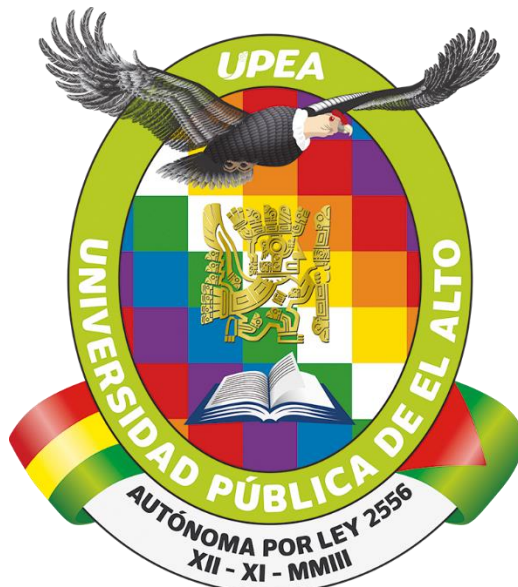


UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



TESIS DE GRADO

“MODELO DE REDIRECCIONAMIENTO VIAL MEDIANTE ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS Y TEORÍA DE GRAFOS EN LA TRANSITABILIDAD VIAL DE EX-TRANCA RIO SECO 2022”

Para Optar al Título de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas
MENCIÓN: GESTIÓN Y PRODUCCIÓN

Postulante : Richard Rudy Onofre Caza
Tutor Metodológico : MSc. Lic. Ing. Fanny Helen Pérez Mamani
Tutor Revisor : Lic. Fredy Alanoca Coareti
Tutor Especialista : Lic. Ing. Walter Emilio Paco Siles

EL ALTO - BOLIVIA
2024

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, **Richard Rudy Onofre Caza** estudiante con C.I. 7029932 LP mediante la presente **declaro** de manera pública que la propuesta de **TESIS DE GRADO** titulada “**MODELO DE REDIRECCIONAMIENTO VIAL MEDIANTE ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS Y TEORÍA DE GRAFOS EN LA TRANSITABILIDAD VIAL DE EX-TRANCA RIO SECO 2022**” es original, siendo resultado de mi trabajo personal y no constituye una copia o replica de trabajos similares elaborados.

Autorizo la publicación del resumen de mi propuesta en internet y me comprometo a responder a todos los cuestionamientos que se desprenden de su lectura.

Asimismo, me hago responsable ante la universidad o terceros, de cualquiera irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado.

De identificarse falsificación, plagio, fraude, o que la **TESIS DE GRADO** haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas legales que se deriven de ello sometiéndome a las normas establecidas y vigentes de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

El Alto, mayo de 2024

Richard Rudy Onofre Caza
C.I. 7029932 L.P.
rronofrecaza75@gmail.com

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres y mi familia que me ha acompañado en esta etapa de crecimiento.

A mis Tutores y docentes por su paciencia y el tiempo que me dedicaron en guiarme por el camino académico.

A mi esposa Victoria que, con su apoyo incondicional sé que puedo dar más pasos adelante.

A mis amistades y compañeros por su amistad, aliento y compañerismo incondicional.

A mis hermanas que partieron y aquella que aún me acompaña y me alienta a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por el aliento de vida que nos permite continuar en bien de la sociedad y la familia.

A la Universidad por brindarme la oportunidad de formación académica.

Agradezco a mis tutores y docentes que sin su guía no sería posible esta investigación.

Agradecer a mis amigos y compañeros por su constante ánimo, apoyo y paciencia durante este proceso académico.

En especial agradecer a mi esposa Victoria por acompañarme siempre y darme ánimos a superarnos juntos.

INDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| CAPITULO I..... | 1 |
| MARCO PRELIMINAR | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN | 3 |
| 1.2.1. Antecedentes internacionales..... | 3 |
| 1.2.2. Antecedentes nacionales..... | 4 |
| 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 5 |
| 1.3.1. Problema principal | 6 |
| 1.3.2. Problemas secundarios | 6 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 7 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 7 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 7 |
| 1.5. HIPÓTESIS..... | 8 |
| 1.5.1 Hipótesis de investigación | 8 |
| 1.5.2 Hipótesis nula | 8 |
| 1.5.3 Hipótesis alternativa..... | 8 |
| 1.5.4 identificación de variables..... | 9 |
| 1.5.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 9 |
| 1.6. JUSTIFICACIÓN..... | 9 |
| 1.6.1. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA..... | 9 |
| 1.6.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA..... | 10 |
| 1.6.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA | 11 |
| 1.6.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL..... | 11 |

| | |
|--|----|
| 1.7 METODOLOGÍA | 12 |
| 1.7.1 Método científico | 12 |
| 1.7.2 Método de ingeniería | 15 |
| 1.8 Herramientas | 20 |
| 1.9 Límites y Alcances..... | 21 |
| 1.9.1 Límites..... | 21 |
| 1.9.2 Alcances..... | 21 |
| 1.10 Aportes | 22 |
| CAPITULO II..... | 23 |
| MARCO TEÓRICO | 24 |
| 2.1 Definición de Modelo | 24 |
| 2.1.1 Modelo matemático..... | 25 |
| 2.1.1 Modelos y Modelado de sistemas. | 26 |
| 2.1.2 Modelo científico desde la epistemología de la ciencia | 27 |
| 2.1.3 Tipos de Modelos..... | 29 |
| 2.1.4 Elaboración e implantación de modelos..... | 40 |
| 2.1.5 Modelado con datos..... | 44 |
| 2.2 Modelo de planteamiento del problema | 46 |
| 2.2.1 Datos y variables de decisión | 47 |
| 2.3 Transitabilidad vial..... | 48 |
| 2.4 Congestionamiento vehicular | 48 |
| 2.5 Sistema de tránsito | 49 |
| 2.5.1 Sistema | 49 |
| 2.5.2 Tránsito | 50 |
| 2.6 Código de tránsito..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 2.6.2 Bases de reglamento de tránsito..... | 51 |
| 2.6.3 Organismos de administración y control de tránsito | 52 |
| 2.5.4 Organismos de construcción y mantenimiento de las vías de tránsito | 53 |
| 2.5.5 Respecto a las vías públicas | 54 |
| 2.5.6 Velocidad | 57 |
| 2.5.7 Volumen de tráfico | 57 |
| 2.5.8 Longitudes de colas de los vehículos..... | 58 |
| 2.6 Elementos que componen el sistema de tránsito necesarios para la investigación | 58 |
| 2.6.1 Elemento humano..... | 58 |
| 2.6.2 Transporte..... | 58 |
| 2.6.3 Vialidad urbana | 59 |
| 2.7 Algoritmos..... | 61 |
| 2.7.1 Algoritmos genéticos..... | 62 |
| 2.7.2 Algoritmo de colonia de hormigas | 64 |
| 2.7.3 Funcionamiento del algoritmo..... | 67 |
| 2.9 Teoría de grafos | 70 |
| 2.9.1 Tipos de grafos | 73 |
| 2.9.2 Recorridos en grafos..... | 77 |
| CAPITULO III..... | 79 |
| 3.1 DISEÑO METODOLÓGICO | 80 |
| 3.1.1 Enfoque de investigación..... | 81 |
| 3.1.2 Diseño de la investigación | 81 |
| 3.1.3 Tipo de Investigación | 82 |
| 3.1.4 Variables de la investigación | 82 |

| | |
|---|-----|
| 3.1.5 Ambiente de la investigación | 83 |
| 3.1.6 Descripción de la metodología a usar | 84 |
| 3.2 HERRAMIENTAS | 86 |
| 3.2.1 Herramientas a usar | 86 |
| 3.2.2 Técnicas de investigación e instrumentos | 88 |
| 3.3 Población y muestra | 89 |
| 3.3.1 Criterios de inclusión..... | 89 |
| 3.3.2 Criterios de exclusión..... | 89 |
| 2.3.3 Población | 89 |
| 3.3.4 Muestra | 90 |
| CAPITULO IV | 91 |
| 4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 92 |
| 4.1.1 Análisis de antecedentes..... | 92 |
| 4.1.1 Presentación del modelo | 100 |
| 4.1.2 Desarrollo del modelo..... | 102 |
| 4.1.3 Demostración del prototipo..... | 112 |
| 4.1.4 Prueba de la hipótesis | 113 |
| 4.1.5 Análisis y resultados de encuestas realizadas | 115 |
| CAPITULO V | 121 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 122 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 122 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 123 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 124 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 Identificación de variables..... | 9 |
| Tabla 2 Tabla de aplicación del algoritmo de la ruta mas corta | 37 |
| Tabla 3 Tabla completa de la ruta más corta aplicada..... | 39 |
| Tabla 4 Recorrido de grafos | 77 |
| Tabla 5 Transitabilidad en horario activo promedio | 93 |
| Tabla 6 Transitabilidad en horario crítico promedio | 94 |
| Tabla 7 cantidad de vehículos en la avenida en hora activa..... | 95 |
| Tabla 8 Cantidad de vehículos que pasan por el punto principal en hora crítica | 96 |
| Tabla 9 Asignación de nombres a los nodos alimentadores encontrados. | 98 |
| Tabla 10 Asignación a nodos de cruce encontrados en el área..... | 98 |
| Tabla 11 Tabla de datos simulados y resultado de tiempos probables..... | 114 |
| Tabla 12 Datos simulados en horario crítico | 114 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 Diagrama representativo de una red | 36 |
| Figura 2 Solución de la ruta más corta en el diagrama representativo de una red | 40 |
| Figura 3 Lógica del algoritmo de colonia de hormigas | 64 |
| Figura 4 Comportamiento real de las hormigas | 66 |
| Figura 5 Representación de un camino en grafos | 70 |
| Figura 6 Ejemplo de arco..... | 72 |
| Figura 7 Ejemplo de aristas | 73 |
| Figura 8 Ejemplo de lazo | 73 |
| Figura 9 Ejemplo de grafo dirigido | 74 |
| Figura 10 Grafo no dirigido | 74 |
| Figura 11 Grafo mixto | 75 |
| Figura 12 Ejemplo de grafo completo | 75 |
| Figura 13 Circuito Euleriano | 77 |
| Figura 14 Ciclo Hamiltoniano..... | 78 |
| Figura 15 Representación de probabilidades de selección de una hormiga | 97 |
| Figura 16 Matriz de datos ejemplo, definida por el grafo anterior | 106 |

INDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|-----|
| Ecuación 1 Ecuación con objetivo de maximización | 33 |
| Ecuación 2 Ecuación polinómica de primer grado | 41 |
| Ecuación 3 Ecuación polinómica de segundo grado..... | 41 |
| Ecuación 4 Ecuación del algoritmo de colonia de hormigas | 97 |
| Ecuación 5 Ecuación de probabilidad de selección de ruta | 103 |
| Ecuación 6 Descripción de la ecuación de probabilidad | 103 |
| Ecuación 7 Actualización de feromonas | 104 |
| Ecuación 8 Ecuación de actualización de la feromona | 104 |

Resumen

Por la gran sobrepoblación y las nuevas internaciones de vehículos en el territorio nacional y más específico en la ciudad de el alto, las calles de puntos estratégicos y comerciales se han convertido en cuellos de botella del flujo vehicular y este problema lo componen distintos elementos como: comerciantes, conductores, peatones y conflictos sociales, donde es imperante abordar el tema de una mejora en redistribución vial y para ello se sugiere realizar un estudio científico y el diseño de un modelo de redireccionamiento vial basado en el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos que pueda optimizar la fluidez de transitabilidad en el área problemática.

La presente investigación tiene como propósito el realizar un análisis de datos y de proponer un modelo de redireccionamiento vial que sea capaz de ofrecer información optima y facilitar la toma de decisiones en la redistribución vial del sector de Rio Seco, Ex-tranca y también en otras áreas donde se presenta el mismo problema, para mejorar la calidad de vida de la población en base a la reducción de niveles de estrés generado por los congestionamientos, la reducción de tiempos de viaje desde un punto a otro y la planificación optima de un reordenamiento vial en el sector.

Con esta finalidad se ha seleccionado un diseño metodológico de investigación cuantitativo para aplicar instrumentos de recolección de datos y analizar las posibles metodologías, teorías y herramientas que formaran parte del diseño del modelo de redistribución vial, utilizando cuestionarios, entrevistas y la observación no participativa en la población representativa de tipo probabilística para un eficiente análisis recolección de datos.

Los resultados encontrados en la investigación muestran que la división de rutas de tránsito de transporte público alivia de gran manera la fluidez vial reduciendo los tiempos de viaje de los vehículos y reordenando las rutas de circulación con las simulaciones del modelo de

redireccionamiento vial se ha obtenido datos positivos respecto una comparación de tiempos de antes del estudio y actual con los datos obtenidos.

Finalmente se proponen algunas recomendaciones para mejorar la transitabilidad vial no solo del sector de Rio Seco Ex -traca, sino poder aplicarlo en diferentes sectores que presentan el mismo problema, realizando un trabajo interdisciplinario con las áreas de tecnología y autoridades municipales, departamentales o gubernamentales, con la aplicación de nuevas tecnologías y el compromiso de la población se puede lograr un mejor sistema de tránsito en la ciudad de El Alto.

Palabras clave: Redistribución vial, Algoritmo, Grafos, Congestionamiento, Simulación.

Abstract

Due to the great overpopulation and the new admissions of vehicles in the national territory and more specifically in the city of El Alto, the streets of strategic and commercial points have become bottlenecks of vehicular flow and this problem is made up of different elements such as: merchants, drivers, pedestrians and social conflicts where it is imperative to address the issue of an improvement in road redistribution and for this it is suggested to carry out a scientific study and the design of a road redirection model based on the ant colony algorithm and the theory of graphs that can optimize the fluidity of traffic in the problem area.

The purpose of this research is to carry out a data analysis and propose a road redirection model that is capable of offering optimal information and facilitating decision making in the road redistribution of the Rio Seco, Ex-tranca sector and also in others. areas where the same problem occurs, to improve the quality of life of the population based on the reduction of stress levels generated by congestion, the reduction of travel times from one point to another and the optimal planning of road reorganization. in the sector.

With this purpose, a quantitative research methodological design has been selected to apply data collection instruments and analyze the possible methodologies, theories and tools that will be part of the design of the road redistribution model, using questionnaires, interviews and non-participatory observation in the Representative probabilistic population for efficient data collection analysis.

The results found in the research show that the division of public transport transit routes greatly alleviates road fluidity by reducing vehicle travel times and reordering circulation routes with the simulations of the road redirection model, data has been obtained. positive regarding a comparison of times before the study and current with the data obtained.

Finally, some recommendations are proposed to improve road passability not only in the Rio Seco Ex-traca sector, but also to be able to apply it in different sectors that present the same problem, carrying out interdisciplinary work with the areas of technology and municipal, departmental or governmental authorities. With the application of new technologies and the commitment of the population, a better transit system can be achieved in the city of El Alto.

Keywords: Road redistribution, Algorithm, Graphs, Congestion, Simulation.

CAPITULO I

MARCO PRELIMINAR



CO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad en muchas ciudades de gran población en el mundo, el tráfico se ha convertido en un dolor de cabeza y un problema para la sociedad a causa de la sobreproducción de vehículos que generan congestión vehicular en sus principales arterias de tránsito motivo por el cual muchas de sus autoridades han tomado medidas de prevención para el mejoramiento vial aplicando diferentes metodologías y estudios técnicos para reducir el problema.

Lo mismo ocurre en nuestro país, con el incremento de vehículos en las ciudades del eje troncal se agudizan los problemas de circulación, no tanto así solo por los vehículos, también interfieren varios factores como sectores comerciales, conflictos sociales, actos cívicos, sociales y otros.

Enfocándose en un área determinada, en este caso (El Área de Ex-tranca Rio Seco) ubicada en la ciudad de El Alto se desea hacer uso de la tecnología e investigación para proponer y probar un modelo de redistribución vial que pueda reducir el tráfico vehicular en determinadas áreas de congestionamiento vehicular según el nivel de problemática que presente.

Recabando datos en el área conflictiva, identificando puntos importantes e información real se modificarán los tiempos de alto (Rojo) y siga (Verde) en los semáforos del cruce de calle y también se abrirá paso en vías alternas realizando cambios de vías, reduciendo así los congestionamientos en horas pico de transitabilidad vehicular que aquejan a las personas con el caos que genera una congestión vial, aparte de los daños sufridos por los peatones.

Utilizando el método científico en investigación sobre el algoritmo de colonia de hormigas se valorará la información recabada con metodologías de requerimiento de información, y se analizará la capacidad de operatividad vial para poder modificar las rutas fijas y alternas para descongestionar las vías más transitadas, en este caso el problema (caso Ex Tranca Rio Seco),

además de aplicarse y resultar en éxito se podrá aplicar en otras zonas céntricas o periféricas de la ciudad.

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Antecedentes internacionales

(Vargas Monje, 2018) Sistema híbrido basado en el algoritmo de optimización de colonias de hormigas y la heurística 2-opt (SWAP/MOVE) para la distribución de estados de cuentas. Problema de diseño de rutas óptimas para integrar cadenas de abastecimiento integrando las decisiones de ruteo y localización. Presentando un modelo matemático basado en la automatización de las colonias de hormigas para el problema de localización y ruteo, se propone un método metaheurístico con base en una búsqueda local iterativa seguida de pruebas computacionales en instancias tomadas y que analizan, la efectividad del método, apoyándose en tiempos y calidad de la solución utilizando El método Científico.

(Vázquez Solíz, 2017) **Aplicación del algoritmo de colonia de hormigas al problema de rutas de reparto con destinos móviles (España)**. Basado en el problema de ruta de vehículos (Problema de viajes de entrega y problema con rutas y destinos móviles) tratando de solucionar que, un cliente hace un pedido y permanece en el mismo lugar por un corto periodo posterior a ello se mueve del punto. La solución al problema se plantea al utilizar tecnología utilizando el algoritmo de colonia de hormigas, flexibilizando así las rutas y los puntos de entrega y se basa en la **metodología “Swarm Intelligence”** utilizando las herramientas de Algoritmos Genéticos, algoritmos GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) y tablas de pruebas.

(Córdoba Maquilón, 2022). **Análisis y diseño de rutas en el sistema de transporte público colectivo urbano de la ciudad de quibdó**. El sistema de transporte público colectivo de la ciudad de Quibdó en los últimos diez años ha venido presentando deficiencias en la cobertura del servicio, debido entre otros, a una baja oferta del mismo, falta de reestructuración

de las rutas de transporte público y el incremento del mototaxismo; como consecuencia de ello la mayoría de los usuarios del sistema han tomado la decisión de utilizar otros medios de transporte para satisfacer la necesidad de movilizarse por la ciudad, independientemente de la legalidad del servicio, los altos costos, la inseguridad e incomodidad a la que se enfrentan los pasajeros. En ese contexto y de acuerdo con el objetivo principal del presente trabajo, se definieron las rutas de transporte público colectivo urbano para la ciudad de Quibdó mediante el análisis de la operación y cobertura de las rutas existentes y el estudio de la demanda teniendo en cuenta la expansión urbana, las cuales permitirán una mejora en el servicio de transporte.

Se utilizó el **método científico** de investigación con trabajos de campo, procesamientos de datos y procesos de análisis de datos para plantear su propuesta.

1.2.2. Antecedentes nacionales

(Barra Paredes, 2016) Sistema de seguimiento y monitoreo de vehículos basado en la geolocalización, en tiempo real aplicando balanceo de carga y utilización de múltiples seguidores. El uso de los Teléfonos inteligentes ha provocado un cambio en la forma de interactuar con nuestros semejantes, el uso de estos teléfonos inteligentes ha emergido a la creación de múltiples aplicaciones móviles, donde el objetivo es el monitoreo y seguimiento de vehículos a través de nuestro celular, pudiéndose así tener un control de trayectoria y posiciones de nuestros vehículos, ya sean de automóviles de carácter privado o al de transporte público. Utilizando las herramientas API's de Google Maps, GPS Para geolocalización, lenguajes de programación Java, Android, PHP y MySQL y toma de datos en Diarios de Campo y Metodología de XP (Programación Extrema).

(Pari Cahuna, 2017) Sistema de control de tráfico vehicular en base a internet de las cosas. Recolecta datos para modificar semáforos, aprovechando las nuevas tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) mediante el monitoreo y el intercambio en tiempo real de la densidad de tráfico con base en estos datos brindar una información precisa para la toma de decisiones

de los semáforos se basa en un enfoque cliente servidor donde cada grupo de sensores ubicados en una determinada calle envían información exacta al servidor de los vehículos que están en la calle como ser, número de vehículos, tipos de vehículos, prioridad de cada vehículo, datos del propietario, placa del vehículo, etc. El sistema de control de tráfico vehicular fue implementado utilizando placas Arduino uno, sensores, actuadores, nodeMCU, módulos RFID, módulo Wifi ESP 8266 complementado por un sistema web con arquitectura MEAN stack, mongoDB, Express, Angular 4 y NodeJS.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el transporte urbano es de uso masivo para las personas y a medida que transcurre el tiempo el parque automotor incrementa, y un pequeño porcentaje es renovado, por la necesidad de modernizar el servicio, por mejores ingresos para los dueños de los motorizados o para un uso particular de cada persona habitante o familia de la ciudad de el alto.

