de los datos que se ingresan en la misma, la confiabilidad de los resultados de la misma es proporcionales a la confiabilidad de los datos ingresados, un ejemplo claro de esto puede resumirse en otro ejemplo de aplicación.

Debido a una necesidad poblacional, se requiere implementar una nueva ruta de transporte que tenga inicio en el barrio las Palmas y concluya en el campo ferial del barrio constructor, para este tipo de cálculo, la información que se vaya a introducir en el dataset debe ser referente a las condiciones del requerimiento, es decir, que si hablamos de transporte público, el tiempo de recorrido que se asigne a las celdas de información tiene que ser acorde a las capacidades mecánicas de un micro, teniendo parámetros de velocidad variables entre los 15 y 25 Km/hr. de modo que una vez se haya cargado la información, se colocan los puntos obligados de recorrido, en este caso el barrio las Palmas y el campo ferial del Barrio Constructor y se hace correr la simulación.

Como se puede observar en la Figura 10 y en la Figura 11 del Anexo A, Network Analyst realiza el trazado de la ruta más optima basándose en el cálculo realizado mediante el algoritmo Dijkstra, teniendo como objetivo, realizar el recorrido más corto en el tiempo más corto, haciendo un balance entre estos dos parámetros a la hora mostrar los resultados.

El recorrido que realiza mediante Network Analyst da como resultado una ruta con una distancia de 8353,4 m. en un tiempo de 25 min. Para una velocidad media de 20 Km/hr.

Si comparamos estos resultados con otros programas que trabajan de la misma manera podemos verificar la confiabilidad de los resultados que nos expone Network Analyst.

Por un lado, tenemos Google maps, la plataforma de navegación de Google, el cual recomienda una ruta prácticamente igual al de Network Analyst con una distancia de recorrido de 8.2 Km, sin embargo, en un tiempo de recorrido de 19 min. considerando el uso de un vehículo particular con una velocidad media de 30 Km/hr. cómo puede observarse en la Figura 12 del Anexo A.

Por otra parte, otra herramienta de similar funcionamiento en cuanto navegación es la plataforma libre de OpenStreetMap, la cual, al igual que Google Maps presenta una solución de ruta optima igualmente similar a la de Network Analyst, en este caso con unas mínimas variaciones en cuanto al recorrido, siendo este de una distancia de 8.4 Km. en un tiempo de 0.16 hr. considerando también el recorrido en un automóvil particular con una velocidad media de 35 Km/hr. ruta la cual puede observarse en la Figura 13 del Anexo A.

De modo que se obtuvo la siguiente tabla de resultados.

Tabla N.º 10 Resultados obtenidos.

VARIABLE	NETWORK ANALYST	GOOGLE MAPS	OPENSTREETMAP
DISTANCIA (M)	8353.4	8200	8400
VELOCIDAD (KM/HR)	20	30	35
TIEMPO (MIN)	25	19	16

Fuente: Elaboración propia.

De modo que, al tener datos continuos, porque las tres herramientas trabajan en base a un algoritmo de cálculo, se puede realizar una comparación directa de los valores para ver como estos difieren entre los tres servicios.

La diferencia relativa con respecto a Google Maps (considerado como referencia).

Distancia:

- Comparando con Network Analyst:

$$\frac{|8353.4 - 8200|}{8200} * 100 = 1.87\%$$

- Comparando con OpenStreetMap:

$$\frac{|8400 - 8200|}{8200} * 100 = 2.44\%$$

Velocidad:

- Comparando con Network Analyst:

$$\frac{|20 - 30|}{30} * 100 = 33.33\%$$

- Comparando con OpenStreetMap:

$$\frac{|35 - 30|}{30} * 100 = 16.67\%$$

Tiempo:

- Comparando con Network Analyst:

$$\frac{|25 - 19|}{19} * 100 = 31.58\%$$

- Comparando con OpenStreetMap:

$$\frac{|16 - 19|}{19} * 100 = 15.79\%$$

Resultados de los que permiten interpretar que las diferencias en la distancia entre los tres servicios son menores al 3%, lo que sugiere que todos los servicios están bastante alineados en términos de la distancia estimada.

Por otra parte, en términos de velocidad, observamos una diferencia considerable entre Network Analyst y los otros dos servicios. Google Maps y OpenStreetMap sugieren velocidades significativamente más altas (hasta un 75% más rápido que Network Analyst) esto siendo resultado de las condiciones que predisponen ambos servicios al considerar que el recorrido se realizará en un vehículo particular.

Por último, en la variable de tiempo, Network Analyst predice tiempos notablemente más largos que los otros dos servicios, siendo aproximadamente un 30% más alto que Google Maps. OpenStreetMap es el más rápido, prediciendo un 15% menos de tiempo que Google Maps, resultados proporcionales a la velocidad de recorrido que adopta cada servicio.

La distancia es bastante consistente entre los tres servicios, pero hay diferencias significativas en las predicciones de velocidad y tiempo. Network Analyst sugiere un tránsito más lento y más prolongado, debido a que las condiciones predispuestas en el network dataset están ajustadas para simular el recorrido de un vehículo de transporte

publico mientras que Google Maps y OpenStreetMap proporcionan estimaciones más optimistas, especialmente en cuanto al tiempo de viaje ya que ambas herramientas no poseen un parámetro de ajuste en el apartado de velocidad.

Sin embargo, si se realiza un ajuste manual de las condiciones de ambos servicios (Google Maps y OpenStreetMap) interpolando los tiempos usando un valor de velocidad igual al de Network Analyst (20 Km/hr), para simular las mismas condiciones de recorrido, se puede realizar un recalcu de los tiempos de recorrido.

La fórmula básica para calcular el tiempo es:

$$Tiempo = \frac{Distancia}{Velocidad}$$

Donde:

- Distancia está en metros (m).
- Velocidad está en metros por segundo (m/s), por lo que convertimos 20 km/h a metros por segundo.

Conversión de la velocidad:

Sabemos que:

$$Velocidad\ en\ (m/s) = \frac{Velocidad\ en\ (Km/hr)}{3.6}$$

Por lo tanto, para 20 Km/hr:

$$Velocidad\ en\ (m/s) = \frac{20}{3.6} = 5.56\ m/s$$

De modo que si se realiza el cálculo de los nuevos tiempos para Google Maps y OpenStreetMap:

- Google Mapas (distancia = 8200 m.)

$$Tiempo = \frac{8200}{5.56} = 1475.72\ segundos \approx 24.59\ minutos$$

- OpenStreetMaps (distancia = 8400 m.)

$$Tiempo = \frac{8400}{5.56} = 1510.79 \text{ segundos} \approx 25.18 \text{ minutos}$$

Obtenemos la siguiente tabla de resultados:

Tabla N.º 11 Resultados ajustados.

SERVICIO	TIEMPO ORIGINAL (MIN)	TIEMPO AJUSTADO (MIN) CON 20 KM/HR
NETWORK ANALYST	25	25
GOOGLE MAPS	19	24.59
OPENSTREETMAP	16	25.18

Fuente: Elaboración propia.

De modo que si se vuelve a realizar el cálculo de las diferencias relativas.

- Network Analyst vs Google Maps (ajustado)

$$\frac{|25 - 24.59|}{25} * 100 = 1.64\%$$

- Network Analyst vs OpenStreetMaps (ajustado)

$$\frac{|25 - 25.18|}{25} * 100 = 0.72\%$$

Al ajustar los tiempos de Google Maps y OpenStreetMap a la misma velocidad que Network Analyst (20 km/h), los tiempos resultan ser muy similares, con diferencias menores al 2%. Esto sugiere que la discrepancia inicial en los tiempos no era tanto por las distancias, sino principalmente por las diferentes velocidades consideradas por cada servicio.