Así mismo el nivel de economía en el ciudadano de a pie no se puede medir por: si es propietario de un vehículo o no, pero que tienen la necesidad de generar un ingreso económico, motivo por el cual algunos optan por el comercio y salen a ofrecer sus productos en mercados, plazas y también en vías públicas importantes con acceso a la población que compre sus productos de manera rápida.

Es por tal motivo que el asentamiento de mercados, ferias, comercio informal asentados en calles y avenidas estratégicas para la circulación vehicular ocasionan trancaderas y congestionamientos que evitan el flujo normal de tráfico vehicular, y este conflicto deriva en pérdidas económicas para los vehículos de servicio público y privado, atascos y retrasos en tiempos de llegada a destinos.

La frecuente contaminación acústica y ambiental generada por la congestión del tráfico conlleva graves repercusiones para la salud de las personas, afectando tanto a los oídos de adultos jóvenes y niños debido al constante estruendo de bocinas, como a la calidad del aire por

la emisión de dióxido de carbono de los vehículos, lo que afecta a quienes se encuentran en las proximidades del área en investigación.

Se ha percibido que los congestionamientos vehiculares se presentan por tiempos, horarios y días específicos en una gran parte y en periodos cortos se cuenta con personal de tránsito o personal de apoyo perteneciente a los sindicatos que circulan o transitan por el área detectada.

Cabe recalcar que también influye en el problema el conocimiento o desconocimiento de normas de tránsito y normas que regulen la transitabilidad de vehículos y peatones que circulen en las calles y avenidas importantes de toda la ciudad

1.3.1. Problema principal

EL problema a tratar es la congestión vehicular que es generada por no cumplir las normas de tránsito y ordenanzas municipales que deben ser cumplidas por los que componen el sistema de tránsito vial como los peatones de diferentes edades, comerciantes y conductores imprudentes que estacionan sus vehículos en lugares no permitidos, generando congestión vehicular en el área de Ex-tranca de río seco.

1.3.2. Problemas secundarios

Ante la ausencia de oficiales de tránsito los conductores infringen las siguientes normas de tránsito y encontramos elementos que influyen de gran manera en el problema investigado.

- Conductores hacen giros imprudentes en U en áreas no permitidas.
- Existen vehículos mal estacionados en áreas prohibidas.
- Existen comerciantes invadiendo las calzadas.
- Se desconoce la cantidad de vehículos existentes y atascados en el área de congestión.
- La congestión vehicular genera una brusca contaminación ambiental, es decir la generación de dióxido de carbono (CO₂) acumulado en el grupo de vehículos estancados.

- También genera contaminación acústica con los excesos de bocinazos que emiten los conductores.
- La severa congestión vehicular incentiva e incrementa la delincuencia, ocasionada por personas que cometen robos a pasajeros y luego huyen a esconderse entre los vehículos.

Por lo tanto: El problema planteado es el siguiente.

¿De qué manera influirá un modelo de redireccionamiento vial basado en el algoritmo de colonia de hormigas y teoría de grafos en la transitabilidad vial para optimizar el tráfico vehicular en el sector de Rio Seco ex-tranca y se pueda analizar los posibles beneficios en otras áreas?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Proponer el uso de un modelo de redireccionamiento vial basado en el algoritmo de colonia de hormigas y teoría de grafos en la transitabilidad vial de Ex-tranca Rio Seco, dinámico y capaz de adaptarse a la demanda de tráfico vehicular requerido en horarios específicos, utilizando herramientas de análisis de datos que optimice la fluidez vehicular, modificando la dirección de sentido de vías para controlar y reducir la capacidad de almacenaje vehicular en las calles del área de investigación.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar un estudio de rutas, capacidad de almacenamiento, circulación, los cambios de sentido en las calles y avenidas del área delimitada en la investigación.
- Evaluar su aplicación de las normas y regulaciones de tránsito en la eficiencia operativa del transporte urbano.
- Investigar la aplicabilidad del algoritmo de colonia de hormigas en el cambio de rutas y sentido de calles para una mejor optimización de rutas de tránsito.

- Realizar toma de datos estadísticos de la población acerca de los beneficios de la implementación del algoritmo de colonia de hormigas que permitan reducir el tráfico vehicular en una determinada área (Ex Tranca de Rio Seco).
- Diseñar un módulo de proyección y evaluación de datos para una planificación y modificación de rutas de tránsito en el área designada utilizando la teoría de grafos y el algoritmo de colonia de hormigas.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis de investigación

Se hipotetiza que la implementación de un modelo de redireccionamiento vial basado en el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos mejorará la eficiencia del flujo de tráfico al reducir los tiempos de viaje y la congestión vehicular. Se espera que este enfoque optimice las rutas de conducción al encontrar soluciones óptimas en función de la distancia y el tiempo, adaptándose dinámicamente a las condiciones cambiantes del tráfico para proporcionar una respuesta eficaz y rápida a los incidentes viales, lo que en última instancia resultará en una mejor calidad de vida para los ciudadanos al ofrecer una experiencia de conducción más fluida y segura.

1.5.2 Hipótesis nula

Se plantea que la implementación de un modelo de redireccionamiento vial basado en el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos no tendrá impacto en mejora de la eficiencia del flujo de tráfico o en la reducción de los tiempos de viaje y la congestión vehicular. Aun con los cambios de rutas de conducción no encontraría soluciones óptimas en función de la distancia, tiempo y adaptabilidad dinámica a las condiciones cambiantes del tráfico, manteniendo los mismos niveles de congestión vehicular.

1.5.3 Hipótesis alternativa

Con la simulación de un modelo de redireccionamiento vial basado en el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos se observa que se genera un desorden vial, donde los

conductores no respetan sus vías de tránsito, se presentan más quejas respecto a trameajes, generando problemas de otro tipo. No mejorando en significancia la calidad de vida de los ciudadanos y por lo contrario crecería el descontento con los resultados.

1.5.4 identificación de variables

a) Variable Independiente. – Modelo de redireccionamiento vial basado en colonia de hormigas y teoría de grafos

b) Variable dependiente. – optimización en transitabilidad vehicular

1.5.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Identificación de variables

| VARIABLE | DEFINICION CONCEPTUAL | DIMENSION | INDICADORES |
|---|--|---|---|
| Variable independiente: Modelo de redireccionamiento vial basado en algoritmo de colonia de hormigas y teoría de grafos | Estrategia que combina teorías, información y datos para resolver un problema de rutas optimas | <ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo meta heurístico de optimización • Teoría que analiza grafico de rutas en nodos | <ul style="list-style-type: none"> • Probabilidades • Gráficas • Valores |
| Variable Dependiente: Optimización en transitabilidad vial | Calidad de movimiento de vehículos, por avenidas, calles y nodos viales | <ul style="list-style-type: none"> • Transporte Público y Privado • Avenidas, calles y rutas alternas | <ul style="list-style-type: none"> • Conductores • Estado de los Vehículos • Cantidad y calidad de las vías. |

1.6. JUSTIFICACIÓN

1.6.1. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

El funcionamiento de sistemas eficientes de gestión de tráfico es fundamental para mejorar la fluidez de seguridad vial en áreas urbanas, y sectores como la Ex-tranca de Rio Seco

que son un desafío debido a su alta congestión y complejidad vial y la aplicación de técnicas como el algoritmo de colonia de hormigas (ACO) y la teoría de grafos ofrecen oportunidades de optimizar la transitabilidad vial en esta área donde la congestión afecta la movilidad urbana, generando retrasos significativos, aumento de emisiones de gases de efectos invernadero, y riesgos para la seguridad vial.

La representación de la red vial como un grafo permite las modelaciones entre diferentes rutas y puntos de congestión, identificando patrones de flujo interrumpido y puntos críticos, con la teoría de grafos se logrará comprender mejor el problema de la red vial y redireccionamiento de eficiente de tráfico.

El ACO es una técnica metaheurística inspirada en el comportamiento de las colonias de hormigas para encontrar soluciones a problemas de optimización por su capacidad de encontrar caminos óptimos en entornos dinámicos adaptando los sistemas de gestión de tráfico.

Con la sinergia entre el ACO y la teoría de grafos se puede desarrollar un modelo de redireccionamiento vial que optimice el flujo de tráfico vehicular reduciendo la congestión y aprovechando sus resultados óptimos no solo en la ingeniería vial, también en la inteligencia Artificial.

1.6.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La congestión de tráfico e ineficiencia en la gestión vial son problemas críticos que afectan negativamente la calidad de vida de las personas, su economía y el medio ambiente y para ello es necesario solucionar el aumento constante de vehículos que resulta en mayor consumo de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero, y que la falta de un sistema avanzado de control y optimización de rutas viales, sistema de semáforos, pasos de cebra y control sindical, no son capaces de adaptarse a las fluctuaciones en el flujo y las condiciones de tráfico.

Es por ello que es necesario encontrar soluciones innovadoras que optimicen la gestión de tráfico vehicular, y para ello utilizamos el ACO inspirado en una búsqueda de caminos óptimos

junto a una teoría de grafos que nos permitan modelar y analizar las redes viales mejorando el sistema de direccionamiento vial adaptable a las diferentes condiciones. Beneficiándose con la reducción de tiempos de viajes, reducción de congestionamiento, emisiones de gases de efecto invernadero, optimizando la fluidez de tráfico y la seguridad vial y peatonal en general.

1.6.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

En el análisis y desarrollo del modelo se implicarán recursos intelectuales y tiempo que no requerirá inversión económica, donde este modelo se basará en la optimización del sistema vial actual haciendo uso más eficiente de las carreteras, calles y señalizaciones existentes. A la vez que la reducción de congestionamiento reducirá los gastos a largo plazo en mantenimiento y renovaciones de las carreteras, calles principales y otros elementos de infraestructura vial.

La disminución de tiempo perdido en los congestionamientos beneficiará a la productividad laboral permitiendo que los trabajadores y personas en general lleguen a sus destinos más rápido, incrementando su tiempo efectivo de trabajo impactando positivamente en la economía general de la ciudad y sus hogares.

1.6.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Los resultados de la presente investigación beneficiarán a la población del área seleccionada reduciendo tiempos de viaje, consumo excesivo de combustible, tránsito vehicular y circulación ordenada de peatones, reducción de la contaminación acústica, sino también a la región pues el libre y reducido tráfico de la vía troncal de tránsito de vehículos no solo sería aplicable al área de investigación, sino también de posibles aplicaciones o implementaciones en diferentes áreas geográficas de la ciudad de El Alto, que favorecerá en la baja congestión vehicular.

Se beneficiará principalmente a los sindicatos de transporte público, en la reducción de tiempos de circulación por el área afectada en diferentes rutas, reduciendo en cierto porcentaje su nivel de estrés cuando están atrapados en los congestionamientos vehiculares además de la

población que utiliza los servicios de transporte para su traslado a sus fuentes laborales en menor tiempo, disminuyendo los retrasos y el tiempo de transporte de un punto de ingreso al área y salida con una óptima distribución de rutas de paso para el transporte público y privado.

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Método científico

El método científico es un enfoque riguroso y sistemático utilizado para investigar fenómenos naturales, resolver problemas y ampliar nuestro entendimiento del mundo que nos rodea. Se basa en un conjunto de pasos interconectados que permiten a los científicos formular y poner a prueba hipótesis, utilizando la observación, la experimentación y el análisis de datos empíricos (Labajo, 2016).

El proceso comienza con la observación cuidadosa y la identificación de un problema o pregunta de investigación. A partir de esta observación, se formula una hipótesis, que es una explicación tentativa del fenómeno observado. La hipótesis debe ser clara, específica y verificable. Una vez que se ha formulado la hipótesis, se diseñan y realizan experimentos para probarla de manera controlada y reproducible (Espinoza, 2017).

Durante la fase experimental, se recopilan datos utilizando métodos y técnicas adecuadas. Estos datos se analizan y se comparan con las predicciones de la hipótesis. Si los datos confirman la hipótesis, se puede formular una teoría o ley científica. Sin embargo, si los datos no respaldan la hipótesis, se vuelve a evaluar y se pueden formular nuevas hipótesis para ser probadas (Farji - Brener, 2003).

Es importante destacar que el método científico es un proceso iterativo y autocorrectivo. Esto significa que los científicos revisan y refinan continuamente sus hipótesis en función de los resultados experimentales y nuevas observaciones. Además,

las teorías científicas están sujetas a cambios y modificaciones a medida que se acumula nueva evidencia (Sampieri, 2006).

El método científico también implica la comunicación abierta y transparente de los resultados obtenidos. Esto permite que otros científicos revisen, repitan y validen los experimentos, lo que contribuye a la fiabilidad y robustez del conocimiento científico.

En resumen, el método científico es una herramienta fundamental que guía la investigación científica, promoviendo la objetividad, la precisión y la confiabilidad en el proceso de descubrimiento y comprensión del mundo natural (Sampieri, 2006).

1.7.1.1 Método científico aplicado a la investigación

La utilización del método científico en la optimización de rutas de tránsito mediante el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos implica un enfoque sistemático y riguroso para mejorar la eficiencia del transporte. Comienza con la observación y análisis detallado de patrones de tráfico y la infraestructura de las rutas existentes. A partir de ahí, se formulan hipótesis sobre cómo mejorar la eficiencia del transporte, utilizando el algoritmo de colonia de hormigas como herramienta de optimización y la teoría de grafos para representar las conexiones y relaciones entre los nodos (ubicaciones) y las aristas (rutas) (Labajo, 2016).

Una vez formuladas las hipótesis, se diseñan experimentos controlados para probar diferentes configuraciones y estrategias de optimización. Estos experimentos pueden incluir la simulación computacional de la aplicación del algoritmo de colonia de hormigas a diferentes redes de transporte representadas como grafos (Espinoza, 2017).

Durante la fase experimental, se recopilan datos sobre la eficiencia del transporte, como tiempos de viaje, congestión, costos y otros factores relevantes. Estos datos se analizan y comparan con las predicciones teóricas y las hipótesis formuladas.

Si los resultados experimentales confirman las hipótesis y muestran mejoras significativas en la eficiencia del transporte, se pueden implementar las estrategias de optimización propuestas en un entorno real. Sin embargo, si los resultados no respaldan las hipótesis, se revisan y ajustan las estrategias de optimización, y se repite el proceso de experimentación.

En última instancia, la utilización del método científico en la optimización de rutas de tránsito con el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos busca mejorar la planificación y gestión del transporte, reduciendo los tiempos de viaje, los costos operativos y la congestión, y contribuyendo así a una movilidad más eficiente y sostenible (Sampieri, 2006).

1.7.1.2 Técnicas de investigación

Según (Sampieri, 2006): El método científico está compuesta de varias técnicas de investigación sobre la aplicación e investigación de nuevos conocimientos entre los cuales tenemos a:

Observación: que cuida la sistematización de fenómenos naturales o de situaciones específicas, fundamentales para identificar los patrones, tendencias, incluso anomalías que llegan a ser el objeto de estudio.

Experimentación: Al diseñar y llevar a cabo numerosos experimentos controlados, es una técnica clave para probar las hipótesis y recopilar los datos empíricos. Estos experimentos deben ser reproducibles y controlan cuidadosamente todas las variables relevantes a la investigación.

Muestreo: El muestreo implica una selección de la muestra que representara a la población o fenómeno más grande a estudiar. Los métodos de muestreo pueden variar según el tipo de estudio y los objetivos planteados.

Encuestas: Las encuestas son las herramientas más útiles para recopilar datos a partir de la muestra de población, generalmente en base a cuestionarios estandarizados que permiten obtener información sobre actitudes, opiniones y comportamientos de los elementos del sistema de estudio.

Análisis estadístico: El análisis estadístico se utiliza para la interpretación de los datos recopilados y así determinar si existe relación significativa entre las variables estudiadas, que puede implicar el uso de pruebas de hipótesis, análisis de regresión o hipótesis nula entre otros.

Modelo de sistema: La construcción de modelos permite simular y predecir el comportamiento del sistema, básico o complejo, facilitando la comprensión de los fenómenos estudiados y la evaluación de diferentes escenarios, para darle una opción a mejora posible.

Revisión bibliográfica: La revisión bibliográfica implica la revisión, recopilación y análisis crítico de la literatura existente sobre el tema en específico, proporcionando contextos históricos teóricos y metodológicos para el objeto de estudio, y también ayuda a identificar lagunas en el conocimiento y áreas de investigación prometedoras (Labajo, 2016).

1.7.2 Método de ingeniería

(García Criollo, 2011) describe este método como un enfoque sistemático y disciplinado utilizado en resolución de problemas técnicos donde se diseñan soluciones eficientes y efectivas en distintas áreas de la ingeniería, que implica una serie de pasos secuenciales para guiar el proceso de desarrollo, desde la identificación del problema hasta la implementación de la posible solución con las siguientes etapas:

Definición del problema: Donde se identifican y comprenden los requisitos y objetivos de la investigación, estableciendo los límites y restricciones del problema y los criterios de éxito utilizados en la evaluación de la posible solución.

Investigación y recopilación de la información: Donde se hace una investigación profunda para recopilar datos relevantes, antecedentes técnicos y toda la información que nos ayude a comprender completamente el problema y las posibles soluciones.

Análisis y diseño: Donde se analiza la información recopilada y se forman las vías alternativas de diseño o enfoques para resolver el problema y se selecciona la mejor solución después de evaluar y comparar las opciones según los criterios con viabilidad técnica, costos, impacto y requisitos del problema.

Desarrollo y prototipo: Ya seleccionado el diseño adecuado, se procederá al desarrollo y construcción del modelo inicial implicando la selección de materiales de investigación y diseño del sistema.

Pruebas y evaluación: El modelo o prototipo se someterá a pruebas exhaustivas para verificar su eficacia y rendimiento en condiciones reales, recopilando datos de las pruebas y resultados para identificar los posibles problemas de mejora.

Optimización: En base a los resultados se realizarán los ajustes y mejoras al modelo o diseño optimizando el rendimiento y la eficacia del sistema, realizando varias iteraciones antes de presentar el modelo final.

Implementación y puesta en marcha: Una vez que se ha completado el diseño y se han realizado las pruebas y ajustes necesarios, la solución se implementa y pone en funcionamiento en un entorno real.

Seguimiento y mantenimiento: Después de la implementación se debe monitorear y mantener el sistema en funcionamiento para garantizar su rendimiento continuo y resolver cualquier problema que surja a lo largo de su ciclo de vida.

1.7.2.1 Algoritmo de colonia de hormigas

En ciencias de la computación y en investigación operativa, el algoritmo de la colonia de hormigas, algoritmo hormiga u optimización por colonia de hormigas (Ant Colony Optimization, ACO) es una técnica probabilística para solucionar problemas computacionales que pueden reducirse a buscar los mejores caminos o rutas en grafos¹.

Este algoritmo es un miembro de la familia de los algoritmos de colonia de hormigas, dentro de los métodos de inteligencia de enjambres. Inicialmente propuesto por Marco Dorigo en 1992 en su tesis de doctorado,² el primer algoritmo surgió como método para buscar el camino óptimo en un grafo, basado en el comportamiento de las hormigas cuando estas están buscando un camino entre la colonia y una fuente de alimentos. La idea original se ha diversificado para resolver una amplia clase de problemas numéricos, y como resultado, han surgido gran cantidad de problemas nuevos, basándose en diversos aspectos del comportamiento de las hormigas.

Considerada una técnica de optimización inspirada en el comportamiento de las hormigas reales cuando buscan caminos entre su colonia y una fuente de alimento. En el contexto de modelos de rutas, el ACO se utiliza para encontrar la mejor ruta posible entre un origen y un destino, teniendo en cuenta factores como la distancia, el tiempo de viaje y posiblemente otros criterios, como el tráfico o el costo (Vázquez Solíz, 2011).

El concepto básico del ACO es simular el comportamiento colectivo de las hormigas mediante la construcción y evaluación iterativa de soluciones parciales (rutas).

¹ A. Coloni, M. Dorigo et V. Maniezzo, Distributed Optimization by Ant Colonies, actes de la première conférence européenne sur la vie artificielle, Paris, France, Elsevier Publishing, 134-142, 1991.

² M. Dorigo, Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italie, 1992.

Cada hormiga construye una solución potencialmente subóptima, pero a medida que las hormigas exploran y comparten información, la colonia converge hacia soluciones de alta calidad.

En el contexto de modelos de rutas, el algoritmo de colonia de hormigas funciona de la siguiente manera:

Inicialización: Se colocan varias hormigas en nodos aleatorios del grafo que representa la red de rutas.

Construcción de soluciones: Cada hormiga selecciona su próximo movimiento basándose en una regla de probabilidad que tiene en cuenta la feromona depositada en las aristas y posiblemente heurísticas como la distancia o el tiempo de viaje.

Actualización de feromonas: Después de que todas las hormigas han completado su recorrido, se actualizan las cantidades de feromona en cada arista, dando preferencia a las rutas más cortas o más eficientes.

Evolución de la colonia: El proceso se repite durante varias iteraciones (llamadas generaciones), permitiendo que la colonia explore diferentes soluciones y converja gradualmente hacia una ruta óptima o subóptima.

Condición de parada: El algoritmo continúa hasta que se alcanza un criterio de parada predefinido, como un número máximo de iteraciones o cuando se ha alcanzado una solución aceptable.