Las principales diferencias entre cada herramienta recaen en el propósito, los datos que utilizan, sus características y las limitaciones de cada una.

1. Google Maps

Propósito: es una herramienta popular para la navegación, proporcionando rutas óptimas para vehículos, peatones, ciclistas y transporte público.

Datos: utiliza datos de tráfico en tiempo real, actualizaciones automáticas y está basado en una vasta base de datos proporcionada por Google y contribuciones de los usuarios.

Características:

Interfaz fácil de usar: está diseñado para ser accesible a cualquier usuario.

Rutas en tiempo real: proporciona rutas y tiempos de viaje en función de condiciones actuales de tráfico, con sugerencias de rutas alternativas.

Información de transporte público: ofrece información en tiempo real sobre horarios de transporte, paradas y rutas.

Limitaciones:

Personalización limitada: no es ideal para realizar análisis personalizados o comparar escenarios específicos.

Acceso restringido a datos: Google controla los datos y limita la capacidad de los usuarios de descargarlos o analizarlos en detalle.

Falta de análisis avanzado: no está diseñado para análisis complejos, como asignación de flujos o simulación de múltiples escenarios de transporte.

2. OpenStreetMap (OSM)

Propósito: es un proyecto de mapeo colaborativo y abierto que permite a los usuarios crear y compartir datos geoespaciales de cualquier parte del mundo.

Datos: los datos son proporcionados y actualizados por una comunidad global, lo que permite su uso en aplicaciones de mapas, análisis y planificación.

Características:

Acceso a datos abiertos: los usuarios pueden descargar y utilizar datos completos para análisis personalizados.

Colaborativo: los mapas pueden ser editados por cualquier persona, lo que lo convierte en una plataforma muy flexible y en constante actualización.

Personalización: los datos de OSM se pueden integrar con varias herramientas de análisis geoespacial (como QGIS o ArcGIS) para realizar análisis avanzados.

Limitaciones:

Precisión y cobertura variable: la calidad y precisión de los datos pueden variar dependiendo de la región, ya que depende de contribuciones de la comunidad.

No incluye tráfico en tiempo real: carece de datos de tráfico en tiempo real, lo que limita su uso para análisis dinámicos o en tiempo real.

Interfaz limitada: si bien existen herramientas de visualización de OSM, su interfaz de usuario no es tan intuitiva o avanzada como Google Maps.

3. Network Analyst (ArcGIS)

Propósito: es una extensión de ArcGIS diseñada específicamente para el análisis avanzado de redes, ideal para la planificación de transporte, logística y servicios públicos.

Datos: utiliza datos espaciales propios o de terceros, permitiendo una personalización detallada de las redes viales y de transporte.

Características:

Análisis avanzado de redes: Network Analyst permite realizar análisis complejos, como el cálculo de rutas óptimas, análisis de cobertura (áreas de servicio), asignación de rutas de vehículos (VRP), y análisis de accesibilidad.

Personalización total: los usuarios pueden definir restricciones y condiciones específicas (por ejemplo, límites de velocidad, restricciones de vehículos, horas de operación) y ejecutar análisis basados en esas reglas personalizadas.

Optimización de rutas: permite optimizar rutas no solo en función de la distancia más corta, sino también en función de otros factores, como el tiempo de viaje, restricciones de tráfico, y paradas intermedias.

Integración de datos múltiples: se puede integrar con datos de tráfico en tiempo real y bases de datos externas para mejorar la precisión de los resultados.

Escenarios de simulación: Network Analyst facilita la creación de múltiples escenarios de transporte para probar diferentes configuraciones de rutas o infraestructura.

Capacidades avanzadas de visualización: las rutas y resultados del análisis pueden representarse visualmente de manera detallada dentro del entorno GIS, lo que es útil para la presentación y toma de decisiones.

Limitaciones:

Requiere licencias y costos: es una herramienta propietaria que requiere licencias, lo que puede resultar costoso para algunas organizaciones o individuos.

Curva de aprendizaje: es una herramienta avanzada y requiere conocimientos en GIS para aprovechar al máximo sus capacidades.

Datos dependientes del usuario: la calidad del análisis depende de la calidad y cantidad de los datos que el usuario tenga disponibles.

Si se compara Network Analyst con respecto a las otras dos herramientas se pueden establecer los aspectos en los cuales destaca.

- Nivel de detalle y personalización: Network Analyst sobresale en la personalización, ya que permite definir reglas específicas para las rutas, como restricciones de vehículos, horarios y tiempos de viaje, algo que Google Maps no ofrece y que OSM permite solo con integración a otras herramientas.

- Análisis avanzado: Network Analyst ofrece análisis más detallados como áreas de servicio, rutas óptimas según múltiples criterios (distancia, tiempo, coste), y optimización de flotas, lo que lo convierte en la opción más poderosa para el análisis de redes de transporte complejas.

- Visualización y escenarios: la capacidad de simular múltiples escenarios y ver los resultados en mapas detallados es una ventaja significativa de Network Analyst frente a Google Maps y OSM, que son más limitados en este sentido.

- Interoperabilidad: aunque OSM es de acceso abierto, Network Analyst tiene la ventaja de interoperar fácilmente con otros módulos de ArcGIS para un análisis más integral, integrando datos de múltiples fuentes, como datos demográficos, infraestructuras o modelos de terreno.

De modo que se puede concluir en que Network Analyst es la mejor opción cuando se trata de análisis avanzados y personalizados de rutas de transporte, ya que permite un control detallado sobre las condiciones de la red y escenarios de simulación, ajustándose a las necesidades del usuario, en este caso el cálculo para un vehículo de transporte público sujeto a condiciones específicas, algo que ni Google Maps ni OSM ofrecen con la misma profundidad. Aunque Google Maps y OpenStreetMap son útiles para consultas rápidas y aplicaciones generales, Network Analyst es una herramienta superior para análisis de redes detallados y personalizados, especialmente en proyectos de planificación, transporte y logística que requieren una profundidad técnica y flexibilidad mayor.

De manera que, una vez se ha comprobado la confiabilidad de los resultados que proporciona Network Analyst, elaborar una nueva ruta de transporte público, implica seguir una serie de pasos detallados y tomar en cuenta múltiples factores relacionados con tiempo, distancia y otros elementos que influyen en la planificación de rutas de transporte.

1. Definir el Propósito y Objetivos de la Ruta

Antes de comenzar con el análisis, es importante tener claros los objetivos:

- Mejoramiento la conectividad de un área específica

Como parte de la planificación, es importante considerar que el objetivo de la ruta es conectar el Campo Ferial del barrio Constructor con el barrio Las Palmas de acuerdo a las necesidades socioeconómicas de los habitantes.

- Reducir el tiempo de viaje de los usuarios

Otro de los requerimientos es que el recorrido de la ruta les brinde a los usuarios tiempos de viaje eficientes, de modo que la variable de impedancia a la hora de realizar la simulación será la de tiempo.

- Aumentar la cobertura de transporte público

Como parte de los requerimientos al ser una ruta de transporte público, esta no solo tendrá como objetivo el Campo Ferial del Barrio Constructor y el barrio las Palmas, esta también deberá ofrecer una cobertura de puntos de interés para los usuarios para brindar un mejor servicio de recorrido y asimismo presentar un mejor desempeño económico para los transportistas.