El algoritmo de colonia de hormigas ha demostrado ser eficaz en la resolución de problemas de optimización de rutas, como el problema del viajante (TSP) y el enrutamiento de vehículos (VRP) problema de ruteo de vehículos, donde se busca encontrar la ruta más corta para visitar un conjunto de ubicaciones o clientes. La capacidad del ACO para manejar problemas complejos de optimización y adaptarse a

cambios en el entorno lo hace una herramienta poderosa en el campo de la logística, el transporte y la planificación de rutas (Aniorte García, 2014).

1.7.2.2 Teoría de Grafos

La teoría de grafos es una rama de las matemáticas que estudia las propiedades y relaciones entre los objetos llamados "grafos", que consisten en conjuntos de nodos (también llamados vértices) conectados por aristas (también llamadas arcos o bordes). En el contexto de modelos de rutas, la teoría de grafos se aplica para representar y analizar sistemas de rutas, como redes de transporte, redes de comunicación, sistemas de distribución, entre otros (Durán, 2008).

Un concepto fundamental de la teoría de grafos aplicado a modelos de rutas es el concepto de "grafo ponderado". En un grafo ponderado, cada arista tiene asociado un peso o costo que representa alguna característica de la conexión entre los nodos que conecta. Por ejemplo, en una red de carreteras, el peso de una arista podría representar la distancia entre dos ubicaciones, el tiempo de viaje, el costo del peaje, y otros (Álvarez & Parra, Teoría de Grafos, 2013).

La aplicación de la teoría de grafos a modelos de rutas permite resolver una variedad de problemas de optimización y planificación, incluyendo:

Problema del camino más corto: Encontrar la ruta más corta entre dos nodos específicos en un grafo ponderado. Este problema es relevante en la planificación de rutas para minimizar la distancia o el tiempo de viaje.

Problema del árbol de expansión mínima: Encontrar un subconjunto de aristas que conecten todos los nodos del grafo sin formar ciclos y cuya suma de pesos sea mínima. Este problema es útil en la planificación de redes de comunicación y distribución para minimizar costos.

Problema del viajante de comercio (TSP): Encontrar el recorrido más corto que visita cada nodo exactamente una vez y regresa al nodo de partida. Este problema es común en la logística y la distribución para minimizar los costos de transporte.

Problema de enrutamiento de vehículos (VRP): Planificar rutas eficientes para un conjunto de vehículos que deben visitar múltiples ubicaciones y regresar a la base, teniendo en cuenta restricciones como la capacidad de carga y los horarios de entrega.

La teoría de grafos proporciona herramientas y algoritmos poderosos para resolver estos y otros problemas de optimización relacionados con modelos de rutas, lo que la convierte en una herramienta fundamental en campos como la logística, la planificación urbana, el transporte y las telecomunicaciones (Álvarez & Parra, Teoría de Grafos, 2013).

1.8 Herramientas

- Plataformas de obtención de información como: Diarios de campo para la obtención de información y análisis de información confiable y útil.
- Gestión de artículos científicos, referencias bibliográficas e información sobre modelado, diseño y enfoque de algoritmo de colonia de hormigas y teorías de grafos aplicados en modelos de rutas y transitabilidad.
- Herramientas y software de análisis de datos estadísticos en Excel y Python.
- Normativa vigente del código de tránsito para consulta de obligaciones y deberes de los conductores y peatones con respecto a las vías de transporte.
- Normas Municipales para análisis de modificabilidad de direccionamiento de sentido de vías en el área.
- Herramientas de simulación del modelo propuesto con el programa ProModel.

1.9 Límites y Alcances

1.9.1 Límites

EL presente proyecto está limitado por las siguientes variables:

- El trabajo de investigación no contempla fenómenos naturales.
- La investigación no puede controlar a los animales o mascotas que intervienen en la transitabilidad vial ya que estos no razonan como una persona.
- El proyecto está limitado por los recursos utilizados y la financiación en el transcurso de la investigación. No se contempla la aplicación del modelo y algoritmo fuera del área identificada a desnivel del piso (tránsito por aire).
- No se contempla la interrupción o modificación de rutas por nuevas construcciones de pasos a desnivel, túneles, refacción de vías o nuevos edificios.
- No se contemplan modificaciones a cruces, pasos a desnivel en el área investigada.

1.9.2 Alcances

La presente investigación tiene como objetivo principal diseñar un modelo de redistribución de tránsito vehicular que optimice la eficiencia del flujo vehicular en un área urbana específica y para alcanzar este propósito, se abordarán los siguientes aspectos:

Análisis de la situación actual: Se realizará un estudio exhaustivo de la situación actual del tránsito vehicular en el área urbana de interés, incluyendo la identificación de problemas de congestión, puntos críticos y patrones de movimiento de vehículos.

Recolección de datos: donde se recopilarán datos relevantes sobre el tránsito vehicular, incluyendo volúmenes de tráfico, tipos de vehículos, horarios de mayor congestión y datos demográficos de los usuarios de la vía.

Diseño del modelo de redistribución: Con base en el análisis de la situación actual y los datos recolectados, se diseñará un modelo de redistribución de tránsito vehicular que busque

optimizar la circulación de vehículos, reduciendo los tiempos de viaje y la congestión en puntos o nodos críticos.

Simulación y evaluación: Se realizarán simulaciones computacionales para evaluar la efectividad y viabilidad del modelo de redistribución propuesto. Se analizarán diferentes escenarios y se realizarán ajustes según sea necesario para mejorar su desempeño.

Propuestas de intervención: Con base en los resultados de la investigación, se formularán propuestas concretas de intervención, como cambios en la señalización vial, ajustes en los horarios de trabajo o implementación de nuevas rutas de transporte público.

Es importante señalar que esta investigación se centrará en un área urbana específica y que los resultados y propuestas generadas pueden no ser generalizables a otros contextos. Además, se enfocará principalmente en el diseño y la evaluación del modelo de redistribución de tránsito vehicular, dejando fuera del alcance de este estudio la implementación práctica de las propuestas formuladas.

1.10 Aportes

La presente investigación de tesis emulara y entregara una posible solución al problema de la congestión vehicular, reduciendo el tiempo entre llegadas a destino y tiempo empleado en el paso por estos puntos de congestionamiento vial desde los puntos principales de acceso hasta puntos de salida en el área de investigación.

Al reducir o modificar la transitabilidad vial reducirá el nivel de estrés causados por las congestiones vehiculares y reducirá el impacto de las posibles afecciones salubres en los peatones y conductores.

El presente modelo de redireccionamiento vial es posible ser aplicado en otras áreas que sufren del mismo problema de tráfico vehicular con investigación y análisis de información se resolverían problemas similares en otras áreas que sufren del mismo problema.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO



MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de Modelo

Un modelo es una representación de funcionamiento de algo, como representación de un sistema, una representación física como un edificio, auto, objeto, o también un concepto más abstracto como modelo matemático, para encontrar según las simulaciones o representaciones de acción o actividad de un sistema.

Los modelos y la modelización tienen una importancia clave en muchos contextos científicos. Constituyen uno de los principales instrumentos de la ciencia moderna⁵ y son esenciales en la práctica científica, pues sirven para aprender sobre las teorías científicas y el mundo. Aunque los modelos no se ajusten con perfección a todos los detalles del objeto al que se refieren, pueden proporcionar una información útil y profunda sobre su funcionamiento (Giere, *Science without laws*, 1999).

Los científicos dedican mucho tiempo a construir, probar, comparar y revisar modelos; a su vez, numerosos artículos de ciencia introducen, aplican e interpretan estos instrumentos valiosos.

Por tanto, una parte significativa de la investigación científica se centra en los modelos más que en la realidad misma, porque al estudiar un modelo se pueden determinar hechos y descubrir rasgos del sistema que el propio modelo representa.

El significado de modelo científico ha sido discutido -y se sigue debatiendo aún- por filósofos de la ciencia, psicólogos, científicos y educadores, entre otros. Por ejemplo, los filósofos de la ciencia reconocen la importancia de los modelos cada vez más e investigan sus diversas funciones en la práctica científica. Como resultado de esta labor se citan distintos tipos de modelos -no excluyentes entre sí- en la bibliografía de filosofía de la ciencia, tales como: teóricos, exploratorios, explicativos, idealizados, heurísticos,

instrumentales, imaginarios, fenomenológicos, icónicos, matemáticos, computacionales, formales, analógicos, etc. (Acevedo, García, Aragón, & Olivia, 2017)

Una de las herramientas más interesantes que actualmente dispone para analizar y predecir el comportamiento de un sistema biológico es la construcción y posterior simulación de un modelo matemático. Son muchas las razones que justifican la edad de oro que hoy en día vive la modelación matemática, pero debemos de destacar, en primer lugar, el mejor conocimiento de los procesos biológicos, y, en segundo lugar, el espectacular avance de los ordenadores y el software matemático (Nicole, 2019).

Con frecuencia la palabra modelo tiene distintas interpretaciones, nosotros la aplicaremos en el sentido dado por el profesor Sixto Ríos, "Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones, que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica".

Generalmente los métodos que se utilizan para estudiar un fenómeno biológico son la construcción de un modelo matemático o bien el uso del método científico, el cual está basado en:

- La observación y en la descripción.
- El desarrollo de hipótesis o explicaciones.
- La comprobación por experimentación de dichas hipótesis.
- La aplicación de estos conocimientos en la resolución de problemas similares.

2.1.1 Modelo matemático

Como concepto de un modelo matemático, podríamos decir que es una representación formal y abstracta de un sistema, proceso o fenómeno utilizando herramientas y métodos matemáticos. Estos modelos permiten comprender, analizar y predecir el comportamiento de sistemas complejos en una variedad de disciplinas, desde

la física y la ingeniería hasta la biología y la economía. Los modelos matemáticos pueden adoptar diversas formas, como ecuaciones diferenciales, sistemas de ecuaciones, simulaciones computacionales o modelos estadísticos, y pueden ser utilizados para explorar diferentes escenarios, optimizar decisiones o diseñar sistemas y políticas. Su aplicación práctica abarca desde la predicción del clima hasta la optimización de rutas de transporte, y su desarrollo y validación requieren una combinación de conocimientos teóricos, datos empíricos y técnicas computacionales (Hildebrand, 2016).

Un modelo matemático de un objeto (fenómeno real) es cualquier esquema simplificado e idealizado de aquel, constituido por símbolos y operaciones (relaciones) matemáticas. Un modelo matemático es un caso de formalización que emplea los más diversos instrumentos producidos en la ciencia matemática (Nicole, 2019).

2.1.1 Modelos y Modelado de sistemas.

La creación y el uso de modelos ofrecen un marco de referencias para la administración. Los modelos son el núcleo de la administración racional. Son un medio para simplificar y analizar situaciones de sistemas complejos (Bustos, 2020).

Un paso común en el enfoque de la ciencia de la administración hacia la solución de problemas es construir un modelo matemático para representar al sistema bajo estudio. Incluye la cuantificación de variables.

Mientras que el desarrollo de un modelo matemático es un paso esencial para la solución de problemas bajo suposiciones de sistema cerrado, este enfoque representa solamente una mínima parte del esfuerzo general.

De hecho, la creación de modelos es una de las actividades las difundidas. Los modelos ofrecen un medio de abstracción que ayuda a la comunicación. El idioma mismo es un proceso de abstracción, y las matemáticas son una clase particular de idioma simbólico.

La creación de modelos es la clave de la conceptualización; los modelos son creados para describir, explicar o predecir los fenómenos pertinentes en el mundo real (Bustos, 2020).

2.1.2 Modelo científico desde la epistemología de la ciencia

Para (Aduriz-Bravo, Labarca, & Lombardi, 2014), entre algunos otros, la corriente representacional o modelística de la concepción semanticista proporciona uno de los enfoques más frecuentes de la última década en el estudio epistémico de la ciencia. En efecto, desde la década de 1980 el semanticismo ha acometido con extensión y profundidad el tratamiento epistemológico de las teorías mediante sus modelos y ha realizado análisis bastante detallados respecto a asuntos como los siguientes (Aduriz-Bravo, Labarca, & Lombardi, 2014, pág. 29)

- Los diversos usos y caracterizaciones de la noción de modelo.
- El papel de los modelos en la identidad de las teorías.
- Su función representacional, analógica y mediadora entre las teorías y el mundo
- Su estructura particular y el lugar que ocupan dentro de las teorías científicas.
- La pertinencia de identificar tipologías de modelos.
- La relación de los modelos científicos con las teorías, las leyes, los sistemas y los fenómenos.

(Aduriz-Bravo, Labarca, & Lombardi, 2014, pág. 29) destacan también cuatro rasgos epistemológicos centrales de los modelos teóricos en su funcionamiento:

- Modelos a partir de la teoría y los datos empíricos.
- Modelos para unas determinadas finalidades y valores.
- Analogías teóricas respecto de la realidad.
- Mediadores entre la teoría y los datos empíricos.

Desde una perspectiva semanticista representacional, (Giere, *Science without laws.*, 1999) se refiere a los modelos científicos de la manera siguiente:

El concepto fundamental de mi comprensión sobre la practica científica es el modelo. Para mí, los modelos son las entidades representacionales primarias de la ciencia. Afirmo que los científicos incluyen modelos físicos a escala y representaciones diagramáticas, pero los modelos más interesantes son los modelos teóricos. Estos son objetos abstractos, entidades imaginarias cuya estructura podría o no ser similar a los aspectos de los objetos y procesos del mundo real. Los científicos son más propensos a hablar del ajuste entre sus modelos y el mundo, una terminología que adopto con satisfacción (Giere, *Science without laws.*, 1999).

El concepto de “modelo teórico” es de uso en ciencia en general, no así en filosofía. Esta distinción tiene que ver con el hecho de que mientras que la filosofía consiste en plantear grandes preguntas - ¿qué es el ser humano? ¿de dónde venimos? ¿Hacia dónde vamos?, etc.-, la ciencia consiste en responder preguntas y explicar fenómenos. En cualquier caso, la elaboración de modelos es un atributo propio del modo científico de pensar, en contraste con el modo filosófico de reflexionar (Maldonado, 2017).

De manera atávica, un modelo teórico descansa en principios o criterios matemáticos (esto es, en una ecuación, o una fórmula matemática). Esta es la razón más determinante de que los modelos sean prerrogativas de la ciencia y no tanto de la filosofía. Manifiestamente, la filosofía contribuye a explicar y a comprender el mundo y la realidad, pero nunca en términos precisos de modelos (teóricos) (De Bianchi, 2016).

En términos puntuales, un modelo es una simplificación de un sistema o comportamiento complejo – de la realidad. Sin embargo, esa idea bien puede ilustrarse con una expresión –casi un consejo-, por parte de Einstein: “Make it simple, but not simpler”. La precisión de un modelo teórico es una simplificación no primaria, aunque sí

básica acerca de la realidad y el mundo, pero una simplificación que sirve. Así, simplificación y predicción se conjugan para lograr explicar de forma sólida un comportamiento o un sistema (Maldonado, 2017).

2.1.3 Tipos de Modelos

Cabe identificar cinco tipos de modelos científicos, así, modelo teórico o conceptual, modelo matemático, modelo lógico, modelo informacional, modelo computacional (Maldonado, 2017).

Un modelo teórico o conceptual hace referencia simple y llanamente al rigor en el manejo de las teorías, tanto como de los conceptos. Por defecto, todo modelo científico es ya este tipo de modelo. En la base de esta clase de modelos se encuentra un excelente manejo del estado de arte y la capacidad de búsqueda e investigación, por ejemplo, en bases de datos. La distinción y buen manejo entre fuentes primarias y secundarias forma parte de este primer tipo de modelos científicos (Rowher & Ric, 2016).

De manera atávica, todo modelo teórico es, además, un modelo matemático. Sin embargo, es evidente que el componente o la arista matemática le imprime, de forma clásica, un tono de rigor y una capacidad de síntesis que fortalece al modelo teórico o conceptual. Al fin y al cabo, la matemática tiene como valor excelso la capacidad de compresión de ideas, argumentos y razonamientos en una fórmula o ecuación, o bien en un grupo concentrado de ecuaciones y fórmulas. (Cfr. Stewart, las 17 ecuaciones que cambiaron el mundo, xyz).

De otra parte, siendo diferentes, como es sabido, un modelo teórico puede también tener un componente lógico. Entonces se dice que el modelo -teórico o conceptual (por definición y por vía de descarte, al mismo tiempo) es un modelo lógico. En este caso, el modelo se sustenta en un proceso de formalización lógico, que es perfectamente distinto a la formalización matemática. En lógica existen diversos modelos

de notación, que van desde la notación clásica de la lógica simbólica o la lógica matemática- incluyendo la algebrización de la lógica, hasta los sistemas de notación alternativos, propios de las lógicas no clásicas.

Un cuarto tipo de modelo es el informacional. Un modelo se dice que es informacional, cuando se recurre al uso de lenguajes de programación ya existentes y se incorpora alguno de ellos en el desarrollo y fundamentación del modelo de que se trata en cada caso. Existe actualmente una muy amplia variedad de lenguajes, desde el más básico de todos, el Excel, hasta los más sofisticados. Como es sabido, hoy en día, la base de los lenguajes de programación es el Java.

Por su parte, en contraste con el modelo informacional, el quinto tipo de modelo científico es el computacional, el cual se caracteriza por que ya no se hace uso de un lenguaje determinado (NetLogo, Lisp, Mathematica, y muchos otros), sino, mejor aún, se hace un trabajo de escritura, y, por tanto, de desarrollo de programación. En este caso, el investigador sabe escribir código, y entonces se da a la tarea de escribir un programa con vistas a sostener o fortalecer el modelo teórico en el que trabaja y está interesado en defender o sustentar de alguna manera (conferencia, artículo científico, etc.) (Mazur & Manley, 2016).

El continuo de incertidumbre pura y certidumbre: El dominio de los modelos de análisis de decisiones está entre los siguientes dos casos extremos, dependiendo del grado de conocimiento que tenemos sobre el resultado de nuestras acciones, como se muestra a continuación. Ignorancia, situación de riesgo en conocimiento completo. Modelo de incertidumbre pura, modelo probabilístico y determinista.

2.1.3.1 Modelos determinísticos

Los problemas de toma de decisiones se pueden clasificar en dos categorías de modelos de decisión (Bustos, 2020):

- Determinístico. Las buenas decisiones se basan en sus buenos resultados. Se consigue lo deseado de manera “determinística”, es decir, libre de riesgo.
- Probabilísticos. Esto depende de la influencia que puedan tener los factores no controlables, en la determinación de los resultados de una decisión y también en la cantidad de información que el tomador de decisiones tiene para controlar dichos factores.

2.1.3.2 Modelos probabilísticos

- Abordar las decisiones como si fueran apuestas es la base de la teoría de la decisión. Significa que tenemos que compensar el valor de un cierto resultado contra su probabilidad (Bustos, 2020).
- Para operar según los cánones de la teoría de la decisión debemos hacer cálculos del valor de un cierto resultado y sus probabilidades, y a partir de allí de las consecuencias de nuestras elecciones.
- El Origen de la teoría de la decisión para la toma de decisiones se deriva de la economía, en el área de la función de la utilidad del pago. Propone que las decisiones deben tomarse calculando la utilidad y la probabilidad de rangos de opciones, y establece estrategias para una buena toma de decisiones. La teoría de la decisión no describe lo que las personas hacen en realidad, porque pueden surgir dificultades con los cálculos de la probabilidad y la utilidad de los resultados. Además, las decisiones pueden verse afectadas por la racionalidad subjetiva de las personas y por la manera en que cada persona percibe cada problema de decisión (Bustos, 2020).

2.1.3.3 Modelo estocástico

Un modelo estocástico es un tipo de modelo matemático que incorpora la aleatoriedad y la incertidumbre en el análisis de un sistema. Este tipo de modelo utiliza variables aleatorias y probabilidades para describir la variabilidad en el comportamiento

del sistema a lo largo del tiempo o en diferentes condiciones. Los modelos estocásticos son especialmente útiles cuando las variables del sistema están sujetas a variabilidad inherente, como en fenómenos naturales, procesos industriales, financieros o biológicos (Ross, 2014).

Las características principales que presenta este modelo son las siguientes:

- Incorporación de aleatoriedad: Los modelos estocásticos tienen en cuenta la aleatoriedad inherente en el comportamiento de un sistema, lo que permite capturar la variabilidad observada en la realidad (Rykov & Prokhorov, 2015).
- Variables aleatorias: Utilizan variables aleatorias para representar las incertidumbres en el sistema y modelar eventos futuros (Wilkinson, 2011).
- Probabilidades: Se basan en conceptos de probabilidad para asignar probabilidades a diferentes resultados y escenarios.
- Análisis de múltiples escenarios: Permiten evaluar el sistema bajo diferentes condiciones o escenarios posibles, lo que proporciona una comprensión más completa de su comportamiento.
- Modelos de Monte Carlo: Algunos modelos estocásticos utilizan técnicas de simulación de Monte Carlo para generar muestras aleatorias y analizar la distribución de resultados posibles (Rykov & Prokhorov, 2015).

2.1.3.4 Modelo de optimización

La investigación de operaciones utiliza una metodología sencilla para acercarse a la solución de problemas que requieren de optimización. Tal metodología puede expresarse como sigue (Matemáticas para negocios, 2019):

- Identificación del problema que requiere de la investigación de operaciones y recopilación de información.

- Planteamiento del modelo matemático.
- Solución del problema matemático y ajustes al mismo.
- Implementación de la mejor solución.

Uno de los modelos más utilizados en la investigación de operaciones es el Modelo de Programación Lineal (PL), el cual tiene la característica de que todas las expresiones que lo componen son lineales. El modelo de programación lineal cuenta con una función objetivo, la cual se pretende optimizar, y una serie de expresiones matemáticas que representan las restricciones que deben satisfacerse para que la solución obtenida sea óptima y factible. Es decir, que la solución del modelo matemático sea la mejor posible y que pueda implementarse en la realidad. El siguiente es un ejemplo de un modelo de programación lineal:

Ecuación 1

Ecuación con objetivo de maximización

| | |
|------------------------|-----|
| $Max Z = 5x_0 + 12x_1$ | (A) |
| s. a | |
| $x_0 + 2x_1 \leq 125$ | (1) |
| $3x_0 + x_1 \leq 65$ | (2) |
| CNN $x_0, x_1 \geq 0$ | (3) |

Nota: La ecuación fue propuesta como objetivo de maximización muestra los razonamientos y cálculos que se deben realizar. Recuperado de (Matemáticas para negocios, 2019)

La ecuación (A) es la función objetivo a maximizar en este caso, y las ecuaciones (1), (2) y (3) representan el conjunto de restricciones a satisfacer, cabe mencionar que la ecuación (3) se conoce como Condición de No Negatividad (CNN) y que el modelo se lee como “la función objetivo Z sujeta a (s. a) el conjunto de restricciones dado”.

2.1.3.5 Modelo de simulación

Según (Fullana & Urquia., 2019) señala como antecedentes de la teoría de la simulación podríamos mencionar la teoría de la dinámica de sistemas. A su vez, la teoría de la dinámica de sistemas se basó en la teoría de los servomecanismos, cuya característica fundamental es la existencia en los mismos de una realimentación de información. Se entiende por realimentación el proceso en virtud del cual, cuando se actúa sobre un determinado sistema, se obtiene continuamente información sobre los resultados de las decisiones tomadas, información que servirá para tomar las decisiones sucesivas. La teoría de los servomecanismos tiene dos características fundamentales: El estudio sistemático del concepto de realimentación y un amplio desarrollo del estudio del comportamiento dinámico de los sistemas donde se encuentra el germen de la noción de sistema dinámico (Aracil, 1996). Estas ideas de realimentación y de sistema dinámico se aplicaron en el estudio de procesos socioeconómicos más que en procesos tecnológicos ya que en los procesos socioeconómicos se desconocen, la mayoría de las veces, las leyes que rigen las interacciones elementales que se producen en el seno de los mismos y sin embargo muestran un comportamiento dinámico y una fuerte interacción entre sus partes. Es decir, según pasa el tiempo, las variables con que se mide su estado, tales como las ventas, la producción, los empleados etc., fluctúan considerablemente, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas, que además son aleatorias.

En esta área de conocimiento se desarrolló la teoría de la simulación que podría definirse como un medio que experimenta con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo responderá el sistema a los cambios en su estructura o entorno (Harrel & Tumay, 1995). Por otro lado, se podría afirmar que la simulación permite experimentar con un modelo del sistema para comprender mejor los procesos, con el fin de mejorar la actividad en las empresas (Harrington H. & Tumay, 1999). Finalmente, un

aspecto muy importante a destacar dentro de las distintas definiciones de la teoría de la simulación es que ésta pretende imitar el comportamiento del sistema real, evolucionando como éste, pero lo más frecuente es estudiar además la evolución del sistema en el tiempo.

2.1.3.6 Modelo de redes

Según la página (sevilla, 2019), Una red es la representación gráfica de un proceso, series de actividades interconectadas o la distribución de puntos geográficos específicos que representan una realidad, clasificándose como un modelo de redes con terminología propia para su desarrollo como:

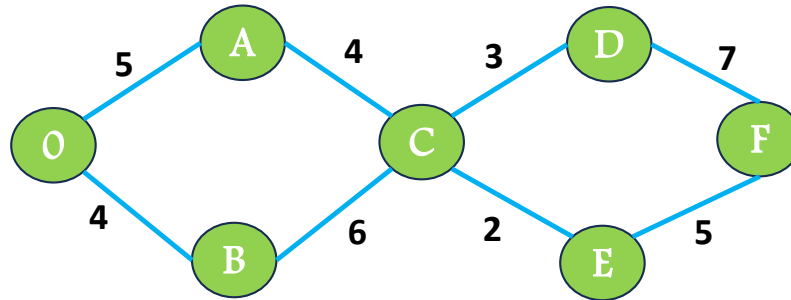
Red: Conjunto de puntos llamados nodos (o vértices) y líneas que los unen llamadas arcos (o ligaduras, aristas o ramas), entre dirigidas que tienen un solo flujo en una sola dirección. No dirigidas, donde se permite el flujo en ambas direcciones.

Trayectoria: que es la sucesión de arcos distintos conectando dos nodos, entre dirigidas donde la dirección es hacia el nodo final por otro nodo y la no dirigida que regresa hacia el punto de partida por el mismo camino o por otro.

Capacidad de arco: siendo la cantidad máxima de flujo que pueda circular en un arco dirigido, un nodo de tipo origen, con propiedad de flujo de salida es mayor al de entrada, nodo demanda o destino, donde el flujo que llega es mayor al que sale y nodo trasbordo que satisface la conservación de flujo de entrada y salida.

Figura 1

Diagrama representativo de una red



Nota: Los nodos 0 y F representan el origen y destino de la red, mientras que los nodos A, B, C, D y E, son nodos de trasbordo, el numero en los arcos o líneas podrían indicar tiempo de paso en las calles. Fuente: (sevilla, 2019)

Los diagramas de redes representan vías de comunicación que se utilizan para obtener información adicional como la ruta más corta entre el nodo origen y el nodo destino.

2.1.3.7 Problema de la ruta más corta

Según la Universidad de (sevilla, 2019), el problema de la ruta más corta tiene por objetivo determinar la ruta mínima entre un origen y un destino determinado utilizando la información disponible en una red y cumplimiento con las especificaciones de distancia y conexiones existentes. El algoritmo analiza la red a partir del origen identificando en orden ascendente la ruta más corta hasta cada uno de los nodos desde el origen hasta alcanzar el nodo destino determinando la ruta más corta con la mínima distancia total desde el origen hasta el destino.

Algoritmo de la ruta más corta

Objetivo de la n-ésima iteración. Encontrar el n-ésimo nodo más cercano al origen (este paso se repetirá para $n=1, 2, \dots$ hasta que el n-ésimo nodo más cercano sea el nodo destino).

Datos para la n-ésima iteración. Son los n-1 nodos más cercanos al origen (encontrados en las iteraciones previas), incluida su ruta más corta y la distancia desde el origen (estos nodos y el origen se llaman nodos resueltos, el resto son no resueltos).

Candidatos para el n-ésimo nodo más cercano. Cada nodo resuelto que tiene conexión directa por una ligadura con uno o más nodos no resueltos, proporciona un candidato y éste es el nodo no resuelto que tiene la ligadura más corta (los empates proporcionan candidatos adicionales).

Cálculo del n-ésimo nodo más cercano. Para cada nodo resuelto y sus candidatos, se suma la distancia entre ellos y la distancia de la ruta más corta desde el origen a este nodo resuelto. El candidato con la distancia total más pequeña es el n-ésimo nodo más cercano (los empates proporcionan nodos resueltos adicionales) y su ruta más corta es la que genera esta distancia.

El algoritmo es muy sencillo y su aplicación se facilita aún más si se utiliza una tabla que registra el resultado de las iteraciones y permite la identificación de las conexiones que forman la ruta más corta de la red.

Tabla 2

Tabla de aplicación del algoritmo de la ruta mas corta

| <i>n</i> | <i>Nodos resueltos conectados directamente a nodos no resueltos</i> | <i>Nodo no resuelto más cercano conectado</i> | <i>Distancia total involucrada</i> | <i>n-ésimo nodo más cercano</i> | <i>Distancia mínima</i> | <i>Última conexión</i> |
|----------|---|---|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 0 | B | | B | 4 | 0b |
| 2 | 0 | A | 5 | A | 5 | 0A |
| | B | C | 4+6=10 | C | 10 | |

Nota: Se registran las iteraciones siguiendo los pasos correspondientes. Recuperado de (sevilla, 2019).

Aplicando la tabla a la figura del diagrama representativo de una red la primera iteración se realiza comparando la distancia existente entre el nodo 0 y los nodos A y B respectivamente, seleccionando el nodo B como el “nodo no resuelto más cercano conectado” con una “distancia total involucrada” de 4 km.

Ahora, el “n-ésimo nodo más cercano” aplica cuando se deba comparar más de un nodo, en este caso el mismo nodo B es el más cercano con una “distancia mínima” de 4 km, por lo que se establece la “última conexión” como 0B.

En la segunda iteración, el nodo 0 y el nodo B son nodos resueltos, es decir, ya se pasó por ellos, pero están conectados a nodos no resueltos y, por esta razón, se consideran en la segunda iteración.

El nodo no resuelto más cercano a 0 y B respectivamente es A y C, el primero con una distancia total de 5 unidades, mientras que la distancia para llegar a C es la suma de las distancias de 0 a B y luego de B a C; siendo mínima la primera, se selecciona como última conexión (sevilla, 2019).

El algoritmo de la ruta más corta nos da beneficios de encontrar la respuesta más benéfica para un sistema de rutas, encontrando el camino más corto para llegar al destino final, utilizando pocos recursos, con las características de contener nodos, aristas y arcos con los cuales se calculan las probabilidades de tomar un camino y seguir hasta llegar al destino final.

Tabla 3

Tabla completa de la ruta más corta aplicada

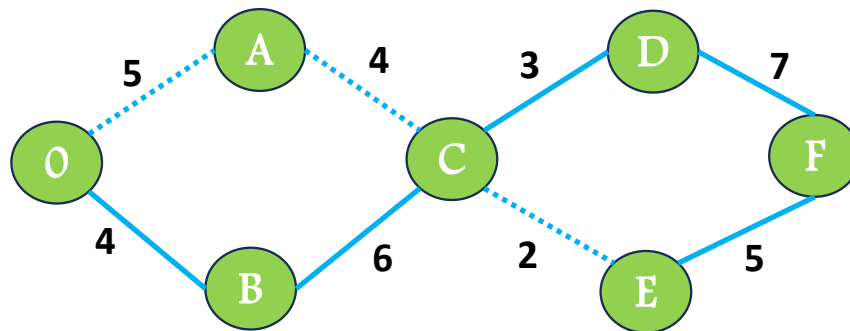
| <i>n</i> | <i>Nodos resueltos conectados directamente a nodos no resueltos</i> | <i>Nodo no resuelto más cercano conectado</i> | <i>Distancia total involucrada</i> | <i>n-ésimo nodo más cercano</i> | <i>Distancia mínima</i> | <i>Última conexión</i> |
|----------|---|---|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 0 | B | | B | 4 | 0b |
| 2 | 0 | A | 5 | A | 5 | 0A |
| | B | C | 4+6=10 | C | 10 | |
| 3 | A | D | 5+4=9 | C | 9 | AB |
| 4 | B | E | 9+2=11 | E | 11 | BE |
| | | D | 9+3=12 | D | | |
| 5 | D | F | 12+7=19 | F | 19 | ET |
| | E | F | 11+5=16 | F | 16 | |

Nota: De la última columna extraemos la información para resolver el problema. Recuperado de (sevilla, 2019).

La solución al problema utilizando el modelo de la ruta más corta aplicada al diagrama de grafo quedaría de la siguiente manera:

Figura 2

Solución de la ruta más corta en el diagrama representativo de una red



Nota: En algunas ocasiones este algoritmo podría generar más de una ruta óptima.

2.1.4 Elaboración e implantación de modelos

Según (Fullana & Urquia., 2019) La ejecución de un proyecto de simulación requiere el seguimiento de un proceso secuencial de tres fases: La evaluación y diseño, la ejecución y la medida de logros y mejora continua, entre el primero, se identifican a los responsables, se determinan las necesidades de simulación y sus características, (los procesos con altas tasas de transacciones pero de flujo directo, tienen necesidades distintas que los procesos de baja tasa con flujos múltiples y complejos), y supondrá la reingeniería del proceso, se estima los recursos necesarios mediante la simulación de un plan financiero, se evalúan y seleccionan las tecnologías de simulación disponibles para evaluar el coste y tiempo necesarios.

Cuando se inicia un estudio de simulación, en el inicio de arranque de la investigación, la primera aproximación para construir un modelo consiste en la utilización de funciones sencillas como: polinomios de primer y segundo grado como lo dijo (Houck E. & Cooley B, 1983) Un ejemplo de función polinómica de primer grado utilizada para estos estudios iniciales podrían ser:

Ecuación 2

Ecuación polinómica de primer grado

$$Y = \beta_0 + \sum_i^k \beta_i X_i + \varepsilon$$

Nota: La ecuación propuesta se podría utilizar en una formulación de modelo. Recuperado de: (Fullana & Urquia., 2019) Donde Y es la respuesta estimada y ε es el factor aleatorio.

Un ejemplo de función polinómica de segundo grado propuesta podría ser:

Ecuación 3

Ecuación polinómica de segundo grado

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{\substack{j=1 \\ (i < j)}}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Nota: Ecuación de segundo grado propuesta para un modelo matemático siendo Y la respuesta estimada y ε el factor aleatorio. Recuperado de: (Fullana & Urquia., 2019).

Donde: β_0 es el parámetro de modelo, Y es la variable dependiente, X son las variables explicativas.

A medida que se va rodando el modelo se va llegando a la región de respuesta óptima. En los experimentos iniciales, el modelo de primer grado puede dar una estimación bastante aproximada de la respuesta óptima y será útil para identificar las siguientes regiones de exploración. Se utilizan las funciones de primer grado hasta que

el modelo es incapaz de explicar lógicamente la respuesta obtenida, se adivina entonces la presencia de una curva y se pasa a una función de un grado superior para la exploración de las regiones posteriores (Fullana & Urquia., 2019).

Ejecución del diseño de proyecto de simulación.

Según (Fullana & Urquia., 2019), explica que para ejecutar la simulación de un proyecto es necesario primero:

Definir los objetivos que se desean alcanzar son: el análisis del funcionamiento de un proceso bajo circunstancias significativas como la utilización de recursos, rendimiento y tiempo de espera, en el análisis de la capacidad del proceso, o saber si el proceso es capaz de hacer frente a los requerimientos, análisis de sensibilidad, variables de decisión y análisis de optimización. Definir las restricciones, identificar aquellas que afectan al proyecto de simulación, con la restricción del tiempo, no siendo optima si el tiempo de ejecución no tiene límites para su resolución. Definir el tiempo de actuación del modelo, incluyendo aspectos como la extensión del modelo, nivel de detalle, grado de precisión, tipos de pruebas a realizar y contenido de los resultados.

2.1.4.1 Métodos de simulación

Entre los métodos utilizados en los modelos de simulación tenemos a:

Métodos analíticos: Basado en técnicas asociadas a las teorías de colas, consistiendo esencialmente en nodulos ensamblados entre si en una red multinivel, se evidencian múltiples aspectos ligados a la complejidad ligada de los procesos en los que se compite por un mismo recurso, y la variabilidad del proceso de entrada – salida dando hechos estables por las series de datos (Fullana & Urquia., 2019).

Métodos continuos: El comportamiento de los procesos simula la variación en el tiempo de cada variable de un estado, siendo apropiados para procesos de gran volumen o producciones continuas, estas varían de forma continua y diferenciable en el tiempo, se

trata de determinar los valores hasta el momento donde alcanza el umbral que pone en marcha ciertas acciones (Fullana & Urquia., 2019).

Métodos discretos: Las variables de estado evolucionan sobre un conjunto de puntos, los flujos temporales compiten unos con otros por los recursos escasos. Permiten simular comportamientos aleatorios con distribuciones de probabilidad discreta y los resultados son aleatorios pudiendo modelizar mediante ecuaciones diferenciales.

Orientados a objetos: Contempla procesos, productos, servicios y recursos como objetos formados por combinaciones de información y procedimientos, se combinan para crear un ejemplar del objeto en cuestión con atributos y métodos. Estos métodos reducen los tiempos de desarrollo de modelos y su propósito es facilitar la creación de submodelos que maximicen su ciclo de vida y su integración a otros modelos, incorporando técnicas analíticas continuas y discretas (Fullana & Urquia., 2019).

2.1.4.2 Ciclos de construcción de modelos

(Bustos, 2020) Señala que la modelización es el centro del proceso de toma de decisiones y que para ello es necesario definir su ciclo desde el inicio hasta su implementación.

El proceso estructurado de modelización es el centro de la actividad en IO/CA. Es por eso que la pregunta principal es, "¿Se asemeja el modelo al mundo real?".

Sepa que el modelo no es la realidad, pero sí contiene partes de ella. La pregunta es: "¿Contiene las partes importantes que son relevantes para el problema de decisión?"

La modelización y el razonamiento son los deseos de entender la realidad. Un ejemplo interesante es conectar la división de un círculo en 360 grados y de un año en una determinada cantidad de días. Este deseo de tener un modelo matemático del universo y sus dificultades de procesamiento es manifiesto. Existieron ejemplos similares

en la música, la arquitectura, etc. Son modelos matemáticos para relacionar números enteros pequeños, fáciles de representar y manejar, y fenómenos complejos cuyos parámetros numéricos no cuadran exactamente en esquemas con enteros.

Es comprensible que el sistema de 360° y el esquema musical 6-8-9-12 hayan sido el resultado de este conflicto. Estos ejemplos son modelos matemáticamente adecuados y semánticamente justificados. Como dijo Bill Gates, "Si usted no sirve para las matemáticas, entiende de negocios."

2.1.5 Modelado con datos

La información consiste en estímulos que, en forma de signos, desencadenan el comportamiento (Bustos, 2020).

Charles Morris describe dos clases de signos:

- La señal que se origina en la experiencia real.
- Un símbolo que sustituye a otro signo.

La información es cualquier entrada que cambia las probabilidades (o las certezas) de cualquier manera. De ahí que una entrada que aumente la incerteza sea información.

Los signos se producen externamente, afectan a los cinco sentidos del ser humano. El lenguaje ofrece una organización de signos visuales y audiovisuales que transmiten información de las cuales se estudian dos tipos de ciencias.

Las dos ciencias que tratan de él son:

Semiótica: tratándose de la ciencia de los signos. El signo puede ser:

- Humano o animal.
- Lenguaje o no lenguaje.
- Verdadero o falso.

- Adecuado o inadecuado.
- Sano o patológico.

Lingüística: Es el estudio científico del lenguaje hablado.

Atributos de la información

Finalidad: La información debe tener una finalidad en el momento de ser transmitida. El propósito básico es informar, evaluar, convencer u organizar la información.

Modo y formato: Los modos de comunicar información al ser humano son sensoriales. El hombre recibe la mayor parte de la información en formatos de material verbal o documentos. Las maquinas la reciben en el formato de patrones de energía, cintas, tarjetas e incluso en forma escrita.

Redundancia eficiencia: La redundancia es el exceso de información transmitido por unidad de datos. Constituye una medida de seguridad en contra de los errores en el proceso de comunicación. La eficiencia del lenguaje de datos es el complemento de la redundancia.

Velocidad: La velocidad de transmisión o recepción de información es el tiempo que uno se tarda en entender un problema en particular.

Frecuencia: La frecuencia con que se transmite o recibe información repercute en su valor. La información que aparece con excesiva frecuencia tiende a producir interferencia, ruido o distracción.

Determinística o probabilística: La información determinística supone que existe un solo valor. Si la información es probabilística, se da un conjunto de resultados posible junto con sus probabilidades correspondientes.

Costo: Constituye un factor limitante en la obtención de información. Es necesario evaluar constantemente el valor de la información y su costo.

Valor: Depende mucho de otras características: modo, velocidad, frecuencia, características determinísticas, confiabilidad y validez.

Confiabilidad y precisión: Es más caro obtener una gran precisión y confiabilidad que bajos valores de ambas. Por tanto, es posible un intercambio entre costo y precisión/confiabilidad.

Exactitud: Este atributo mide la aproximación de un número a lo que verdaderamente debería ser.

Validez: Es una medida del grado en que la información representa lo que pretende representar.

Actualidad: Designa la antigüedad de la información.

Densidad: Es el “volumen de información” presente en un informe o mensaje. Los informes largos tienen poca densidad de información. Las tablas y gráficas presentan la mayor cantidad de ella en la forma más condensada.

2.2 Modelo de planteamiento del problema

Un modelo es la representación abstracta de un proceso en particular o de la realidad en general. Dependiendo de la complejidad y de uno de lo que se desea representar, se han desarrollado diferentes modelos como son los diagramas de flujo, que indican el orden y secuencia de una serie de actividades; los organigramas, que indican la jerarquía e interrelaciones de una organización; o los modelos matemáticos, que son representaciones de problemas o casos prácticos con números y signos matemáticos. Ejemplo de estos últimos son las ecuaciones que representan la oferta y la demanda y la expresión matemática de las utilidades o de los costos de producción de una empresa.