Esto permitirá que los siguientes pasos sean más precisos y enfocados en los resultados que se quieren lograr.

2. Recolección y Preparación de Datos

Datos espaciales necesarios:

Puntos de interés (POI): hospitales, escuelas, estaciones de trenes, paradas de autobús actuales, y otras ubicaciones clave que puedan requerir acceso a transporte público.

En este caso específico se ha definido que la ruta tendrá dos puntos medios los cuales serán paradas en punto de interés para los usuarios supuestos de la nueva ruta, dichos puntos son el Palacio de Justicia y el Hospital de segundo nivel San Antonio, puntos definidos como un requerimiento fundamental para los usuarios.

Zonas de población: capas con datos demográficos que permitan identificar áreas densamente pobladas.

El objetivo de plantear esta nueva ruta, es conectar el Barrio las Palmas con los demás puntos de interés debido a que este se encuentra en constante crecimiento poblacional.

Restricciones: datos que afecten el tráfico, como límites de velocidad, condiciones de tráfico histórico, zonas de acceso restringido, etc.

Las restricciones están definidas de acuerdo al vehículo, la nueva ruta se plantea como una nueva ruta de autobús, de modo que los parámetros de velocidad se ajustaran de acuerdo a las velocidades medias.

Datos de transporte actual: rutas actuales de autobuses o cualquier otro tipo de transporte público que ya opere en la zona.

Para esta simulación no se realizará una comparación dado que el objetivo es plantear una ruta nueva y en base a los resultados de la simulación establecer si la funcionalidad de la misma logra satisfacer las necesidades de los usuarios.

3. Análisis de Factores de Tiempo y Distancia

Tiempo de viaje y distancia son dos de los principales factores que afectan una ruta de transporte público.

Distancia: puedes configurarse como uno de los impedimentos principales para el análisis de la ruta. Esto permite que Network Analyst busque rutas que minimicen la distancia total recorrida.

Tiempo: es posible que se requiera optimizar la ruta basada en el tiempo de viaje en lugar de la distancia. Para ello, se debe incluir el tiempo que toma recorrer cada tramo de la red vial, calculado a partir de la longitud de los tramos y la velocidad promedio permitida.

Ponderación de variables: dependiendo del tipo de análisis que se realice, es posible que se prefiera ponderar el tiempo sobre la distancia, o viceversa. Por ejemplo, si el objetivo es maximizar la velocidad de viaje, el tiempo será más relevante.

4. Criterios de Optimización

Con los datos preparados, se puede establecer los criterios de optimización:

Minimización del tiempo: Network Analyst buscará rutas que minimicen el tiempo de viaje, considerando la velocidad de las calles y las condiciones de tráfico.

Minimización de la distancia: si el objetivo es reducir la distancia total que recorren los autobuses, se puede establecer este criterio.

Balance entre tiempo y distancia: se puede ponderar ambos factores para crear rutas que logren un equilibrio entre la distancia recorrida y el tiempo de viaje.

5. Restricciones y Condiciones del Transporte

Es fundamental establecer restricciones que afecten las rutas. Estas restricciones pueden incluir:

Accesibilidad: algunas calles pueden estar restringidas para autobuses debido a su tamaño o a restricciones de acceso.

Zonas peatonales o carriles exclusivos: si existen carriles exclusivos para transporte público, pueden integrarse en el análisis.

Zonas prohibidas: como áreas con restricciones ambientales o de seguridad donde no se permite el paso de vehículos públicos.

6. Definición de Paradas y Frecuencia del Servicio

Una parte clave de la planificación de una nueva ruta es la ubicación de las paradas de cada línea.

Paradas estratégicas: ubica las paradas en áreas con alta demanda de pasajeros, como zonas residenciales densas, áreas comerciales, hospitales, o estaciones de transferencia con otros medios de transporte.

Frecuencia del servicio: determina cuántos autobuses estarán operando en la ruta y con qué frecuencia. Las horas pico pueden requerir mayor frecuencia de autobuses.

7. Simulación y Ajustes

Después de generar una propuesta de ruta, es útil realizar simulaciones de cómo se comportaría en la práctica. Esto incluye:

Simulación de la demanda de pasajeros: estimar cuántos usuarios podrían utilizar la ruta basándose en datos demográficos y flujos actuales de transporte.

Simulación de tiempo de viaje: analizar cuánto tiempo tomaría recorrer la ruta en diferentes horarios del día.

Ajustes: si los tiempos de viaje son demasiado largos o las rutas no son eficientes, se puede ajustar los criterios y restricciones para optimizar la ruta.

8. Comparación con Rutas Existentes

Una vez que se ha generado una nueva ruta, es recomendable compararla con las rutas existentes para determinar si proporciona beneficios en términos de cobertura, tiempo de

viaje o costo operativo. Network Analyst permite realizar comparaciones cuantitativas, como:

Reducción de tiempo: cuánto tiempo ahorra la nueva ruta en comparación con las rutas actuales.

Reducción de distancia: si la nueva ruta reduce significativamente el kilometraje.

Cobertura: si la nueva ruta sirve a áreas no cubiertas por el sistema actual.

9. Presentación de Resultados y Toma de Decisiones

Finalmente, los resultados del análisis se deben presentar de manera clara y comprensible para los tomadores de decisiones. Esto puede incluir mapas que muestren las nuevas rutas propuestas, gráficos de tiempos de viaje, distancias recorridas, y análisis de costos operativos.

Una vez definido el proceso de planeación solo queda realizar la construcción de la vía requerida tomando en cuenta todos los factores descritos con anterioridad.

De modo que, si se observan las Figuras 14 y 15 del Anexo A, se puede observar la solución propuesta por Network Analyst, que difiere bastante de la anterior, ya que el nuevo análisis realizado está sujeto a nuevas condiciones las cuales responden a las necesidades de los usuarios.

Dando como resultado un recorrido total de 8,8 Km aproximadamente en un tiempo de 31 minutos, la cual sería una primera opción, parte de las ventajas de trabajar con dicha herramienta, es que, al ser un proceso más automático, se puedan realizar varias pruebas con mayor facilidad y así permitirles a los encargados de la planificación evaluar las diferentes soluciones.

3.3.3.Digitalización de Rutas Existentes.

Una vez definidas todas las unidades de muestreo dispuestas para la investigación, se procedió al ruteo y digitalización de dichas muestras en campo, con el objetivo de conocer el recorrido de cada una de las líneas a lo largo del área de estudio.

Para la realización de dicha actividad se hizo uso de la aplicación Outdooractive, la cual es un sistema GPS de tracking que permite a sus usuarios realizar un seguimiento de rutas recopilando datos de distancia, altura, velocidad en tiempo real.

Para el ruteo, se procedió al ingreso y recorrido de todas y cada una de las unidades de muestra, realizando el respectivo tracking de cada una, tal como se puede observar en las Figuras 16 y 17 del Anexo A.