Para comenzar el modelado se utilizan modelos sencillos, y a partir de éstos se construyen otros más complejos y con más información; concluyendo el modelado hasta que el responsable del mismo considere que con éste se representa de manera satisfactoria el problema de estudio; es decir, que se tiene un modelo con validez.

A continuación, se presenta la forma en la que se construyen los modelos matemáticos en la investigación de operaciones (Matemáticas para negocios, 2019).

2.2.1 Datos y variables de decisión

La identificación de un problema, proceso o situación que puede optimizarse con la investigación de operaciones se basa en reconocer si el problema de estudio cuenta con variables controlables, que llamaremos variables de decisión.

Una variable controlable o de decisión es aquella que se puede medir y modificar en su valor deliberadamente.

Las variables de decisión se identifican con literales o etiquetas que faciliten su manejo en los modelos matemáticos; donde se observa que el uso de la etiqueta es más fácil de manejar en una ecuación, que todo el significado de la variable.

Las variables de decisión de un problema pueden obtenerse respondiendo algunas de las preguntas:

- ¿Qué valores debo determinar para resolver el problema?
- ¿Qué valores puedo controlar para modificar los resultados del proceso?
- ¿Qué se desea cuantificar?
- ¿De cuáles variables se desea calcular su valor?

Las variables de decisión pueden obtenerse respondiendo a la pregunta ¿qué se desea cuantificar?, y la respuesta está en el planteamiento mismo como "...la combinación

óptima de viajes necesaria para maximizar los ingresos...”, entonces se definen como variables de decisión aquellas que indiquen la cantidad de viajes de cada tipo:

x : = Cantidad de viajes de lujo que se requiere vender.

y : = Cantidad de viajes económicos que se requiere vender.

A partir de este punto, las expresiones de “la función objetivo” y “las restricciones” del problema en un modelo de P. L. deben escribirse en función de las variables de decisión definidas (Matemáticas para negocios, 2019).

2.3 Transitabilidad vial

No existe un concepto claro sobre la transitabilidad vial, pero se puede definir como la capacidad de una red de carreteras o vías para permitir el flujo eficiente y seguro de vehículos y peatones y que implica las consideraciones sobre el estado físico de las calles, avenidas y carreteras, su señalización, semaforización, la accesibilidad para los distintos tipos de vehículos y usuarios, y también la capacidad de respuesta ante las condiciones climáticas benéficas o adversas, u otros factores que afecten el nivel de tráfico o tránsito desde un lugar a otro.

2.4 Congestionamiento vehicular

Técnicamente según (Chamorro, 2019), la congestión de tránsito es la situación que se crea cuando el volumen de demanda de tránsito en uno o más puntos de una vía excede el volumen máximo que puede pasar por ellos. También se dice que hay congestión cuando la interacción vehicular es tan intensa que impide que los usuarios de una vía puedan circular por ella cómodamente y sin demoras excesivas; pero preferimos la definición técnica por ser menos ambigua. Para que se produzca la congestión, es preciso que haya un aumento del volumen de demanda o una disminución del volumen máximo posible, con respecto a la situación que existía cuando no había congestión. Estos cambios pueden ocurrir a lo largo de la vía o a lo largo del tiempo. El primer caso sucede cuando el volumen máximo posible en el punto de la vía considerado es menor

que el que existe corriente arriba de este punto en la vía o vías que conducen hasta allí el volumen de demanda. En ese punto ocurre lo que se suele llamar “embotellamiento” Cuando el volumen de demanda empieza a rebasar el volumen máximo posible, la congestión se inicia en el punto de “embotellamiento”, pues de otro modo empezaría corriente arriba.

Algunos ejemplos frecuentes de este caso son el comienzo de una pendiente fuerte o curva cerrada, o bien la confluencia de dos o más corrientes vehiculares en el punto considerado. El segundo caso sucede, por ejemplo, cuando aumenta la demanda de viajes, inesperadamente o no, o cuando el mal tiempo o cualquier otra circunstancia reduce la velocidad de la corriente vehicular y/o alarga las brechas entre vehículos. Sin embargo, también en este caso la congestión suele manifestarse primero en puntos de “embotellamiento”, pues los cambios en demanda u oferta de tránsito son, en general, graduales y la congestión alcanza primero esos puntos, aunque luego se propague corriente arriba y se vaya disipando corriente abajo (Chamorro, 2019).

2.5 Sistema de tránsito

2.5.1 Sistema

(Espinoza D. , 2007) Nos dice que un sistema por definición está compuesto de partes o elementos interrelacionados. Esto se aplica a todos los sistemas mecánicos, biológicos y sociales. Todos los sistemas deben tener más de dos elementos y estos a su vez estar interconectados.

El sistema es un tubo unitario organizado, compuesto por dos o más partes componentes o su sistema interdependiente y delineado por límites identificables de su suprasistema ambiente. El sistema es en términos como un todo, una entidad propia, con propiedades únicas comprensibles en términos del todo especialmente frente al

tradicional enfoque reduccionista o mecanista sobre las partes separadas y una noción simplista de la forma en que estas partes se integran entre sí.

La palabra sistema tiene muchas connotaciones conjunto de elementos interdependientes e interactuantes, grupo de unidades combinadas que forman un todo organizado. El ser humano, por ejemplo, es un sistema que consta de varios órganos o miembros, solo cuando estos funcionan de modo coordinado el hombre es eficaz de igual manera se puede pensar que la organización es un sistema que consta de varias partes interactuantes. En realidad, el sistema es un todo organizado o complejo, un conjunto o combinación de cosas o partes que forman un todo complejo o unitario.

2.5.2 Tránsito

La supervisión automática del tránsito ha sido de interés por muchos años; desde los 80s, los ingenieros de tránsito han venido investigando métodos para la implementación de sistemas de supervisión automática del tránsito. Uno de los propósitos de tales sistemas es obtener información del uso de las vías y determinar áreas con necesidad de expansión o con alteración de los requerimientos de los patrones de tránsito existentes (Blake, Ferrier, & Rowe, 1994).

El control automático del tráfico vehicular es un campo que ofrece retos interesantes en la aplicación de técnicas de visión artificial. Es así como recientes investigaciones se han dirigido a la solución del problema del tráfico vehicular, aplicando una variedad de técnicas que van desde el procesamiento digital de imágenes clásico y de imágenes en movimiento (Friedman & Russel, 1997), hasta métodos heurísticos como las redes neuronales artificiales y los algoritmos genéticos.

2.6 Código de tránsito

Según la ley 165, Ley general de transporte, en su artículo 1 menciona que: “La presente ley tiene por objeto establecer los lineamientos normativos generales técnicos,

económicos, sociales y organizacionales del transporte, considerando como un Sistema de Transporte Integral – STI, en sus modalidades aérea, terrestre, ferroviaria y acuática (marítima, fluvial y lacustre) que regirán en todo el territorio del Estado Plurinacional de Bolivia a fin de contribuir al vivir bien”.

El código de tránsito data del 16 de febrero de 1973, mediante decreto Ley n° 10135 y su reglamento mediante resolución suprema no 187444 de 8 de junio de 1978. Que señala:

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.

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.

Artículo 3.- Del Servicio. - El servicio nacional de tránsito, como organismo integrante de la policía nacional, ejecutará y hará cumplir las disposiciones del presente código.

La actual norma señala que el conductor tiene la obligación de disminuir e incluso detener el vehículo cuando está cruzando un peatón, como también en zonas militares y escolares.

2.6.2 Bases de reglamento de tránsito

En base a la necesidad de controlar el tránsito por las vías del país nace el código de tránsito en el año 1973 denominada CODIGO DE TRANSITO, en la cual tiene como principio la aplicación y objeto de la ley, demarcar las vías terrestres y los servicios de transporte.

2.6.3 Organismos de administración y control de tránsito

2.6.3.1 Unidad Operativa de Tránsito

Según La descripción de (Canaviri, 2015), La Unidad De Tránsito es la entidad policial encargada del tráfico vehicular, peatonal y de usuarios en el territorio boliviano, además tiene la tarea de lograr el cumplimiento de las normas de circulación en las vías públicas tanto de conductores como de peatones en todo el territorio nacional.

La Unidad de tránsito continuará siendo manejada por la policía, según lo dispone la constitución, sin embargo, tráfico y vialidad estará a cargo de los municipios, lo que se debe regular en el nuevo código de tránsito, considerando que las carreteras unen varias alcaldías.

2.6.3.2 Control de tránsito y movilidad urbana municipal de El Alto

Según (DATM/Nº018/2023, 2023) se establecen sanciones leves por no cumplimiento de rutas o trameaje de líneas de transporte público, amparada en la resolución administrativa y la constitución política del estado, resolviendo que la norma precedentemente citada, refiere en su artículo 17. (Las Autoridades Competentes). *“Las diferentes modalidades de transporte estarán reguladas por la autoridad competente en el ámbito de su jurisdicción: (...) c) Autoridad competente del nivel municipal, representante del Órgano Ejecutivo del nivel del nivel municipal que emite políticas, planifica, regula, fiscaliza y/o administra la ejecución, gestión, operación y control del sistema de transporte integral-STI, además aprueba y realiza otras actividades inherentes al sector en el marco de sus atribuciones y funciones específicas(...).”*

Que la ley Nº 010/2013 – Ley Municipal de Transporte y Movilidad Urbana, de fecha 13 de mayo de 2013, en su Artículo 1 establece: *“(OBJETO). La presente Ley Municipal tiene por objeto normar regular, controlar, y sancionar el transporte y tránsito urbano, que forman parte del sistema de Movilidad Urbana, en la jurisdicción del Municipio*

de El Alto, bajo criterios de calidad, equidad, seguridad, consenso, economía y en el marco del ejercicio de las competencias exclusivas de la entidad territorial local.”

2.5.4 Organismos de construcción y mantenimiento de las vías de tránsito

Administradora Boliviana de Carreteras

Dentro de las atribuciones y funciones de la (Administradora Boliviana de Carreteras, 2011), está la de fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico vial, con programas y planes que consideran los recursos humanos y tecnológicos nacionales, mediante la elaboración de manuales, normas y especificaciones técnicas, apropiadas a las condiciones nacionales.

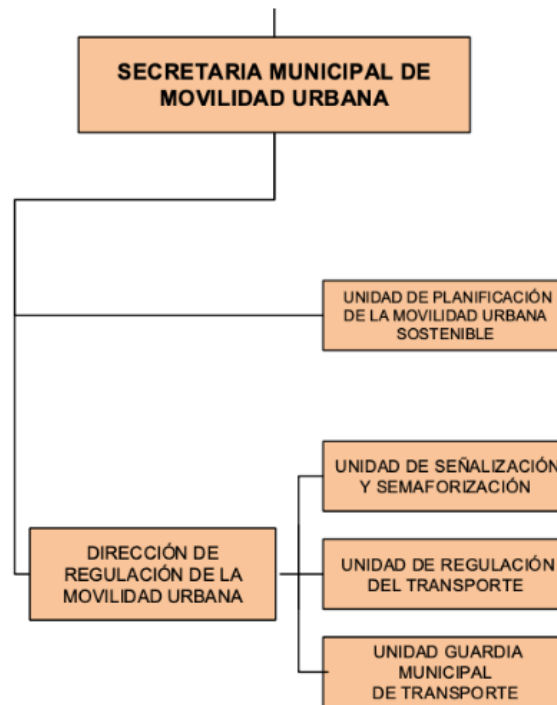
De este contexto, el presente Manual de Conservación Vial, pretende elaborar y normar los procedimientos referidos al mantenimiento y conservación de carreteras. De igual manera, se presenta una conceptualización de los niveles de intervención (mejoramiento en primer, segundo y tercer grado y rehabilitación en primer y segundo grado) y de las normas de conservación vial, determinada por la ABC a través de la Gerencia o Unidad Técnica de Conservación Vial.

Secretaría Municipal de Movilidad Urbana El Alto

En su Página oficial de (Gobierno autónomo municipal de El Alto, 2024) Establece políticas, lineamientos, normativos administrativos técnicos y operacionales, para mejorar el sistema de transporte y movilidad urbana en todos sus estamentos (peatón, transporte, infraestructura, control, etc.) en el municipio de El Alto, generando lineamientos estratégicos, políticas, proyectos, planes y programas, para la implementación y posterior institucionalización del sistema integral de movilidad urbana. En su organigrama se encuentra a:

Gráfico 1

Organigrama de la Secretaría Municipal de Movilidad Urbana El Alto



Nota: Se muestra la sección de movilidad urbana donde está el área de Unidad de señalización y semaforización. Recuperado de: (Gobierno autónomo municipal de El Alto, 2024)

2.5.5 Respecto a las vías públicas

Según el código de tránsito (CODIGO DE TRANSITO Y REGLAMENTO, 2008) por decreto de ley nº 10135 del 16 de febrero de 1973, en el capítulo II, se describen en los siguientes artículos:

Artículo 14.- (Circulación). Circulación es el movimiento de peatones, vehículos y semovientes por la vía pública.

Artículo 15.- (Libre circulación). Ninguna entidad, asociación o grupo de personas, podrá interrumpir la libre circulación de peatones y vehículos sin previo permiso de la autoridad de tránsito.

Artículo 16.- (Permisos). En los casos de desfiles cívicos, procesiones religiosas u otras manifestaciones públicas, la policía de tránsito al conceder el permiso, indicará las rutas de desviación.

Artículo 17.- (Prohibición). Ningún vehículo que no esté en buenas condiciones mecánicas podrá circular por la vía.

Artículo 18.- (Equipo de auxilio). Todo vehículo, para efectuar viajes, estará equipado de herramientas, botiquín, señales de emergencia y demás medios indispensables de auxilio.

2.5.5.1 De la circulación de vehículos

Las más importantes reglas de circulación en el capítulo II de la (CODIGO DE TRANSITO Y REGLAMENTO, 2008), del artículo 19.- (Reglas de circulación). Los vehículos circulan por las vías públicas sujetándose las siguientes reglas.

- a) Conservando el lado derecho de la vía.
- d) Para girar, a la derecha o izquierda, se colocará con anticipación en el carril del lado correspondiente.
- e) 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 circulación.
- f) Tiene privilegio de paso, con relación a las vías secundarias, el vehículo que circula por las rutas señaladas como preferenciales.

El artículo 20.- (Prohibiciones) nos señalan las más importantes que: Se establecen las siguientes prohibiciones básicas para los vehículos en circulación.

- Está prohibido el uso de la bocina durante la noche. En el día solamente será utilizada en casos de emergencia.

- Recoger o dejar pasajeros en medio de la calzada, lugares prohibidos o cuando el vehículo está en movimiento.
- Circular describiendo “eses”.

El capítulo V de control de la velocidad en sus artículos 35 y 36 mencionan:

Artículo 35.- (Velocidad reglamentaria). Ningún vehículo circulara a velocidades superiores o inferiores a las establecidas por la policía de tránsito de acuerdo al reglamento.

Artículo 37.- (Competencia). Se prohíbe, terminantemente, entablar competencias de velocidad entre toda clase de vehículos en las vías urbanas y rurales, excepto las deportivas autorizadas por la policía de tránsito.

Capítulo VI, Artículo 45.- (Detención súbita). Los conductores quedan prohibidos de detener su vehículo súbito y bruscamente, salvo en casos de emergencia.

Artículo 46.- (Estacionamiento prohibido). Es prohibido estacionar, parar o detener el vehículo en lugares no autorizados por la policía de tránsito.

Capítulo VII, de las señales de tránsito menciona las señalizaciones de tránsito descritas a continuación.

Artículo 51.- (Señalización). En las vías públicas, habrán señales de tránsito destinadas a los conductores y peatones.

Artículo 61.- (Sistema de señalización). Únicamente será admitida en las vías públicas el sistema de señalización adoptado por el presente Código Nacional de Tránsito y el Manual Interamericano de Dispositivos para el control de tránsito en calles y carreteras.

Artículo 62.- (Clasificación de las señales). Las señales de tránsito se clasifican en las siguientes:

- Verticales
- Horizontales
- Luminosas y sonoras
- La de los Agentes de la circulación

Artículo 64.- (Cumplimiento de las señales). Los conductores y peatones están obligados a cumplir y respetar las señales de tránsito.

2.5.6 Velocidad

La velocidad es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo. Se la representa por V_0 ó V .

Sus dimensiones son $[L] / [T]$. Su unidad en el Sistema Internacional es el m/s. En virtud de su carácter vectorial, para definir la velocidad deben considerarse la dirección del desplazamiento y el módulo, al cual se le denomina celeridad o rapidez (Chamorro, 2019).

2.5.7 Volumen de tráfico

El Número de vehículos que pasan por una sección de vía o un carril durante una unidad de tiempo. Puede ser una hora, día, una semana un mes o un año.

Volumen Horario de Diseño (VHD): Es el volumen horario futuro utilizado para diseño. Por lo general se usa el trigésimo volumen horario más alto para el año futuro de diseño (Dominguez, 2015).

2.5.8 Longitudes de colas de los vehículos

Según el HCM 2000- TRB 2000³, define la capacidad, como la máxima tasa horaria en la cual las personas o vehículos razonablemente pueden esperar atravesar un punto o una sección uniforme del canal o vía durante un periodo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la vía, el tráfico y las condiciones de semáforos.

En intersecciones semaforizadas el flujo de saturación representa el máximo número de vehículos que atraviesan la línea de pare en una intersección, y su medición está sujeto a la existencia de colas.

2.6 Elementos que componen el sistema de tránsito necesarios para la investigación

Los elementos que componen el sistema de tránsito se pueden detallar mediante el código de tránsito previsto en la normativa del (CODIGO DE TRANSITO Y REGLAMENTO, 2008)

2.6.1 Elemento humano

Las descripciones de los elementos del sistema de tránsito están definidas en (CODIGO DE TRANSITO Y REGLAMENTO, 2008) donde se define que:

El peatón: Peatón es la persona que se encuentra a pie en la vía pública.

Pasajero: Pasajero es la persona que utiliza un vehículo para trasladarse de un lugar a otro, menos el conductor y sus auxiliares.

Conductor: Conductor es la persona que conduce o tiene el control de un vehículo.

2.6.2 Transporte

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

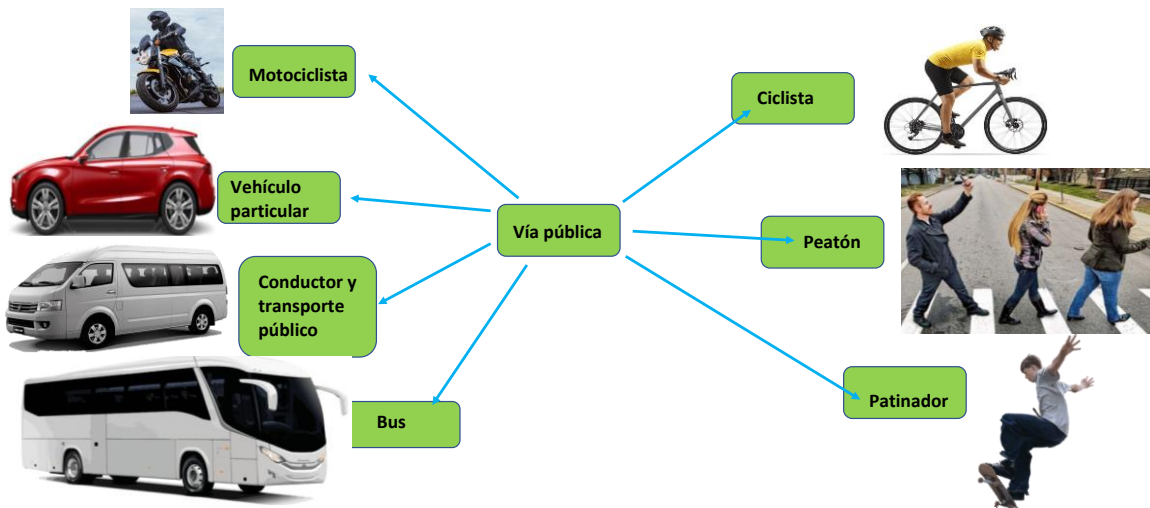
³ HighwayCapacity Manual 2000 (HCM 2000). TransportationResearchBoard (TRB). Estados Unidos de America.

Clasificación: los vehículos se clasifican por tracción humana, son los que se mueven mediante energía generada en ellos mismos. Y por sus características principalmente se clasifican en automóviles, camionetas, vagonetas, jeep, microbuses, buses, camionetas, remolques tractores, aplanadoras, moto niveladores, elevadores de carga, acoplados, motocicletas, motonetas, moto camionetas y bicicletas.

Las subclasificaciones de vehículos de circulación están entre Ambulancias, coches fúnebres, vehículos oficiales, vehículos diplomáticos, y los más importantes para el estudio son los vehículos particulares y de servicio público.

Gráfico 2

Elementos del tránsito en vía pública



Nota: Relación entre elementos humanos y vehículos en transitabilidad.

2.6.3 Vialidad urbana

En las últimas décadas se ha comprobado a nivel mundial, una tendencia migratoria de grandes masas de población hacia los centros urbanos, esta migración ha producido un rápido crecimiento de las ciudades lo que implica una falta de organización en la planificación urbana y conjuntamente con este comportamiento, el número de moviidades ha crecido de una manera descontrolada (Escobar C., 2019).