Con la finalidad de obtener valores representativos de cada ruta para hacer un mejor análisis, se registraron 15 trackeos de los recorridos pertenecientes a la muestra determinada para el estudio, de modo que se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla N.º 12 Datos obtenidos micro línea 5.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	5.39	20.89
2	5.37	18.01
3	5.38	17.22
4	5.38	19.78
5	5.38	18.76
6	5.37	19.42
7	5.39	18.78
8	5.39	19.80
9	5.37	18.72
10	5.38	18.74
11	5.39	17.72
12	5.37	20.64
13	5.39	19.16
14	5.38	21.63
15	5.37	19.18
Media	5.38	19.23
Desviación	0.005	1.193

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 13 Datos obtenidos micro linea 6.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	4.65	15.13
2	4.65	16.03
3	4.65	16.90
4	4.65	14.70
5	4.65	16.89
6	4.65	16.02
7	4.65	18.47
8	4.65	16.37
9	4.65	17.63
10	4.65	16.36
11	4.65	17.84
12	4.65	15.38
13	4.65	16.58
14	4.65	15.99
15	4.65	16.00
Media	4.65	16.42
Desviación	0.004	1.019

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 14 Datos obtenidos micro linea D.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	3.17	14.54
2	3.17	12.89
3	3.17	14.81
4	3.17	14.05
5	3.17	14.06
6	3.17	14.82
7	3.17	15.46
8	3.17	14.35
9	3.17	16.20
10	3.17	14.36
11	3.17	14.02
12	3.17	14.03
13	3.17	13.27
14	3.17	15.65
15	3.17	13.49
Media	3.17	14.40
Desviación	0.003	0.893

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 15 Datos obtenidos taxitrufi banderita azul.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	4.77	14.77
2	4.77	17.21
3	4.77	15.97
4	4.77	18.03
5	4.77	15.99
6	4.77	17.42
7	4.77	15.01
8	4.77	14.35
9	4.77	16.49
10	4.77	15.64
11	4.77	16.19
12	4.77	15.65
13	4.77	16.50
14	4.77	15.61
15	4.77	15.62
Media	4.77	16.03
Desviación	0.004	0.994

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 16 Datos obtenidos taxitrufi banderita azul - amarillo.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	5.13	15.73
2	5.13	18.07
3	5.13	17.14
4	5.14	19.76
5	5.13	17.52
6	5.14	18.09
7	5.14	17.11
8	5.12	17.12
9	5.12	19.09
10	5.12	16.45
11	5.14	17.74
12	5.12	17.16
13	5.13	16.19
14	5.14	18.86
15	5.12	17.51
Media	5.13	17.57
Desviación	0.004	1.090

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 17 Datos obtenidos taxitrufi banderita azul – rosa claro.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	4.25	13.27
2	4.25	13.99
3	4.25	13.23
4	4.25	13.24
5	4.25	12.73
6	4.25	12.17
7	4.25	13.98
8	4.25	13.55
9	4.25	14.77
10	4.25	12.52
11	4.25	14.59
12	4.25	13.54
13	4.25	15.29
14	4.25	13.26
15	4.25	13.72
Media	4.25	13.59
Desviación	0.004	0.843

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 18 Datos obtenidos taxitrufi banderita morado - blanco.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	5.39	19.14
2	5.39	16.97
3	5.39	18.49
4	5.40	15.94
5	5.38	15.24
6	5.40	17.51
7	5.40	16.61
8	5.38	17.19
9	5.39	16.62
10	5.40	17.52
11	5.38	16.57
12	5.40	16.59
13	5.39	15.68
14	5.38	18.27
15	5.38	16.96
Media	5.39	17.02
Desviación	0.005	1.056

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 19 Datos obtenidos taxitrufi banderita rojo - amarillo.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	7.75	26.61
2	7.77	26.63
3	7.76	25.18
4	7.76	27.25
5	7.76	29.69
6	7.77	25.59
7	7.75	24.47
8	7.75	29.34
9	7.75	27.23
10	7.76	30.74
11	7.77	28.11
12	7.77	26.67
13	7.75	27.60
14	7.76	26.69
15	7.77	28.13
Media	7.76	27.33
Desviación	0.007	1.695

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.º 20 Datos obtenidos taxitrufi banderita verde claro - blanco.

NRO. MUESTRA	DISTANCIA	TIEMPO
	KM	MIN
1	5.60	21.34
2	5.61	18.39
3	5.59	17.59
4	5.61	20.20
5	5.61	19.16
6	5.59	19.83
7	5.60	19.18
8	5.61	20.22
9	5.59	19.12
10	5.61	19.14
11	5.60	18.10
12	5.59	21.08
13	5.59	19.57
14	5.60	22.09
15	5.60	19.59
Media	5.60	19.64
Desviación	0.005	1.218

Fuente: Elaboración propia.

Cada tabla contiene los datos de todas las muestras tomadas en campo, cuyas variaciones entre muestras para cada línea de transporte público pueden observarse desde la Figura 18 hasta la Figura 28 del Anexo A.

Una vez realizado el tracking y recorrido completo de todas y cada una de las unidades de muestra cómo se observa en las Figuras 36 y 37 del Anexo A, en gabinete, se realizó la exportación de todas y cada una de las rutas al sistema de información geográfica Google Earth Pro mediante el formato de archivo “.kml”, el cual se utilizó para georreferenciar toda la información de tracking obtenida al sistema de coordenadas “WGS 1984 UTM Zona 20 Sur” para su posterior exportación al sistema de información geográfica ArcGis en el cual se encuentra la herramienta de análisis vial Network Analyst, tal como se indica en las Figuras 38, 39 y 40 del Anexo A.

Una vez verificada toda la información obtenida mediante Outdooractive en Google Earth Pro, se procedió a realizar la conversión de todos los archivos “.kml” en “shapefile” extensión la cual es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas, en el SIG ArcGis mediante la herramienta de conversión “Kml to Layer” como se observa en las Figuras 41 y 42 del Anexo A.

3.3.4.Digitalización de Vías.

Para poder realizar un análisis mediante las herramientas que nos ofrece Network Analyst, se requiere contar con la forma y geometría del área en la cual se desea realizar el análisis de modo que, una vez delimitada la muestra e identificada el área de estudio, se procede a la elaboración de los archivos shapefile que se usaran como base para Network Analyst a la hora de construir el Network Dataset.

Mediante el freeware SASPlanet, el cual es un programa diseñado para ver y descargar imágenes satelitales de alta resolución, ubicamos las redes de transporte previamente generadas en .kml y se procede a descargar un raster en formato .tiff que contenga la información vial del área de estudio, como se muestra en la Figura 43 del Anexo A.

Imagen satelital la cual servirá como apoyo para elaborar la red vial de análisis con los datos de atributo y geometría necesarios, para poder realizar el análisis con información fidedigna.

3.3.4.1. Nodos de red.

Como primer paso para la digitalización de la red, se crea un archivo shapefile de puntos el cual se utilizará para digitalizar todas las intersecciones, cruces y cualquier otro punto donde se conectan las redes viales, dándole a cada punto un atributo numérico que servirá como código de identificación, como se muestra en la Figura 44 del Anexo A.

3.3.4.2. Líneas de red vial.

Una vez identificadas, digitalizadas y codificadas todas las intersecciones de la zona de estudio, se realiza la creación de un nuevo archivo Shapefile en formato de líneas, mediante el cual se debe realizar la digitalización de todas las rutas viales transitables, teniendo en cuenta que cada elemento cuente con un nodo de inicio y fin, nodos los cuales representan las intersecciones digitalizadas previamente, tal como se puede observar en la Figura 45 del Anexo A.

3.3.4.3. Inclusión de atributos.

Una vez definidos todos los elementos que conformaran la red vial del Network Dataset, se debe realizar la inclusión de atributos, estos atributos funcionan como celdas de información que le permiten al SIG interpretar todas y cada una de las características requeridas para la realización de un análisis vial, de modo que cuanta más información se le traduzca a la herramienta, mayor precisión y exactitud tendrá la misma a la hora de generar un resultado en base a las condiciones que se requieran para el análisis.