2.6.3.1 Planificación urbana

Para (Jirón & Zunino, 2017) Uno de los principales aciertos del enfoque de movilidad es que ha logrado develar aspectos del territorio que otras miradas muchas veces no logran mostrar: el habitar cotidiano, el medio ambiente, la movilidad residencial, las migraciones, la interdependencia, la alimentación, los temas laborales o el uso de tecnologías en la ciudad. El enfoque de movilidad intenta comprender tanto el movimiento como las experiencias y los significados que emergen de la misma, y busca ampliar (e incluso cuestionar) las nociones clásicas sobre el transporte: el viaje cotidiano ya no es percibido como tiempo muerto, sino como una práctica social y cultural. Como objeto de estudio de las ciencias sociales, la movilidad puede permitir avances importantes en términos interdisciplinarios a los estudios de transporte, la planificación urbana o estudios de infraestructuras, especialmente en cuanto a las metodologías que definen sus intervenciones.

La movilidad en este sentido puede ser entendida como medio para analizar fenómenos contemporáneos y servir para cuestionar diversos niveles de las dimensiones sociales. Por ejemplo, el uso de la movilidad para comprender implicancias de género otorga la posibilidad de visibilizar complejidades espaciales de las desigualdades de género que van más allá de la distinción entre espacio público o privado. Una demostración de esto se relaciona con el tema del cuidado en las sociedades actuales, de quién se hace cargo del cuidado de los niños, los adultos mayores, la familia extensa y los enfermos. La movilidad revela aquí una gran complejidad de estrategias cotidianas que se enfrentan y la mantención en muchos casos de patrones patriarcales pese al discurso de la igualdad de género (Jirón & Zunino, 2017).

2.6.3.2 Educación vial

El término educación vial deriva de la comprensión que (Groeger, 2011) expone sobre una transmisión de conocimientos y la adquisición de competencias necesarias

para un uso seguro, responsable y sostenible del transporte motorizado como una tarea cotidiana clave (Poó F., Lopez S., Toshi, Nucciarone M., & Ledesma R., 2015), misma que va de la mano con la seguridad vial y representa una rama de la educación social, ya que –como una piedra angular en la trayectoria del individuo– demuestra el desarrollo de hábitos y actitudes positivas de coexistencia en la vía pública, lo que contribuye a una mejora en la calidad de vida de los seres humanos ciudadanos, y que a su vez tiene un impacto en la mejora de la calidad medioambiental. Frente a los desafíos actuales, la educación vial –o cultura vial, como es comúnmente referida en países como México y Colombia (Camacho, 2009)– debe promover un comportamiento seguro de todos los actores involucrados en la movilidad vial, sin afectar el derecho de terceros al libre tránsito (Poó F., Lopez S., Toshi, Nucciarone M., & Ledesma R., 2015).

2.7 Algoritmos

En general (Escobar C., 2019) menciona que no existe ningún consenso definitivo en cuanto a la definición formal de algoritmo, de acuerdo a los datos encontrados se puede definir como:

- Conjunto de reglas que permiten obtener un resultado determinado a partir de ciertas reglas definidas.
- Conjunto de pasos que nos permite obtener un dato.
- Algoritmo es una secuencia finita de instrucciones, cada una de las cuales tiene un significado preciso y puede ejecutarse con una cantidad finita de esfuerzo en un tiempo finito. Ha de tener las siguientes características: legible, correcto, modular, eficiente, estructurado, no ambiguo y a ser posible se ha de desarrollar en el menor tiempo posible.

Por lo tanto, un algoritmo no es más que una serie de pasos para llegar a un fin, donde se puede encontrar algoritmos cualitativos y cuantitativos. El algoritmo cualitativo

se realiza de una manera textual en la que muestra la realización de cada paso, en cuanto al algoritmo cuantitativo es un procedimiento numerológico que normalmente es desarrollado por un computador.

A lo anterior debemos agregar que un algoritmo debe cumplir las siguientes características:

- Finitud: el algoritmo debe acabar tras un número finito de pasos. Es más, es casi fundamental que sea en un número razonable de pasos.
- Definición: el algoritmo debe definirse de forma precisa para cada paso, es decir, hay que evitar toda ambigüedad al definir cada paso.
- Entrada: el algoritmo tendrá cero o más entradas, es decir, cantidades dadas antes de empezar el algoritmo. Estas cantidades pertenecen además a conjuntos especificados de objetos. Por ejemplo, pueden ser cadenas de caracteres, enteros, naturales, fraccionarios, etc.
- Salida: el algoritmo tiene una o más salidas, en relación con las entradas.
- Efectividad: se entiende por esto que una persona sea capaz de realizar el algoritmo de modo exacto y sin ayuda de una máquina en un lapso de tiempo finito.

2.7.1 Algoritmos genéticos

Gracias a las investigaciones de (Darwin, 1859) se sabe que: Los algoritmos genéticos son una técnica de búsqueda basada en la teoría de la evolución de Charles Darwin, usada como estrategia para resolver problemas. El poder de los algoritmos genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades. Si bien no se garantiza que el algoritmo genético encuentre la solución óptima del problema, existe evidencia empírica

de que se encuentran soluciones de un nivel aceptable, en un tiempo competitivo con el resto de los algoritmos de optimización combinatoria. En el caso de que existan técnicas especializadas para resolver un determinado problema, lo más probable es que superen al algoritmo genético, tanto en rapidez como en eficacia. El gran campo de aplicación de los algoritmos genéticos se relaciona con aquellos problemas para los cuales no existen técnicas especializadas. Incluso en el caso en que dichas técnicas existan, y funcionen bien, puede efectuarse mejoras de las mismas hibridándolas con los algoritmos genéticos.

Su funcionamiento parte de una población inicial elegida mediante un proceso de selección, muchas veces se escogen los mejores adaptados para después reproducirlos, mutarlos y recombinarlos mediante los operadores genéticos, de esta manera se puede garantizar que la nueva generación de individuos tenga mejor adaptabilidad.

“Los Algoritmos Genéticos son algoritmos de búsqueda basados en la mecánica de selección natural y de la genética natural. Combinan la supervivencia del más apto entre estructuras de secuencias con un intercambio de información estructurado, aunque aleatorizado, para constituir así un algoritmo de búsqueda que tenga algo de las genialidades de las búsquedas humanas” (Golberg, 1989, pág. 119).

(Izquierdo S. & Ventura Royo, 2016) En 1930 se planteó el problema del agente viajero, que consistía en obtener la ruta más óptima para que un viajero pasara por todos los puntos de un mapa, esto es ampliamente estudiado desde entonces, y su análisis y resolución para encontrar la ruta más óptima sigue vigente en la actualidad. Inicialmente la resolución se realizaba con algoritmos de fuerza bruta, sin embargo, estos algoritmos se volvieron obsoletos debido a la complejidad que se iba sumando al problema, por lo que posteriormente surgieron soluciones con algoritmos aproximados. (Mand C., 1979) resolvió los problemas que aparecían en la red de transporte del país europeo Suiza, y

propuso una solución. La representación del problema es una red compuesta por 15 nodos y 21 arcos.

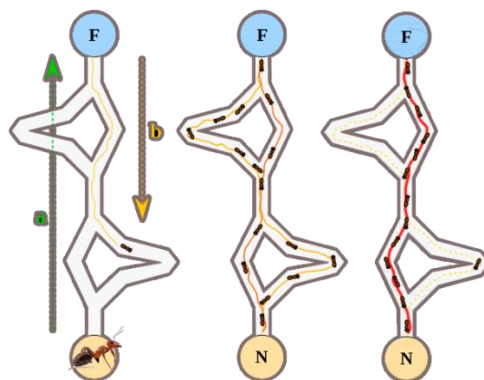
2.7.2 Algoritmo de colonia de hormigas

El algoritmo de optimización de colonia de hormigas (ACO = Ant Colony Optimization) consiste en la manera en que las hormigas realizan la búsqueda de su alimento y la forma en que llegan a ella partiendo desde su nido. Al inicio las hormigas no han depositado rastros de feromonas en ningún camino, por lo que la elección del camino a recorrer es aleatoria, y al encontrarse en un determinado punto tiene dos opciones: voltear a la izquierda o a la derecha, y sigue su camino hasta encontrar su alimento (Robles, 2010).

En definición (García L. & Ramírez V., 2019) menciona a la observación de la naturaleza ha sido una de las principales fuentes de inspiración para propuesta de nuevos paradigmas computacionales. Así nacieron diversas técnicas de Inteligencia Artificial como: Los Algoritmos Genéticos (Genetic Algorithms), Templado Simulado (Simulated Annealing), Redes Neuronales (Neural Networks), y entre estas técnicas, el sistema basado en Colonia de Hormigas (Ant Colony System).

Figura 3

Lógica del algoritmo de colonia de hormigas



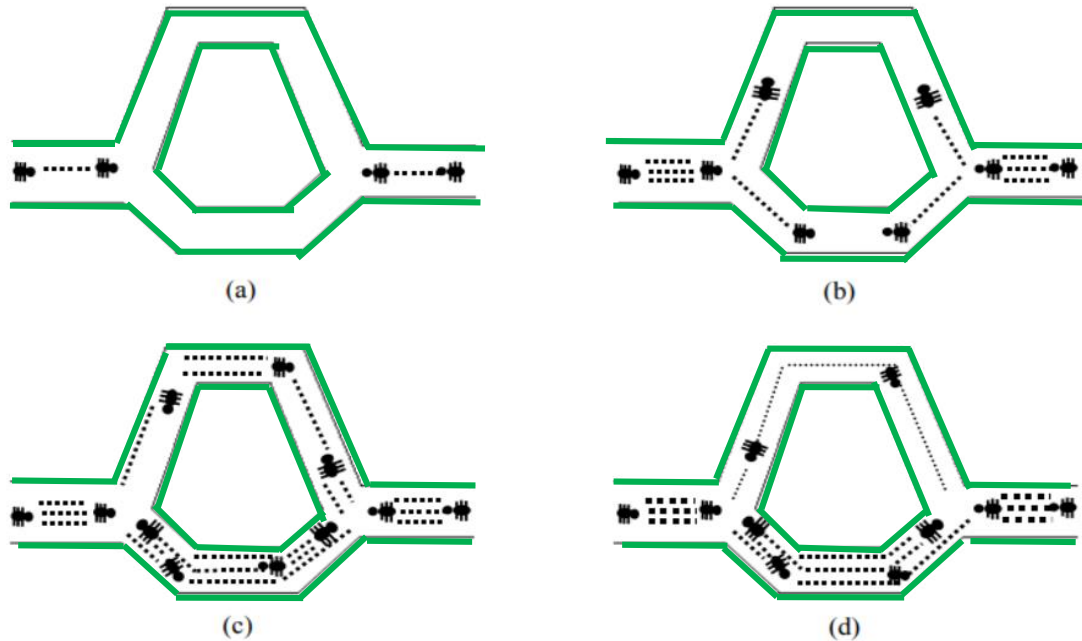
Nota: la simulación de un modelo de colonia de hormigas se ve de esta manera

Resulta realmente interesante analizar como las hormigas buscan su alimento y logran establecer el camino más corto para luego regresar a su nido. Para esto, al moverse una hormiga, deposita una sustancia química denominada feromona como una señal odorífera para que las demás puedan seguirla. Las feromonas son un sistema indirecto de comunicación química entre animales de una misma especie, que transmiten información acerca del estado fisiológico, reproductivo y social, así como la edad, el sexo y el parentesco del animal emisor, las cuales son recibidas en el sistema olfativo del animal receptor, quien interpreta esas señales, jugando un papel importante en la organización y la supervivencia de muchas especies.

Al iniciar la búsqueda de alimento, una hormiga aislada se mueve a ciegas, es decir, sin ninguna señal que pueda guiarla, pero las que le siguen deciden con buena probabilidad seguir el camino con mayor cantidad de feromonas. En un ejercicio simulado se observa como las hormigas establecen el camino más corto. En la figura (a) las hormigas llegan a un punto donde tienen que decidir por uno de los caminos que se les presenta, lo que resuelven de manera aleatoria. En consecuencia, la mitad de las hormigas se dirigirán hacia un extremo y la otra mitad hacia el otro extremo, como ilustra la figura (b). Como las hormigas se mueven aproximadamente a una velocidad constante, las que eligieron el camino más corto alcanzarán el otro extremo más rápido que las que tomaron el camino más largo, quedando depositado la mayor cantidad de feromona por unidad de longitud, como ilustra la figura (c). La mayor densidad de feromonas depositadas en el trayecto más corto hace que este sea más deseable para las siguientes hormigas y por lo tanto la mayoría elige transitar por él. Considerando que la evaporación de la sustancia química hace que los caminos menos transitados sean cada vez menos deseables y la realimentación positiva en el camino con más feromona, resulta claro que al cabo de su tiempo casi todas las hormigas transiten por el camino más corto.

Figura 4

Comportamiento real de las hormigas



Nota: Se puede observar realmente cómo actúan las hormigas. Recuperado de (Barán & Almirón, 2001)

El algoritmo de Optimización por colonia de hormigas es una metaheurística capaz de encontrar soluciones de buena calidad a problemas de optimización altamente complejos. Se basa en la habilidad que poseen las hormigas naturales para encontrar el alimento a partir de individuos relativamente simples, pero con una estructura social altamente eficiente. La base en ambos sistemas (natural y eficiente) es la comunicación indirecta entre todos los individuos a partir de rastros de feromonas. El algoritmo utiliza agentes muy simples (llamados hormigas) que deben establecer el camino más corto para visitar todas las ciudades del problema una sola vez y regresar a la ciudad origen, para lo cual utilizan la información en una matriz de feromonas.

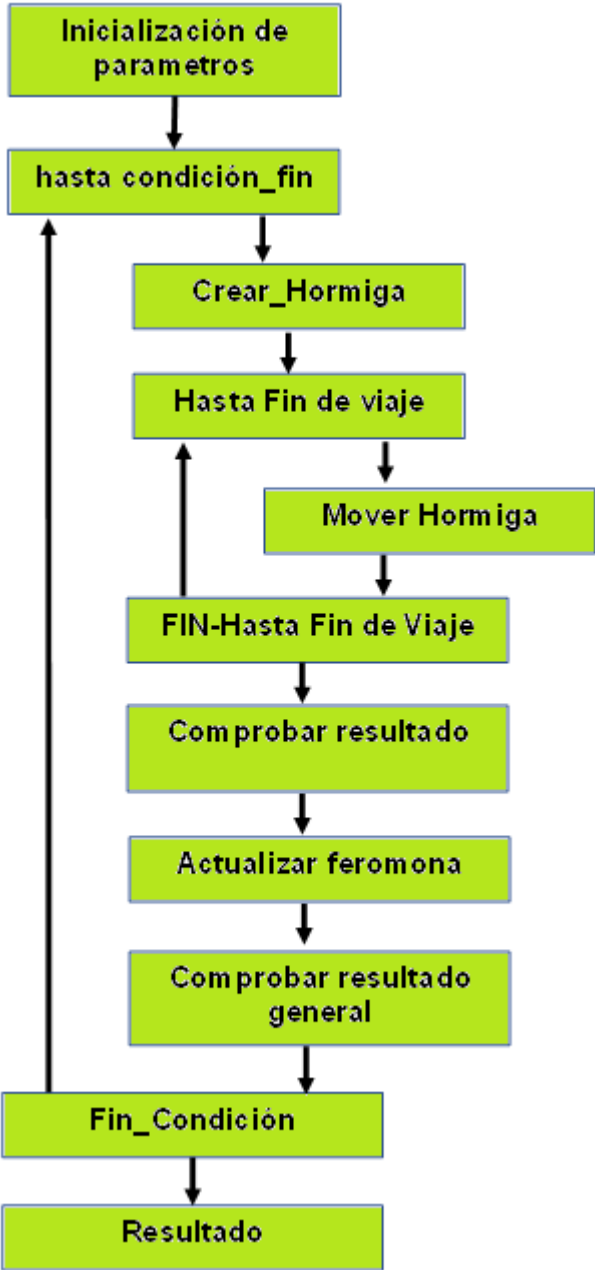
2.7.3 Funcionamiento del algoritmo

Se realizaron tres variantes del algoritmo según la forma de realizar el depósito de feromona en el medio: - Densidad. Se realizaba el depósito de feromona durante el transcurso del recorrido (actualización en línea paso a paso de feromona). La cantidad de feromona depositada era siempre constante. - Cantidad: Se realizaba el depósito de feromona durante el transcurso recorrido (actualización en línea paso a paso de feromona). La cantidad de feromona depositada estaba relacionada a la deseabilidad heurística de la trama. - Ciclo: El depósito de feromona se realiza una vez finalizada una solución (actualización en línea a posteriori de feromona). Esta última variante es la que mejor resultados proporciona y la que se conoce por Ant System (AS) o Sistema de Hormigas.

El AS se caracteriza por el hecho de que la actualización de feromona se realiza una vez que todas las hormigas han completado sus soluciones, y que se lleva a cabo como sigue: primero, todos los rastros de feromona se reducen en un factor constante, implementándose de esta manera la evaporación de feromona. A continuación, cada hormiga de la colonia deposita una cantidad de feromona que es función de la calidad de su solución. Inicialmente, el AS no usaba ninguna acción en un segundo plano, pero es relativamente fácil, por ejemplo, añadir un procedimiento de búsqueda local para refinar las soluciones generadas por las hormigas. En la figura 8 se presenta el funcionamiento a grandes rasgos del funcionamiento.

Gráfico 3

Ciclo de funcionamiento del algoritmo



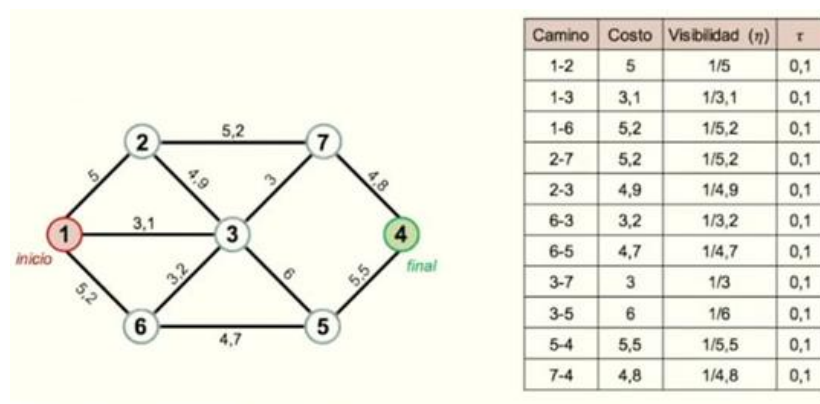
Nota: Se muestra el ciclo de trabajo de una hormiga.

(Barán & Almirón, 2001) Describe en sus palabras, que el algoritmo es una ejecución continua hasta cumplir una condición de parada, esta condición puede ser establecida de muchas maneras según el objetivo y la disponibilidad de recursos,

ejemplos pueden ser un número de iteraciones especificadas, hasta cuando no se note mejoría en la variable objetivo después de cierto número de iteraciones, etc. En cada ciclo se crea una hormiga que va cambiando de estado o nodo, de acuerdo con una probabilidad resultante de una función heurística y de la cantidad de feromona detectada en ese recorrido concreto (“Mover hormiga”). Se puede decir, que la hormiga es un elemento simple, que se desplaza basándose en información local, tanto heurística, como la aportada por los elementos de la colonia (feromona). Las ciudades no se pueden repetir, por lo que cada hormiga debe tener una lista denominada tabú de las ciudades ya visitadas. Una vez determinada la probabilidad de las diferentes posibles rutas a tomar, la hormiga decide en función a estos valores (“Elección del movimiento”). Una vez elegido el nodo a visitar, se añade este a la lista de nodos visitados (lista tabú), repitiendo este proceso hasta finalizar la visita de todos los nodos. Una vez terminado un ciclo, se procede a realizar la evaporación de feromona depositada en los arcos de la red y la deposición de feromona sobre la solución obtenida (Actualización de feromona”). El ciclo se repite hasta la condición de fin establecida para el algoritmo.

Gráfico 4

Tabla de proximidades de seguir un camino en un grafo por una hormiga



Nota: El grafico representa el calculo de probabilidades de tomar un camino en base a su valor de arco y nodo.

Las hormigas utilizan el depósito de feromonas para recordar su comportamiento, es decir, acumular el conocimiento que van adquiriendo del problema a resolver. En un primer momento, todos los arcos presentan la misma probabilidad y para ello se considera oportuno introducir un pequeño valor de feromona, cantidad que hace posible que caminos, sin explorar también tengan probabilidad de ser recorridos.

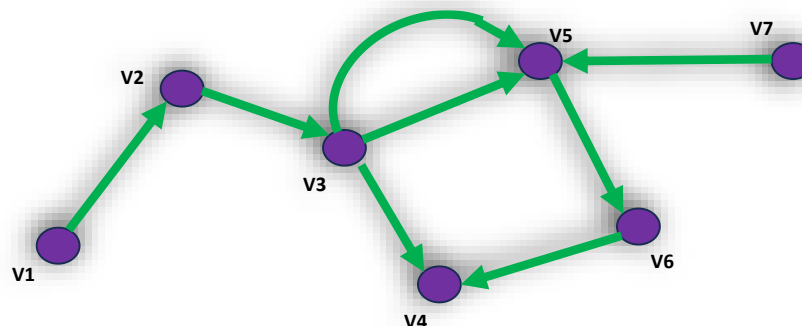
2.9 Teoría de grafos

Según la percepción de (Álvarez & Parra, 2013), los grafos en términos elementales, podríamos definir un grafo como un conjunto de puntos (llamados elementos, vértices, nudos o nodos) con líneas que unen pares de vértice de ellas; en algunos libros se usa una red como sinónimo de grafo el cual es una abstracción matemática que designaremos por $G = (V, A)$ donde V es un conjunto de puntos v_i , $V \neq \emptyset$ y A es un conjunto de líneas que unen dos puntos de V ; A pueden ser vacío (\emptyset), llamado conjunto de las aristas que están relacionando mediante la aplicación T .

El camino o ruta de un grafo para llegar de un punto a otro lo podríamos representar de la siguiente manera, por Ejemplo: $\gamma(v_i, v_j)$.

Figura 5

Representación de un camino en grafos



Nota: Se puede observar el camino que ha de seguir desde un punto hacia otro.

Si trazamos el camino $\gamma(v_i, v_j)$. Y queremos enunciar los puntos por donde debemos pasar, podemos escribir:

$$\gamma(v_1, v_2, v_3, v_4); \text{ Luego } \gamma(v_1, v_4) = \gamma(v_1, v_4, v_3, v_4)$$

Entre un punto y otro puede haber más de un camino siguiendo el camino siguiente desde el punto $\gamma(v_1, v_4)$ tenemos:

- 1) $\gamma(v_1, v_2, v_3, v_4)$
- 2) $\gamma(v_1, v_2, v_3, v_5, v_3, v_4)$
- 3) $\gamma(v_1, v_2, v_3, v_5, v_6, v_4)$

La característica especial de los grafos también permite o limita al camino elemental, que es aquel que nunca pasa más de una vez por un mismo punto o ruta.

La conexidad de un grafo se considera si y solo si para todo par de vértices existe un camino que conecta las dos aristas ya sea de ida o retorno (Álvarez & Parra, 2013).

De manera sencilla, podemos ver a un grafo como un conjunto de puntos y otro de líneas, las cuales conectan a los puntos entre sí dada una relación común entre ellos. Los puntos reciben el nombre de vértices o nodos y las líneas se llaman adyacencias. Los vértices pueden representar cualquier objeto o entidad como personas, ciudades, números o estaciones en una red; mientras que las adyacencias representan las relaciones que existen entre ellos, como pueden ser la amistad entre un conjunto de personas, los diferentes caminos que puede haber entre un conjunto de ciudades, la relación matemática entre dos o más valores, etcétera. Para representar la relación entre dos vértices cualesquiera, normalmente se utilizan tuplas de la forma (a,b) donde a y b son vértices; esto se puede leer como "a está relacionado con b".

Formalmente, un grafo G se representa como $G = (V, E)$ donde V es un conjunto de elementos llamados vértices y E es un subconjunto de elementos del producto

cartesiano $V \times V$, de modo que $E \subseteq V \times V$ y representa las adyacencias. Cada vértice presenta un valor asociado llamado grado, el cual indica la cantidad de adyacencias que inciden en él. Como las adyacencias representan la relación entre cualesquiera dos vértices a, b , puede suceder cualquiera de los siguientes casos:

a está relacionado con b, pero b no está relacionado con a.

a está relacionado con b y, al mismo tiempo, b está relacionado con a.

a está relacionado con b, pero $b = a$.

Dado las relaciones anteriores se tienen tres tipos de adyacencias: los arcos, las aristas y los lazos.

Un arco es una adyacencia en la cual la dirección de la relación está definida de manera explícita. Por esto, un arco representa el primer caso. Para verlo de manera gráfica se utiliza una flecha que indica el sentido de la relación.

Figura 6

Ejemplo de arco

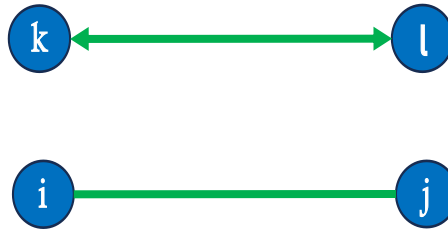


Nota: Muestra básica de un arco de grafo. Recuperado de (Álvarez & Parra, Teoría de Grafos, 2013)

Siguiendo la definición de (Berger, 2001), una arista representa el segundo caso, e indica que la relación se da en ambos sentidos ya que no hay dirección explícita. Para representarla, se utiliza una simple línea o una flecha bidireccional.

Figura 7

Ejemplo de aristas

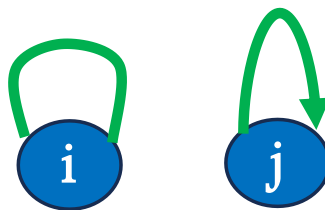


Nota: se reconoce y diferencian las aristas y conexiones. Recuperado de (Álvarez & Parra, Teoría de grafos, 2013)

Berger define a un lazo (también le llama bucle) como la relación que tiene un vértice consigo mismo. Se utiliza una flecha o línea que empieza y termina en el mismo vértice para representarlo.

Figura 8

Ejemplo de lazo



Nota: se evidencia una conexión de lazo. Recuperado de (Álvarez & Parra, Teoría de grafos, 2013)

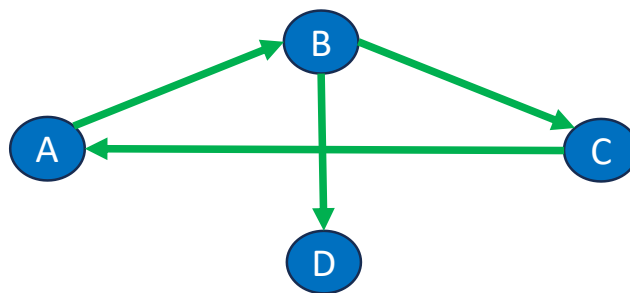
2.9.1 Tipos de grafos

Según (Álvarez & Parra, 2013), Existe una clasificación de grafos de acuerdo al tipo de adyacencias que presentan; los grafos dirigidos son aquellos en los que las relaciones entre vértices están denotadas por arcos, es decir, todas tienen dirección específica como lo muestra la Figura siguiente 7. Los grafos no dirigidos, por el contrario,

no presentan dirección en ninguna de sus adyacencias, es decir, todas son aristas como en el ejemplo de la Figura 8. Por último, tenemos los grafos mixtos que, como su nombre lo indica, presentan arcos y aristas por igual; esto se ilustra en la Figura 9. Las adyacencias a su vez, pueden tener un valor asociado llamado peso, en caso de no indicar un peso, se tomará el valor de 1.

Figura 9

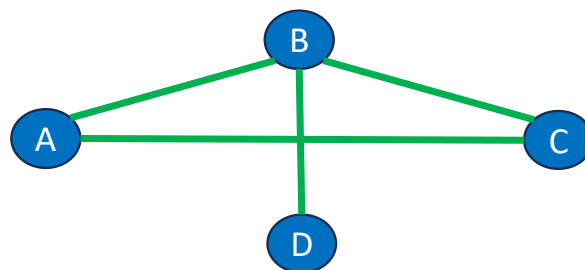
Ejemplo de grafo dirigido



Nota: se evidencia un grafo dirigido. Recuperado de (Álvarez & Parra, Teoría de grafos, 2013)

Figura 10

Grafo no dirigido



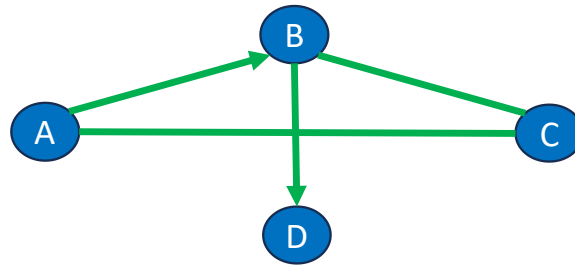
Nota: grafo no conexiones no dirigidas. Recuperado de (Álvarez & Parra, Teoría de grafos, 2013)

Para ejemplificar los conceptos anteriores imaginemos a cuatro personas, las cuales vamos a representar con las letras A, B, C y D. Supongamos que en este grupo de personas la relación de conocerse se da de acuerdo a las siguientes reglas:

- A conoce a, B y C

- B conoce a, A, C y D.
- C conoce a, A y B.
- D solo conoce a, B.

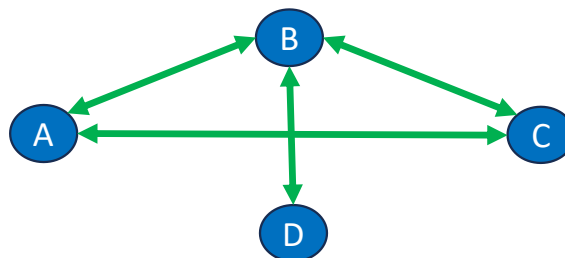
Figura 11
Grafo mixto



Nota: Se muestra las aristas conocidas por las conexiones. Recuperado de (Álvarez & Parra, Teoría de grafos, 2013)

A partir de esta información, podemos construir nuestro conjunto de vértices V de la siguiente manera: $V = \{A,B,C,D\}$ y la relación de conocerse la podemos escribir como un conjunto de parejas ordenadas E , lo que daría lugar al conjunto de aristas $E = \{(A,B), (A,C), (B,A), (B, C), (B,D), (C,A), (C,B), (D,B)\}$. Con base en lo anterior, es posible representar un grafo $G = (V,E)$ de la siguiente manera:

Figura 12
Ejemplo de grafo completo



Nota: se evidencia un grafo con aristas y direcciones. Recuperado de (Álvarez & Parra, Teoría de grafos, 2013)

Algunas definiciones importantes que son básicas y necesarias en teoría de grafos son las siguientes:

Sean x, y vértices (no necesariamente distintos) de un grafo no dirigido $G = (V, E)$.

1. Un camino $x - y$ en G es una sucesión alternada finita sin lazos W tal que

$W = \{x = v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, e_k, v_k = y\}$, cuyos términos son vértices y adyacencias de manera alternada de modo que, $e_i = (v_{i-1}, v_i)$ con $1 \leq i \leq k$.

2. La longitud de un camino es k , donde k es el número de adyacencias que contiene el camino. Si $k = 0$ entonces es un camino sin aristas y $x = y$. A este camino se le denomina trivial.

3. Cualquier camino donde $x = y$ es un camino cerrado. Esto quiere decir que empieza y termina en el mismo vértice, si no sucede así, el camino es abierto.

4. Sea W un camino $x - y$ en un grafo G , si no se repite ninguna adyacencia en W entonces el camino es un recorrido $x-y$, también conocido como trayectoria.

5. Un recorrido $x-x$ cerrado es un circuito.

6. Si ningún vértice del camino $x - y$ se presenta más de una vez, el camino es un camino simple $x-y$.

7. Un ciclo consiste en un camino simple $x-x$.

Las definiciones anteriores pueden verse resumidas en la siguiente tabla.

Tabla 4

Recorrido de grafos

| Vértices repetidos | Aristas repetidas | Abierto | Nombre |
|--------------------|-------------------|---------|----------------|
| Si | Si | Si | Camino |
| Si | Si | No | Camino cerrado |
| Si | No | Si | Recorrido |
| Si | No | No | Circuito |
| No | No | Si | Camino simple |
| No | No | No | Ciclo |

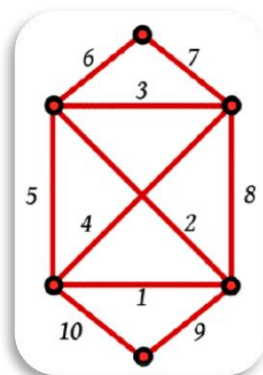
Nota: Se evidencia el recorrido de cada arista en el grafo.

2.9.2 Recorridos en grafos

Una vez que se tiene la representación de un grafo podemos recorrerlo a través de sus aristas. Existen diversos nombres para la forma y las restricciones de cada recorrido, los más famosos son el circuito euleriano, el cual modela el problema recorriendo todas las aristas una sola vez, partiendo y regresando al mismo vértice y el ciclo hamiltoniano consiste en recorrer todos los vértices exactamente una vez sin importar que se cierre el ciclo (Álvarez & Parra, Teoría de Grafos, 2013).

Figura 13

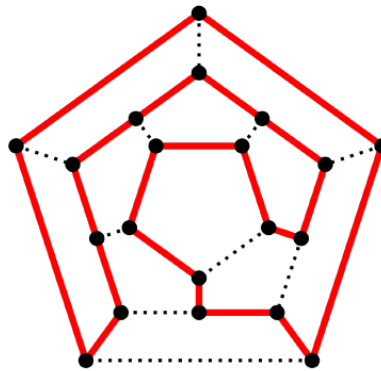
Circuito Euleriano



Nota: se evidencia el recorrido por todas las aristas.

Figura 14

Ciclo Hamiltoniano



Nota: Se evidencia el recorrido por todos los vértices.

En resumen, la Teoría de Grafos es una herramienta poderosa para modelar y analizar relaciones entre objetos. Sus aplicaciones son amplias y diversas, y continúan creciendo a medida que se desarrollan nuevas técnicas y algoritmos. Es una rama de las matemáticas que proporciona un marco para modelar y analizar relaciones entre objetos. Tiene una amplia gama de aplicaciones en diversos campos, y su importancia continúa creciendo a medida que se desarrollan nuevas técnicas y algoritmos.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO



3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

En la actualidad, el diseño eficiente de sistemas de redireccionamiento vial representa un desafío significativo en el ámbito de la planificación urbana y el control del tráfico.

Ante el crecimiento constante de las ciudades y el aumento del parque automotor, es indispensable contar con herramientas innovadoras que permitan optimizar la fluidez del tráfico y reducir los congestionamientos viales.

En este contexto, el presente estudio propone la aplicación de una metodología de diseño basada en la combinación de dos enfoques poderosos como el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos. La idea es aprovechar la capacidad de las colonias de hormigas para encontrar caminos óptimos en un globales, aun en entornos de alta complejidad, promete resultados prometedores en la mejora de la eficiencia y la seguridad del transporte urbano.

Este enfoque ofrece la ventaja de adaptarse dinámicamente a cambio en las condiciones del tráfico y de proporcionar soluciones robustas y escalables. Además, la capacidad de las colonias de hormigas para encontrar soluciones cercanas a óptimos globales, aun en entornos de alta complejidad, promete resultados prometedores en la mejora de la eficiencia y la seguridad del transporte urbano.

A lo largo de este trabajo se detallará el proceso metodológico para el diseño del modelo de redireccionamiento vial, destacando las etapas clave de aplicaciones de los algoritmos de colonia de hormigas y la teoría de grafos. Así mismo, se presentarán casos de estudio y resultados preliminares que ilustrarán la efectividad y viabilidad de esta propuesta en la optimización del flujo de tráfico en entornos urbanos.

3.1.1 Enfoque de investigación

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones (Hernández Sampieri, 2014)

3.1.2 Diseño de la investigación

Un diseño de investigación es la secuencia de actividades que principia al considerarse un problema y determina cuando se ha especificado o determinado por completo una solución funcional, económica y satisfactoria en cualquier otro sentido. Abarca el enunciado de dispositivos, la predicción del funcionamiento, el tomar la decisión de su ejecución, la optimización, las especificaciones y, de hecho, la mayoría de las técnicas y habilidades que se consideran parte del método de la Ingeniería. Al describir el proceso de diseño se describirá la esencia de la Ingeniería (Krick, 1979)

La investigación experimental es una "investigación científica en la cual el observador manipula y controla una o más variables independientes y observa la variable dependiente en busca de la alteración concomitante a la manipulación de la variable independiente." (Kerlinger & Howard, 1975, pág. 25)

"El proyecto factible consiste en la elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable, o una solución posible a un problema de tipo práctico, para satisfacer

necesidades de una institución o grupo social... Y puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnología, métodos o procesos." (UPEL, 1990.p.7).

El presente trabajo ha tomado la investigación de tipo experimental por no tener datos relevantes de investigación o de aplicación de un modelo de optimización de tránsito en áreas urbanas o metropolitana, además de analizar el funcionamiento del sistema y el cambio o adaptabilidad de las variables en funcionamiento en busca de alteraciones en el sistema, utilizando herramientas tecnológicas de análisis de datos y resultados.

3.1.3 Tipo de Investigación

El tipo de problema seleccionado es exploratorio, pues en el trabajo de investigación se considera a la investigación cuantitativa por la obtención y análisis de los datos que resultaran del análisis del modelo propuesto, para modificar el sistema de transitabilidad vial en el área seleccionada.

Se busca comparar los datos de antes y después de haber emulado la implementación de un modelo de redistribución vial en busca de una mejor circulación vehicular con una optimización de transporte desde que se ingresa al área de circulación y su salida.

3.1.4 Variables de la investigación

De entre las variables de investigación cuantitativas entre:

Discretas, son variables que no admiten cualquier valor, tan solo aquellos que pertenecen al conjunto finito numerable predeterminado de valores, dado que existe coherencia en la separación de valores sucesivos observables. Dentro del rigor de la lógica, una variable es discreta si entre dos valores observables sucesivos existe algún valor no observable. El número de estudiantes del posgrado con rendimiento académico sobresaliente, la cantidad de votantes en las elecciones parlamentarias del 2020 distribuidas por regiones y el número de niños desnutridos en el departamento de Huancavelica son ejemplos de estas variables, en las que se puede observar que sus valores son números enteros (Rodriguez, Breña, & Esenarro, 2021).

Continuas, son variables que toman un número infinito de valores entre dos valores cualesquiera del atributo que se pretende medir. Por ejemplo, el peso en kilogramos de 8 neonatos usualmente se registra con una sola cifra decimal: 3,2; 2,8; 4,1; 3,4; 3,5; 3,4; 3,6; 3,4. Sin embargo, se podría demandar de mayor precisión en la medición: 3,23; 2,85; 4,13; 2,43; 3,56; 3,46; 3,60; 3,41. De no ser suficiente, se puede aumentar la precisión y medir los pesos con tres cifras decimales.

“Una condición básica para que una variable sea continua es que su medida siempre podrá ser más precisa, según la sensibilidad, la reproductibilidad y la precisión de los instrumentos utilizados. Es decir, en sentido estricto, con esta variable no es medir exactamente, mientras que, en el caso de las variables discretas sí se puede realizar mediciones exactas, pues solo toman un valor concreto” (Rodríguez, Breña, & Esenarro, 2021).

El tipo de variable de investigación seleccionada es: variable cuantitativa, de tipo discreta, ya que se toma los datos cuantificando cantidades, distancias, calificaciones de funcionalidad y se analizan las respuestas para trabajar los datos en base al modelo de redistribución vial propuesto.

3.1.5 Ambiente de la investigación

Esta investigación se realizará en las calles y avenidas de la zona de Rio Seco, buscando información en las intersecciones, semáforos y lugares donde se pueda identificar como cuellos de botella con congestionamiento vehicular, se buscará el apoyo de agentes de tránsito policiales, y agentes de control sindical, para identificar características importantes de evaluación y comprender mejor el problema, para diseñar un modelo que de una posible solución al problema de investigación.

3.1.6 Descripción de la metodología a usar

Mediante la investigación científica aplicada en la resolución de la problemática de congestión vial se propone un proceso de actividades con las cuales se desarrolla un modelo de redistribución vial dinámico que sea capaz de resolver o disminuir el congestión vehicular en el sector aplicando los siguientes pasos.

1.- recolección de información respecto los diferentes aspectos que derivan en la problemática, como: dimensión de las vías y capacidad de almacenaje por tramo de circulación que no se trate de un cruce, el cual consideraremos un punto de cruce o nodo de distribución, los tiempos que emplea en promedio y general en la traslación de un vehículo desde un punto (nodo), hasta otro, haciendo el seguimiento de su recorrido, desde que entra en el sistema de análisis del problema, hasta que sale (considerándolo como un elemento de análisis de varias partes, para encontrar datos), la información se recabara y se basara en la toma de datos con diarios de campo, registrando la cantidad de vehículos que circulan en una ruta de paso de IDA y VUELTA en el área designada.

En la recolección de datos también se hará la recolección de información mediante encuestas realizadas a componentes pertenecientes a la población en estudio, como conductores y peatones o pasajeros, de los cuales en la información recabada también se hará un análisis de los tiempos promedio que consideran debería ser tolerable la circulación por esta área de tránsito.

2.- El segundo paso del proceso de búsqueda de solución al problema planteado será, el análisis de los datos obtenidos, como, dimensiones de las calles o avenidas de tránsito, (entre las principales presentadas al inicio del problema y también aquellas que se propone para descongestionar las vías principales) así se tendrá en cuenta el antes y posible después para la comparación de datos posterior a la simulación del problema en busca de respuestas beneficiosas a la población.

Se tomara en cuenta aquella información recabada en normas de tránsito, normas municipales, normas gubernamentales, normas sindicales y normas vecinales (como el cerrar una calle aledaña a las unidades educativas) que también general caos vehicular indirectamente en calles estratégicas, señalización vial, capacidad de los vehículos de transporte público, no tomando en cuenta a aquellos vehículos de alto tonelaje (sabiendo que su circulación en áreas urbanas está restringida en ciertos horarios del día), y también tomando en cuenta posibles actividades no planificadas, como conflictos sociales, ferias educativas, festividades (y también los días de feria de la zona en estudio, Martes y viernes considerados los días más conflictivos).