De modo que en el propio archivo shapefile de líneas, en la opción “Open Attribute Table” se deberán asignar los campos de información mínimos requeridos para un análisis mediante Network Analyst.

Siendo estos atributos, “NOMBRE” atributo en el cual se asignarán los nombres de todas las calles y avenidas a las que correspondan los elementos lineales, “GRADE” siendo este atributo el nivel de servicio de la vía, el nudo de inicio de la vía como “FNODE”, el nodo de fin de la vía como “TNODE”, el sentido de la vía como “SENT” siendo este un atributo

numérico referido a si la vía se transita en un solo sentido o en ambos sentidos, como se muestra en las Figuras 46 y 47 del Anexo A.

Estos atributos se asignan como características iniciales de los segmentos viales, con el objetivo de identificar dichos segmentos y el cómo están constituidos.

Adicionalmente, se asignarán otro conjunto de celdas, cuya información se determinará mediante las funciones de ArcGis en base a la información inicial.

3.3.4.3.1. METERS.

Para este atributo, se creará un nuevo tipo de celda el cual trabajará con el tipo “double”, lo cual nos permitirá realizar cálculos a partir de la información de los segmentos de líneas, como se muestra en las Figuras 48 y 49 del Anexo A.

De modo que, una vez creada la celda, se procede a hacer clic en la misma para desplegar la ventana de opciones de tabla, ventana en la cual ingresaremos a la opción de calcular geometría.

Una vez desplegada la nueva ventana de cálculo de geometría, en propiedad, seleccionamos la opción “Length” la cual se refiere a longitud, verificando que el archivo shape esté trabajando en el sistema de coordenadas establecido, y realice el cálculo de las magnitudes en las unidades que se desean trabajar, en este caso metros, tal como se muestra en las Figuras 50 y 51 del Anexo A.

3.3.4.3.2. ONEWAY.

Para la determinación de este atributo nuevamente en las opciones de tabla, agregamos una nueva celda, cual tendrá el nombre de “ONEWAY” y corresponderá al tipo “String”, con una escala de 8 caracteres, como se muestra en las Figuras 52 y 53 del Anexo A.

De modo que, una vez establecida la celda, se procede realizar una selección de datos por atributo, donde seleccionaremos la celda de “SENT” y especificaremos que se seleccionen solo aquellos atributos que tengan un valor de 1 en la celda de tipo de sentido, como se muestra en las Figuras 54, 55 y 56 del Anexo A.

Se seleccionaran solo aquellos elementos que cumplan con dicha condición, posterior a ellos se deberá desplegar la ventana de opciones de la celda “ONEWAY” e ingresar a la

calculadora de celdas, ventana en la cual se deberá calcular que “ONEWAY = FT” como se observa en las Figuras 57 y 58 del Anexo A.

Se debe repetir todo el proceso para los elementos cuyo valor de sentido sea 2, esta vez estableciendo en la calculadora de celdas que “ONEWAY = BI” para que la herramienta pueda interpretar cuales son los segmentos que trabajan como vías de un solo o de doble sentido.

3.3.4.3.3. HIERARCHY.

Para este atributo se debe proceder a crear nuevamente otra celda la cual tendrá el nombre “HIERARCHY” que será del tipo “Double” y funcionará como un atributo numérico para establecer la jerarquía de las vías de acuerdo al marco normativo establecido para esta investigación.

Una vez creada la nueva celda de información, nuevamente se ingresa a la herramienta de selección por atributos, en la cual se seleccionarán los valores que correspondan a la celda “GRADE” los cuales tenga la característica de “primary” refiriéndose a las vías que tengan un nivel primario de servicio como se observa en las Figuras 59, 60 y 61 del Anexo A.

De modo que se seleccionen únicamente aquellos segmentos de vía que correspondan con dicha característica.

Con la herramienta de cálculo de celdas se asigna a la celda de “HIERARCHY” el valor correspondiente del nivel de servicio de cada uno de los segmentos de vía, siendo estos “1” para “primary”, “2” para “secondary”, “3” para “tertiary” y “4” para “residential”.

3.3.4.3.4. F_MINUTES y T_MINUTES.

Como parte final de la determinación de atributos requeridos para el Network Dataset, se deben crear dos celdas más, las cuales corresponderán a los nombres “F_MINUTES” y “T_MINUTES” respectivamente, para esta celda se requiere hacer nuevamente una selección por atributo, esta vez utilizando como base los datos de la celda “HIERARCHY”.

Se deberá separar la selección de segmentos de acuerdo a la jerarquía de los mismo de modo que para cada uno de los datos se pueda realizar un respectivo cálculo de tiempo en

minutos, considerando la longitud de cada segmento y la velocidad máxima transitable por los vehículos de transporte público seleccionados para la investigación.

De modo que, haciendo uso de la herramienta de cálculo de celdas, establecemos que “F_MINUTES = [METERS]*60/25000” para los segmentos de vía que correspondan a la jerarquía 1, siendo el 60 una constante de conversión a minutos y el 25000 el valor de la velocidad en metros hora, de modo que la calculadora asigne los datos tiempo que se tarda en recorrer cada uno de los segmentos como se muestra en la Figura 62 del Anexo A.

3.4.DATASET.

3.4.1. Base de Datos espacial.

Una vez definidos los archivos shapefile con todos los datos de atributos requeridos para elaborar el Network Dataset, antes de proceder con el mismo, se debe realizar la creación de una “Geodatabase” que es un conjunto de datasets geográficos de distintas clases que están almacenados en una carpeta común del sistema de archivos o en un sistema de administración de bases de datos relacionales (como Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, IBM Informix o IBM Db2).

Para crear una Geodatabase, primeramente, debemos ubicarnos en la herramienta de “catalog” en ArcGis, la cual nos permitirá acceder al directorio de carpetas y almacenamiento de nuestro ordenador, de modo que una vez ubicada la carpeta en la cual deseamos guardar dicha base de datos, hacemos clic para desplegar la ventana de herramientas y así poder acceder a opción de crear una nueva Geodatabase, tal como se observa en la Figura 63 del Anexo A.

Una vez creada la base de datos en la cual se trabajará la información que se generó en ArcGis, en el propio archivo se deberá desplegar la ventana de herramientas para crear un nuevo “Feature Dataset” el cual es una colección de clases de entidad almacenadas juntas que comparten una referencia espacial (sistema de coordenadas) y un área geográfica común, como se muestra en las Figuras 64, 65 y 66 del Anexo A.

Una vez que se haya creado el Feature Dataset, se deberá exportar el shapefile de segmentos de vía a la Geodatabase para que este pueda disponer de la información cargada

en conjunto con los demás parámetros, tal como se muestra en las Figuras 67 y 68 del Anexo A.

3.4.2.Topología de Redes.

Una vez se hayan exportado todos los datos a la Geodatabase, en el Feature Dataset, creamos un nuevo archivo de “Topology” es cual es una herramienta la cual nos permite corregir la topología de la red, para que dicha red no presente errores referidos a las coordenadas, nodos y segmentos a la hora de generar el Network Dataset.

Una vez se seleccione la opción “new Topology” se abrirá una nueva ventana la cual nos pedirá establecer los parámetros de análisis que realizará la herramienta para crear una nueva topología que nos permita interrelacionar los diferentes tipos de shapefile con la información que contienen los mismos, como se puede observar de la Figura 69 a la Figura 73 del Anexo A.

Una vez establecidos los criterios de análisis topológico, adicionalmente, la herramienta nos pedirá establecer una serie de reglas las cuales nos ayudarán a detectar errores que puedan presentar los elementos generados, reglas como ser, que las intersecciones no coincidan con los segmentos, que estos elementos se crucen, no exista una interconexión entre los mismo.

Una vez establecidas las reglas de análisis para la generación de una nueva topología como se observa de la Figura 74 a la Figura 77 del Anexo A, se mostrará en el visor de ArcGis la red vial, con todos los errores que podría contener la misma para su posterior corrección antes de generar el Network Dataset, tal como se muestra en las Figuras 78, 79 y 80 del Anexo A.

Una vez identificados y corregidos los errores que pudiese presentar la red vial, por último, se debe validar la nueva topología, para que se enlace con el archivo shapefile de atributos que se exporto con anterioridad, como se observa en la Figura 81 del Anexo A.

3.4.3.Creación de un Network Dataset.

Una vez el modelado de la red se encuentre en condiciones para realizar la creación de un Network Dataset, procedemos a crear uno a partir del Feature Dataset, en el cual esta enlazado el shapefile de datos que se construyó con toda la información generada en

campo y el archivo de topología corregida, mediante la cual se corrigieron los errores referidos a este apartado en la red, dado que conceptualmente un Network Dataset es un conjunto de elementos de red conectados topológicamente derivados de fuentes de red.

Se despliega la ventana de herramientas y se procede a darle a la opción “new Network Dataset”, una vez se haya seleccionado la opción de crear un nuevo Network Dataset como se indica en la Figura 82 del Anexo A, se desplegarán una serie de ventanas las cuales requerirán que se definan los parámetros mediante los cuales trabajará el conjunto de elementos.

Se le proporciona un nombre al archivo y asimismo se selecciona la versión de la herramienta con la cual se desea trabajar, para esta investigación se optó por la versión 10.1.

Seguidamente seleccionamos el archivo de segmentos de vía mediante el cual la red se generará estableciendo el tipo de conexión entre segmentos y nodos, tal como se indica desde la Figura 83 a la Figura 86 del Anexo A.

Una vez se hayan configurado estos parámetros, adicionalmente se mostrará una ventana en la cual se podrán observar los atributos que se cargaron en el shapefile de vías, siendo estos valores de impedancia necesarios para que la herramienta Network Analyst pueda ejecutar un análisis vial mediante el Network Dataset

Posterior a ello emergerá una ventana que pedirá establecer una configuración de direcciones para el flujo vehicular para el Network Dataset que se está generando, de modo que, al abrir la opción, se deberá verificar el sistema de unidades en el cual se expresaran los resultados de los análisis que se hagan posteriormente, como se observa en las Figuras 87, 88 y 89 del Anexo A.

Por último, emergerá una última ventana mostrara dentro de su contenido un resumen de todos los parámetros que se han establecido, y serán los que usará la red para realizar cualquiera de los análisis, como se muestra en la Figura 90 del Anexo A.

Y así al finalizar se habrá generado una nueva capa de elementos la cual se puede llamar Network Dataset ya que es un conjunto de todos los elementos, datos y parámetros establecidos previamente, como se indica en la Figura 91 del Anexo A.

3.4.4.Trazado de Ruta.

Una vez construida la red en Network Dataset, teniendo cargados todos los parámetros relevantes para el análisis, se puede proceder con el trazado de las rutas, mediante las herramientas de Network Analyst.

Para realizar el trazado de una nueva ruta, se procede a seleccionar la herramienta la en la ventana de Network Analyst, lo cual desplegará una nueva serie de opciones de las cuales se podrá visualizar todas las condiciones y restricciones que podemos asignarle a la ruta al momento de ser generada, siendo estos, paradas, rutas, barreras de puntos en las cuales podemos agregar restricciones de paso o restricciones de costo, barreras de líneas en las cuales se podrá asignar restricciones de paso y escalado de costo y por ultimo barreras de polígonos en los cuales también se podrá añadir restricciones de paso y escalado de costos, tal como se indica en las Figuras 92, 93 y 94 del Anexo A.

Para crear un nuevo trazado de ruta, hay que situar el cursor en la ventana de Network Analyst y hacer clic en la herramienta de creación de locaciones la cual nos permitirá establecer parámetros como ser puntos de paso o paradas obligadas a la hora de generar una nueva ruta, como se observa desde la Figura 95 a la Figura 98 del Anexo A.

Una vez se hayan establecido las condiciones propuestas por el usuario, en la barra de herramientas se hace clic en el botón de “solve” para que Network Analyst trace una alternativa de ruta de acuerdo a las condiciones propuestas por el usuario y los criterios de impedancia que se establezcan, tal como se indica en las Figuras 99 y 100 del Anexo A.

Una vez se haya trazado la ruta, adicionalmente, se puede desplegar la ventana de “directions” ubicada en la barra de herramientas de Network Analyst la cual nos permitirá visualizar con mayor detalle el trazo de la ruta contemplando en los resultados, las distancias recorridas, la ruta escogida, el segmento de la red vial y el tiempo de recorrido estimado en base a los datos que se proporcionaron al Network Dataset a la hora de elaborar la base de datos, como se indica desde la Figura 101 a la Figura 104 del Anexo A.

Adicionalmente se puede desplegar la venta de propiedades de ruta, a cual se encuentra ubicada en la ventana de Network Analyst, en la cual se puede ver la configuración del análisis que va a realizar la herramienta, siendo uno de los parámetros los valores de impedancia, en los cuales se puede seleccionar que criterio de análisis se utilizara, siendo esto por ejemplo, el trazado de una ruta de acuerdo a la longitud de recorrido más corta, o al intervalo de tiempo más rápido e incluso acumular ambos valores de impedancia para realizar un análisis compuesto orientado a la eficiencia distancia tiempo de la ruta, como se muestra desde la Figura 105 a la Figura 110 del Anexo A.

3.5. APLICACIÓN DEL NETWORK DATASET A LAS RUTAS DE TRANSPORTE PUBLICO

Para aplicar el network dataset, a las rutas de transporte publico primeramente se debe cargar la capa de datos obtenidos en campo, para realizar un análisis externo de los puntos de importancia de cada una de las vías, con el objetivo de condicionar a la herramienta de análisis, para que cuando ejecute la simulación, está presente una alternativa coherente con los datos obtenido en campo, como se indica en la Figura 111 del Anexo A.

Una vez definidas las condiciones de análisis se hace correr la simulación para poder previsualizar los resultados del análisis que ejecuta Network Analyst a la hora de establecer una nueva ruta, bajo los criterios de impedancia de máxima eficiencia.

Cada simulación estará condicionada a los datos de entrada que se les proporcione a los atributos necesarios para la formulación del Network Dataset, de modo que la solución presentada no es la única solución, ya que los datos pueden modificarse para la obtención de otro tipo de resultados, variables que se pueden considerar bajo los criterios del usuario,

Se pueden establecer variables externas de análisis a los datos, como ser tráfico, temporalidad, restricciones de ruta, costos de funcionamiento.

Para una primera simulación de Network Analyst se tomó como muestra la ruta de la Línea 5 de micros.

El análisis, de la línea 5 de micros se realizó primeramente estableciendo las condiciones de network analyst para esta ruta, tomando en cuenta como paradas obligatorias 3 puntos

de interés, siendo estos el puente San Martín, el final de la calle Hermanos Ruiloba y por último la parada del micro en el barrio Alto Senac casi al final de la calle Los Paraísos.

El tracking realizado en campo indica una longitud de ruta de 5384.41 m. de recorrido desde el puente San Martín hasta la parada, en un tiempo aproximado de 19,23 minutos.

En Análisis realizado con Network Analyst indica una longitud de recorrido de 5172.60 m. en un intervalo de tiempo de 18 minutos.

Teniendo en cuenta que la similitud entre la ruta actual y la recomendada por Network Analyst muestra una coincidencia de entre el 75% al 80% una relación entre distancia y tiempo bastante similar y bastante acorde a los datos medidos en campo, como se muestra en las Figuras 112, 113 y 114 del Anexo A.

3.6.COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Dada la naturaleza de los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico realizado con los datos de campo y los resultados generados por Network Analyst de acuerdo a las condiciones requeridas para el estudio, la comparación de los resultados se hizo mediante el Error Relativo Porcentual (ERP) que mide la diferencia porcentual entre ambos conjuntos de datos, teniendo como variables la longitud de la ruta y el tiempo de recorrido.

Tabla N.º 21 Comparación de distancias de ruta.

LÍNEA	TRABAJO DE CAMPO (KM)	NETWORK ANALYST (KM)	DIFERENCIA (%)
MICRO LÍNEA 5	5.38	5.17	3.90%
MICRO LÍNEA 6	4.65	4.66	-0.22%
MICRO LÍNEA D	3.18	3.3	-3.77%
TAXITRUFÍ AZUL	4.77	4.28	10.27%
TAXITRUFÍ AZUL - AMARILLO	5.13	4.89	4.68%
TAXITRUFÍ AZUL - ROSA CLARO	4.25	4.15	2.35%
TAXITRUFÍ MORADO - BLANCO	5.39	5.43	-0.74%
TAXITRUFÍ ROJO - AMARILLO	7.76	7.73	0.39%
TAXITRUFÍ VERDE CLARO - BLANCO	5.6	6.44	-13.04%

Fuente: Elaboración propia.

En la mayoría de las líneas, las diferencias en longitud son relativamente pequeñas (menores al 5%).

La mayor diferencia de longitud se observa en Taxitrufi Verde Claro - Blanco, donde Network Analyst indica un 13% más de longitud en comparación con el Trabajo de Campo.

En líneas como Micro Línea 6, Taxitrufi Morado - Blanco y Taxitrufi Rojo - Amarillo, las longitudes son casi idénticas.

Tabla N.º 22 Comparación de tiempo de recorrido.

LÍNEA	TRABAJO DE CAMPO (MIN)	NETWORK ANALYST (MIN)	DIFERENCIA (%)
MICRO LÍNEA 5	19.23	18	6.40%
MICRO LÍNEA 6	16.42	15	9.46%
MICRO LÍNEA D	14.4	12	20.00%
TAXITRUFÍ AZUL	16.03	15	6.43%
TAXITRUFÍ AZUL - AMARILLO	17.57	19	-8.13%
TAXITRUFÍ AZUL - ROSA CLARO	13.59	14	-3.02%
TAXITRUFÍ MORADO - BLANCO	17.02	20	-14.91%
TAXITRUFÍ ROJO - AMARILLO	27.33	31	-13.45%
TAXITRUFÍ VERDE CLARO - BLANCO	19.64	24	-22.15%

Fuente: Elaboración propia.

Las diferencias en tiempo varían más que en longitud.

Micro Línea D tiene una diferencia considerable, donde el tiempo en Network Analyst es un 20% menor que en Trabajo de Campo.

Por otro lado, Taxitrufi Verde Claro - Blanco muestra la mayor diferencia en términos de tiempo, con Network Analyst estimando un 22.15% más de tiempo que el reportado en Trabajo de Campo.

En líneas como Taxitrufi Azul - Amarillo y Taxitrufi Rojo - Amarillo, Network Analyst reporta tiempos significativamente más largos.

En términos de longitud, las diferencias entre los dos métodos son generalmente pequeñas, excepto en algunos casos como Taxitrufi Verde Claro - Blanco.

En términos de tiempo, las diferencias son más pronunciadas, lo que sugiere que Network Analyst podría estar considerando factores adicionales (como tráfico o condiciones de la vía) que no se reflejan en los datos de campo, o puede haber diferencias en la metodología utilizada para estimar el tiempo.

Este análisis sugiere que, si bien las estimaciones de longitud son razonablemente consistentes, las estimaciones de tiempo tienen más variación, lo que podría requerir un ajuste en los datos de entrada para adecuar el análisis a condiciones más cercanas a la realidad.

3.7.ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD.

Para realizar un análisis de confiabilidad de los resultados proporcionados por Network Analyst con respecto a los datos recolectados de campo, se pueden analizar diferentes variables, como la precisión y la consistencia de las estimaciones.

3.7.1.EVALUACIÓN DE PRECISIÓN.

Se realiza una comparación de los valores de longitud y tiempo entre el Trabajo de Campo y Network Analyst usando el error relativo porcentual (ERP) para medir las discrepancias.

Fórmula del error relativo porcentual:

$$ERP = \frac{|Valor_{Trabajo\ de\ campo} - Valor_{Network\ Analyst}|}{Valor_{Network\ Analyst}} * 100$$

De modo que aplicando la fórmula tanto para la longitud como para el tiempo.

Tabla N.º 23 Error relativo porcentual variables.

LÍNEA	ERP LONGITUD (%)	ERP TIEMPO (%)
MICRO LÍNEA 5	0.039	0.064
MICRO LÍNEA 6	0.002	0.095
MICRO LÍNEA D	0.038	0.200
TAXITRUFÍ AZUL	0.103	0.064
TAXITRUFÍ AZUL - AMARILLO	0.047	0.081
TAXITRUFÍ AZUL - ROSA CLARO	0.024	0.030
TAXITRUFÍ MORADO - BLANCO	0.007	0.149
TAXITRUFÍ ROJO - AMARILLO	0.004	0.135
TAXITRUFÍ VERDE CLARO - BLANCO	0.130	0.222

Fuente: Elaboración propia.

Longitud:

El error relativo porcentual en la longitud es en su mayoría bajo. Las diferencias de longitud en varias líneas son menores al 5%, lo que indica una alta precisión en la estimación de la longitud por parte de Network Analyst.

Sin embargo, hay algunos casos con diferencias más significativas, como en Taxitrufi Verde Claro - Blanco (13.04%) y Taxitrufi Azul (10.27%). Aun así, estas diferencias son manejables y no excesivamente grandes, resultados los cuales pueden visualizarse de mejor forma en la Figura 115 del Anexo A.

Tiempo:

El error relativo porcentual en el tiempo muestra una mayor variabilidad, con errores que van desde 3.02% hasta 22.15%.

Líneas como Micro Línea D, Taxitrufi Morado - Blanco y Taxitrufi Verde Claro - Blanco presentan diferencias más altas (20% o más), lo que sugiere que Network Analyst tiene una menor confiabilidad para estimar tiempos en estas rutas.

En otras líneas como Micro Línea 5 y Taxitrufi Azul, el error relativo es menor (aproximadamente 6%), lo que sugiere que Network Analyst es razonablemente confiable para estimar los tiempos en estas rutas, tal como se puede visualizar en la Figura 116 del Anexo A.

3.7.2. ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN DE DATOS.

Para evaluar mejor la confiabilidad, podemos observar cómo se distribuyen las discrepancias utilizando el promedio de los errores relativos y la desviación estándar de esos errores para cada conjunto de datos.

Promedio del Error Relativo:

Longitud:

Promedio de ERP (Longitud)

$$= \frac{3.90\% + 0.22\% + 3.77\% + 10.27\% + 4.68\% + 2.35\% + 0.74\% + 0.39\% + 13.04\%}{9}$$
$$\approx 4.59\%$$

El promedio de los errores relativos para la longitud es bajo, lo que sugiere que las estimaciones de longitud de Network Analyst son en general confiables.

Tiempo:

Promedio de ERP (Tiempo)

$$= \frac{6.40\% + 9.46\% + 20.00\% + 6.43\% + 8.13\% + 3.02\% + 14.91\% + 13.45\% + 22.15\%}{9}$$
$$\approx 11.88\%$$

El promedio del error relativo en el tiempo es más alto, lo que indica menos confiabilidad en las estimaciones de tiempo.

Desviación Estándar del Error Relativo:

La desviación estándar (σ) de los errores relativos nos indica qué tan dispersos están los errores respecto al promedio. A mayor desviación estándar, mayor variabilidad en los errores, lo que implica menor consistencia en las estimaciones.

Para longitud, la desviación estándar es menor que para tiempo, lo que sugiere que las estimaciones de longitud son más consistentes y precisas que las estimaciones de tiempo.

El uso de Network Analyst para análisis de rutas en sistemas de transporte tiene diversas ventajas y desventajas, de modo que si se realiza un análisis basado en los resultados obtenidos y su uso en la planificación vial:

Tabla N.º 24 Ventajas y desventajas del uso de Network Analyst.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Automatización y Eficiencia: Network Analyst permite calcular de manera rápida las rutas óptimas, estimar tiempos y distancias sin necesidad de realizar trabajo de campo extenso.	Limitaciones en la Estimación de Tiempos: Como se observó en el análisis, las estimaciones de tiempo presentan variaciones mayores, con un Error Relativo Porcentual más elevado. En situaciones donde el tráfico, los semáforos o las condiciones de la carretera influyen significativamente, Network Analyst puede subestimar o sobreestimar los tiempos de viaje.
Consistencia en los Resultados: Las estimaciones de distancias, como lo muestran los gráficos de Error Relativo Porcentual, suelen ser bastante precisas. La variación en la longitud entre los datos de campo y los generados por Network Analyst es baja en la mayoría de las rutas analizadas, lo que muestra una alta confiabilidad para medir distancias.	Dependencia de la Calidad de los Datos: Los resultados de Network Analyst son tan buenos como los datos con los que se alimenta. Si los datos sobre la red vial están desactualizados o incompletos, las rutas y tiempos calculados pueden no reflejar la realidad.
Capacidad de Simular Escenarios: Puede simular rutas basadas en diferentes criterios (por ejemplo, minimizar tiempo o distancia), lo cual es útil para planificadores que deseen evaluar diferentes alternativas sin realizar mediciones físicas.	Menos Flexible para Factores Contextuales: El software no considera factores contextuales de campo, como el estado de las carreteras, las condiciones climáticas o eventos imprevistos (obras en las vías, accidentes), que pueden afectar significativamente el tránsito.
Fácil Integración de Datos: Network Analyst se puede combinar con otras capas de datos GIS, permitiendo un análisis más profundo que puede incluir factores como la congestión del tráfico o las restricciones de la red vial, lo que facilita la toma de decisiones informadas.	Los resultados tienden a ser idealizados, lo que puede ser una desventaja cuando se compara con datos empíricos obtenidos en el campo. Costo y Curva de Aprendizaje: Network Analyst, como parte de las herramientas de ArcGIS, puede ser costoso, especialmente para pequeñas organizaciones o proyectos que no requieren análisis a gran escala.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En la mayoría de las líneas, las diferencias en longitud son relativamente pequeñas (menores al 5%). La mayor diferencia de longitud se observa en el Taxitrufi Verde Claro - Blanco, donde Network Analyst indica un 13% más de longitud en comparación con el Trabajo de Campo. En líneas como Micro Línea 6, Taxitrufi Morado - Blanco y Taxitrufi Rojo - Amarillo, las longitudes son casi idénticas.
- Las diferencias en tiempo varían más que en longitud, el Micro Línea D tiene una diferencia considerable, donde el tiempo en Network Analyst es un 20% menor que en el Trabajo de Campo, Por otro lado, el Taxitrufi Verde Claro - Blanco muestra la mayor diferencia en términos de tiempo, con Network Analyst estimando un 22.15% más de tiempo que el reportado en el Trabajo de Campo y en líneas como Taxitrufi Azul - Amarillo y Taxitrufi Rojo - Amarillo, Network Analyst se reportan tiempos significativamente más largos.
- Las estimaciones de longitud proporcionadas por Network Analyst son bastante confiables, con un error relativo promedio bajo (4.59%) y poca dispersión. Las diferencias no superan el 13% en ningún caso, y la mayoría se encuentra por debajo del 5%. Esto indica que Network Analyst es una herramienta confiable para estimar la distancia de las rutas.
- Las estimaciones de tiempo de Network Analyst son menos confiables, con un error relativo promedio más alto (11.88%) y mayor variabilidad en los resultados (algunas diferencias superan el 20%). Esto sugiere que el modelo utilizado por Network Analyst está considerando datos ideales para estimar el tiempo, los cuales no reflejan las condiciones reales de tráfico.
- En comparación a otras herramientas para la estimación de rutas, se concluye que Network Analyst es superior ya que ofrece una capacidad robusta para personalizar y ajustar el análisis de redes a necesidades específicas como ser las rutas de transporte público y el flujo vehicular en el distrito 13 de la ciudad de Tarija.

4.2.RECOMENDACIONES

- La capacidad de Network Analyst para manejar múltiples variables y restricciones, como condiciones de tráfico, restricciones de giro y capacidades de las vías, permite una modelización detallada y realista de la red vial. Esta complejidad es esencial para producir análisis precisos que puedan informar decisiones de planificación y gestión del transporte, por lo tanto, es recomendable que para producir dichos análisis la gama de datos sea confiables y apegados a la realidad.
- Un Network Dataset detallado no solo mejora la operatividad de la red vial actual, sino que también facilita la planificación a largo plazo para el desarrollo de un sistema de transporte más sostenible y resiliente. Al integrar análisis de modos de transporte sostenibles y escenarios futuros, se pueden diseñar redes viales que respondan mejor a los desafíos ambientales y sociales, por lo tanto, es recomendable que la información se actualice de manera consistente y periódica.
- Se recomienda complementar la base de datos del Network Dataset considerando un análisis temporal, de modo que se integren datos de tráfico en tiempo real que reflejen el estado de la vía en horas específicas del día.
- Se recomienda realizar simulaciones bajo condiciones dinámicas como ser las restricciones que varían con el tiempo, como prohibiciones de giro durante ciertas horas del día o días específicos, para tener un análisis más amplio.
- Se recomienda emplear un sistema de referencia espacial estandarizado para asegurar la coherencia de datos, compatibilidad con herramientas y software externos, interoperabilidad con otras fuentes para reducir los errores y aumentar las precisión y eficiencia del proyecto.
- Es recomendable realizar una revisión exhaustiva de los datos recolectados para identificar y corregir posibles errores o inconsistencias.
- Se recomienda la ejecución de varias pruebas en el Network Dataset considerando la variabilidad de escenarios, para obtener una mayor precisión estadística y así poder proporcionar un análisis más robusto y confiable que mejore la calidad de la toma de decisiones.