3.- realizando un análisis de la información obtenida y las posibles características o variables que modificarían el sistema o alterarían los resultados, se diseñara un modelo de redistribución vial que pueda ser capaz de responder a las necesidades de descongestionamiento vial, utilizando la metodología de uso de algoritmo de colonia de hormigas, basado en su metaheurística de búsqueda de rutas de tránsito óptimas en busca de reducción de tiempo de viaje y traslado de un punto A, a un punto B con el mayor beneficio posible para la colonia, además de aplicar las bases teóricas y metodológicas de las teorías de grafos con su principal característica de recorrido desde un nodo, su arco, su paso por las aristas y retorno hacia su nodo de inicio o partida, haciendo los cálculos por peso de nodo, donde en el análisis planteado se le agregaran los datos a los nodos (por peso, o distancia recorrida en tiempo) el cual nos servirá para una búsqueda de solución óptima y que las metodologías planificadas, nos ofrezcan una solución óptima de descongestionamiento vehicular, teniendo en cuenta los mapas geográficos, distribución de sentidos de vías, del antes y ahora de la distribución vial en sus diferentes estados (por que la transitabilidad vial actual es inestable debido a la construcción de un paso a desnivel en el área principal del problema principal planteado) se tomara en cuenta los prediseños y modelos de líneas de circulación de paso de vehículos de las diferentes líneas de sindicatos que circulan en las vías de paso y retorno en el sistema en cuestión.

4.- Mediante el modelado de datos realizado y los parámetros básicos diseñados como posibles resultados candidatos y las variables de alimentación del modelo y paso del sistema por las vías de tránsito se modelara en el programa PROMODEL la circulación de vehículos e introduciendo los parámetros de nodos, capacidad de volumen de tránsito por calle, tiempo de viaje y decisión propia de los vehículos, desde donde se realizara el análisis de datos y se modificaran las líneas con mayor conflicto y se redistribuirán hacia aquellas rutas con menor afluencia, aplicando el principio y heurística del algoritmo de colonia de hormigas, donde se busca llegar al punto de salida con el menor tiempo posible en congestión vehicular, (analizando el algoritmo de colonia de hormigas se identificó que se busca en camino más corto, y cuando se interrumpe o una línea de tránsito se bloquea, cualquiera que se encuentre con un conflicto de tránsito, esta hormiga busca una ruta de paso ágil, sin quedarse parada en el mismo lugar hasta que se solucione por sí mismo el problema, más sin embargo la misma hormiga busca las soluciones hasta encontrar la vuelta a la ruta factible y beneficiosa a la colonia).

5.- Realizado los análisis a los resultados presentados en el modelado del sistema en conflicto, se hará un reporte de resultados con las herramientas pertinentes, y se evaluará el impacto que generaría la aplicación del modelo y se verificará la aplicabilidad del modelo de redistribución, comparando las hipótesis planteadas en la investigación, obteniendo un resultado final y haciendo las recomendaciones y las conclusiones de la investigación del modelo propuesto.

3.2 HERRAMIENTAS

3.2.1 Herramientas a usar

En la investigación se utilizan distintos instrumentos de recolección de información que apoyan la cuantificación de datos y análisis, que se detalla a continuación:

La encuesta es una excelente herramienta en la aplicación de los diferentes tipos de investigación cuantitativa.

Este tipo de herramienta se puede llevar a cabo con un solo grupo específico y también se puede realizar con múltiples grupos. Un requisito principal para este tipo de investigación es que la muestra de encuestados debe tener miembros seleccionados al azar y de esta manera la investigación puede mantener fácilmente la precisión de los resultados obtenidos, ya que se aplica la encuesta a una gran variedad de encuestados seleccionados de manera aleatoria.

La investigación se realizaba a través de encuestas cara a cara o por medio de encuestas por medios digitales, a través de encuestas online es la manera más fácil y común de aplicar, y obtener respuestas.

La toma de datos con diarios de campo, esta información es obtenida mediante la toma de datos en los puntos centrales de congestión vial, haciendo el conteo de vehículos que circulan y los tiempos que toman en atravesar las vías del sector designado en investigación.

Se empleará el software de análisis de datos de Excel para la captura y análisis de información, con el objetivo de diseñar un modelo de datos que facilite la elaboración de un modelo de redistribución vial. Este modelo considerará los antecedentes existentes, incluyendo el diseño de los modelos previos, sus rutas de tránsito, los tiempos de recorrido, las opciones de rutas alternativas, los problemas identificados y las propuestas de modificaciones a las rutas existentes, buscando optimizar el flujo vehicular y mejorar la experiencia de los pasajeros.

Se hará un mapeo con la herramienta de Google Maps para delimitar las rutas disponibles del sistema, vías posibles a seleccionar y designar como nodos en el diseño del modelo, vías alternas, líneas de seguimiento, líneas distribución, asignación de pesos o valores a los nodos y posibles resultados intuitivos.

Con el uso de la herramienta de PRO-MODEL se realizará la emulación y funcionamiento del modelo de redistribución vial y cambio o movilidad de sentido de vías.

3.2.2 Técnicas de investigación e instrumentos

Según la investigación planteada y el diseño de investigación cuantitativa se han seleccionado algunas herramientas pertinentes a la investigación para la obtención de datos, desde diferentes fuentes como:

Se realiza la investigación de casos relacionados con la aplicación del algoritmo de colonia de hormigas en otros casos de distribución de rutas, la teoría de grafos en busca de cumplimiento de rutas y casos de movilidad urbana en el área local, nacional e internacional, estos datos de estudio ayudaran a comprender e identificar las brechas en el conocimiento de la realidad de la investigación y sustentación en el marco teórico de la investigación.

El modelo de obtención más efectivo de información y datos seleccionado ha sido la realización de cuestionarios a conductores y población en general seleccionada al azar en el área de investigación y aquellas personas que tengan pertinencia en el caso, realizando las preguntas estructuradas con el fin de obtener información sobre actitudes, opiniones, comportamientos, decisiones que influyen en el resultado del sistema, para luego realizar un análisis de los datos cuantitativos de una muestra de la población.

La observación del sistema de tránsito en conflicto antes y durante el desarrollo con la toma de datos en diarios de campo de las actividades normales en los diferentes casos y posibilidades que existe o experimenta el área de investigación respecto a la transitabilidad vial y la congestión vehicular, para una toma de datos, los cuales sirven para encontrar información de análisis del modelo actual y la sugerencia para las posibles modificaciones.

A partir del modelo propuesto, se llevarán a cabo experimentos y modelado del sistema. Estos procesos generarán datos de variables y constantes que permitirán analizar los resultados obtenidos. Con base en este análisis, se realizarán los ajustes necesarios para optimizar la distribución vial o redistribución del tráfico, con el objetivo de reducir el nivel de congestión vehicular.

3.3 Población y muestra

De la población en investigación se ha seleccionado una cantidad promedio de ciudadanos alteños del sector de Ex – Tranca Rio Seco, donde se utiliza herramientas de recolección de información respecto al tiempo que pasa en el congestionamiento, las rutas que toma para pasar por el sector, los horarios por en los cuales les toma más tiempo pasar por el sector.

De este universo de posibles seleccionados a ser encuestados y observados se tomará una cantidad menor para recolección de datos.

3.3.1 Criterios de inclusión

En base a los criterios de inclusión en la investigación y recolección de datos, se tomará en cuenta a aquellos que formen parte del sistema de transitabilidad y que tengan relación con el congestionamiento vehicular, por ejemplo: Conductores, peatones, agentes de tránsito, guardias municipales y también se toma en cuenta aquellos accesorios que de alguna manera mejoren o entorpezcan la transitabilidad vial y puedan aportar información importante para el análisis y el diseño del modelo de respuesta a la investigación y la problemática planteada.

3.3.2 Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión en la investigación a posibles encuestados se debe a que están considerados con bajo nivel de aporte beneficioso a la investigación, entre ellos podríamos notar a comerciantes temporales asentados en las cercanías o las calzadas y que obstruyen la circulación por lo cual se los considera como elementos que afectan negativamente a la circulación vehicular.

2.3.3 Población

Del universo de personas a las cuales se les realizarán las encuestas se puede definir por una población generalizada mediante proporción de población (población general 125.942 de vehículos en El Alto), que por distrito y en proporción (10.945 personas podrían ser informantes) y por paso de la ruta principal del área en investigación se podría reducir a 30% de

un distrito correspondiente a 3.148 posibles datos. Teniendo la posibilidad de estudio general a 3.148 posibles seleccionados a encuestar se tomará una muestra de datos de donde se realizará el siguiente análisis y modelado del sistema de distribución.

3.3.4 Muestra

La muestra seleccionada será representativa por tomar una porción de la población en estudio de los cuales se realizarán cuestionarios para el análisis estadístico y el análisis del modelo resultado.

Además, se lleva a cabo la recopilación de datos de elementos clave que inciden en la transitabilidad vial. Esta recopilación se realiza a través de diarios de campo, con el objetivo de obtener información precisa sobre el flujo vehicular y la capacidad de almacenamiento de las vías.

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS



4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

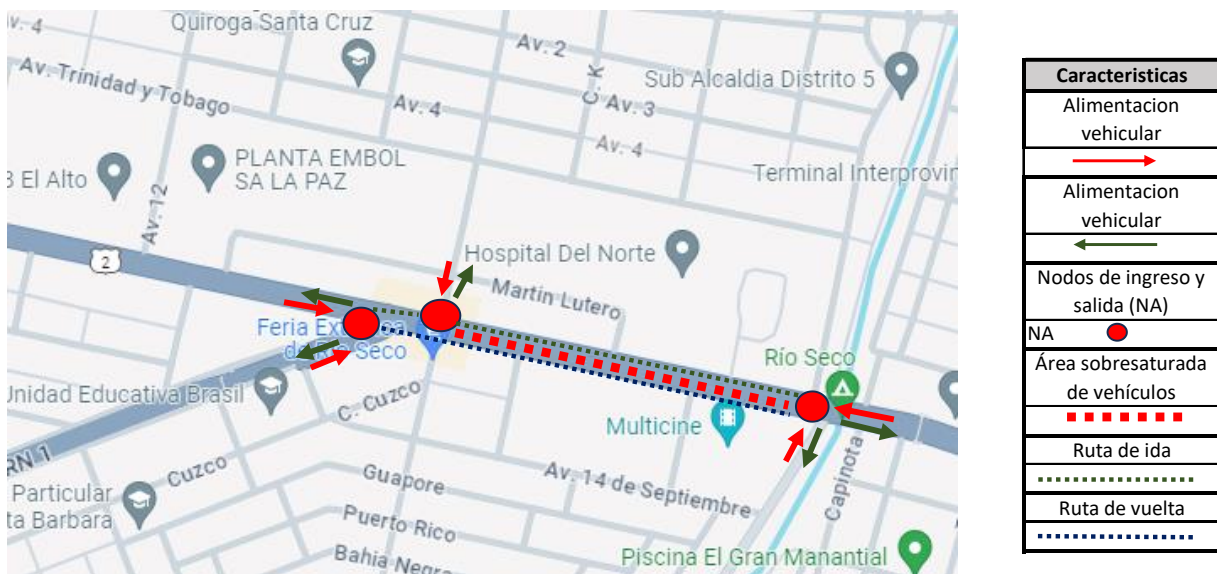
4.1.1 Análisis de antecedentes

En el análisis del sistema limitado por el área seleccionada se ha evidenciado la red vial de tráfico describiendo los datos en bruto obteniéndolos desde la herramienta Google maps, de los cuales se ha analizado los datos recabados mediante la toma de datos en observación y también mediante las encuestas en los diferentes puntos de entrada y salida del sistema, verificando las cantidades y la variabilidad existente de acuerdo a ciertas circunstancias entre alimentación del sistema, capacidad de almacenamiento y variables de congestiónamiento.

De la cual se ha descrito el siguiente gráfico:

Gráfico 5

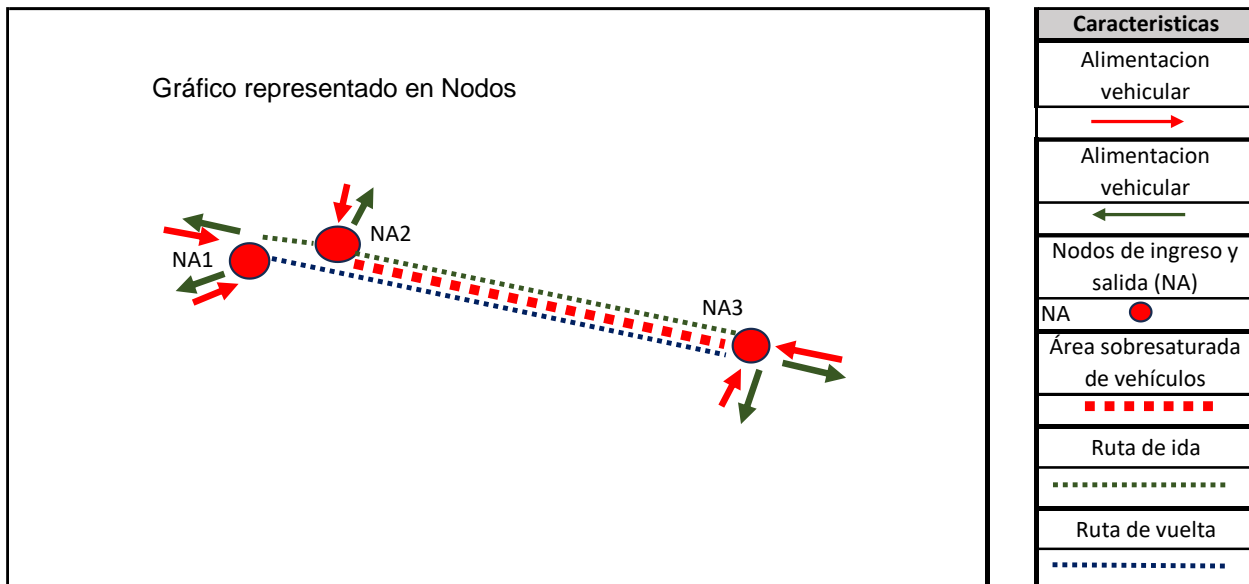
Modelo vial principal antecedente



Nota: Se puede visualizar en el área central una vía sobre saturada en periodos de tiempos donde no hay movimiento regular y aún más crítico en horas pico.

Gráfico 6

Modelo representado en nodos de estudio



Nota: a partir de la representación en nodos se puede realizar el análisis de capacidad.

De los cuales se ha obtenido una tabla de datos de alimentación y de tránsito para un posterior análisis.

Tabla 5

Transitabilidad en horario activo promedio

| DATOS OBTENIDOS EN UN HORARIO REGULAR | | |
|---------------------------------------|------------------------|-----------------|
| TIPOS DE NODOS | Valor ingreso x minuto | Valor de salida |
| (NA1) NODO ALIMENTADOR 1 | 31 | 30 |
| (NA2) NODO ALIMENTADOR 2 | 14 | 14 |
| (NA3) NODO ALIMENTADOR 3 | 29 | 40 |
| Total | 74 | Total 84 |

Nota: datos obtenidos mediante observación fueron tomados mediante la observación y toma de datos en diarios de campo.

Tabla 6

Transitabilidad en horario crítico promedio

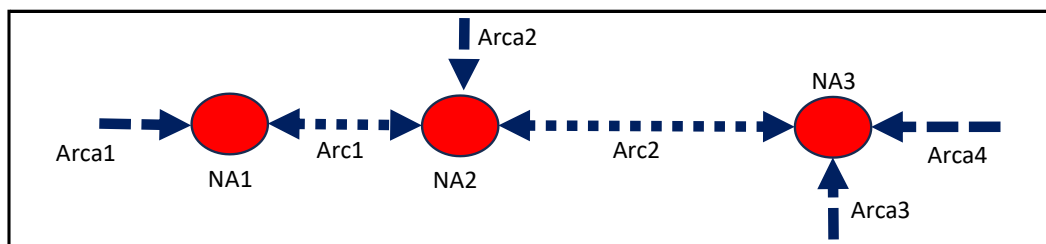
| DATOS OBTENIDOS EN UN HORARIO CRÍTICO | | | |
|---------------------------------------|------------------------|----|-----------------|
| TIPOS DE NODOS | Valor ingreso x minuto | | Valor de salida |
| (NA1) NODO ALIMENTADOR 1 | 38 | | 30 |
| (NA2) NODO ALIMENTADOR 2 | 17 | | 14 |
| (NA3) NODO ALIMENTADOR 3 | 39 | | 40 |
| | Total | 94 | Total 84 |

Nota: Los datos fueron asignados en la tabla por ingreso al sistema por los nodos de ingreso en horarios activos y críticos.

De los antecedentes encontrados se planifica aplicar el algoritmo de colonia de hormigas siguiendo sus parámetros y análisis principales, donde predomina la probabilidad de selección de rutas alternas activas y la habilitación de salida de los nodos en conflicto, creando de esta manera, nodos cruce los cuales, dividirán y aliviaran en gran medida el congestionamiento vial representado anteriormente de la siguiente manera.

Gráfico 7

Modelo antecedente representado en nodos



| Arco alimentador | Valor de arcos |
|------------------|----------------------|
| Arca1 = 39 | Arca = (alimentador) |
| Arca2 = 24 | Arc1 = 55 |
| Arca3 = 10 | Arc2 = 10 |
| Arca4 = 65 | |

Nota: el modelo ha sido representado en Nodos característico de puntos en grafos a los cuales se les asigna puntos y datos para su análisis.

Los datos encontrados de alimentación del sistema con cantidad de vehículos que ingresan en el área y los vehículos que salen del área se ha registrado en una lista de datos promedio, distribuidas por horas del día en los puntos centrales observados con congestión vial.

4.1.1.1 Datos iniciales de la investigación sobre cantidades que pasan por la vía principal en estudio.

Se realizó una recolección de datos por tiempos y cantidades de vehículos que pasan por la avenida principal y se concentran, para conformar el problema de congestión vehicular.

Tabla 7

cantidad de vehículos en la avenida en hora activa

| CONTEO X HORA | MOTOCICLETA | MINIBÚS | MICROBÚS | TRANSPORTE PESADO | TOTAL |
|------------------|-------------|---------|----------|----------------------|-------|
| 07:00 | 56 | 179 | 41 | 1 | 276 |
| 08:00 | 52 | 107 | 71 | 0 | 285 |
| 09:00 | 45 | 180 | 60 | 0 | 240 |
| 10:00 | 26 | 169 | 56 | 0 | 225 |
| 11:00 | 28 | 185 | 62 | 0 | 246 |
| 12:00 | 57 | 198 | 66 | 0 | 264 |
| 13:00 | 50 | 205 | 68 | 0 | 273 |
| 14:00 | 56 | 212 | 71 | 0 | 282 |
| 15:00 | 42 | 180 | 60 | 0 | 240 |
| 16:00 | 35 | 164 | 55 | 0 | 219 |
| 17:00 | 41 | 173 | 58 | 0 | 231 |
| 18:00 | 51 | 196 | 65 | 0 | 261 |
| 19:00 | 52 | 221 | 74 | 0 | 294 |
| 20:00 | 54 | 212 | 71 | 0 | 282 |
| 21:00 | 43 | 194 | 65 | 0 | 258 |
| 22:00 | 20 | 180 | 60 | 6 | 240 |

Nota: Los datos fueron obtenidos por observación del sistema de circulación en la avenida principal controlando los tiempos y cantidad de vehículos que pasan por el sistema.

Tabla 8

Cantidad de vehículos que pasan por el punto principal en hora crítica

| CONTEO DE VEHÍCULOS | MOTO | AUTO MINI | BUS MICRO | PESADO | TOTAL |
|---------------------|------|-----------|-----------|--------|-------|
| 07:00 | 56 | 179 | 41 | 2 | 276 |
| 08:00 | 53 | 107 | 71 | 0 | 285 |
| 09:00 | 46 | 180 | 60 | 0 | 240 |
| 10:00 | 26 | 169 | 56 | 0 | 225 |
| 11:00 | 28 | 185 | 62 | 0 | 246 |
| 12:00 | 55 | 198 | 66 | 0 | 264 |
| 13:00 | 50 | 205 | 68 | 0 | 273 |
| 14:00 | 56 | 212 | 71 | 0 | 282 |
| 15:00 | 42 | 180 | 60 | 0 | 240 |
| 16:00 | 33 | 164 | 55 | 0 | 219 |
| 17:00 | 41 | 173 | 58 | 0 | 231 |
| 18:00 | 50 | 196 | 65 | 0 | 261 |
| 19:00 | 53 | 221 | 74 | 0 | 294 |
| 20:00 | 51 | 212 | 71 | 0 | 282 |
| 21:00 | 41 | 194 | 65 | 0 | 258 |
| 22:00 | 20 | 180 | 60 | 7 | 240 |

4.1.1.2 Análisis y comparación del algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos

Para hacer un análisis del algoritmo y aplicarlo al modelo de redireccionamiento vial, primero tenemos que entender el funcionamiento en su sociedad origen, supongamos que una hormiga llega a un nodo P

En base a la siguiente ecuación del algoritmo de colonia de hormigas se presenta la ecuación para encontrar la ruta más corta.

Ecuación 4

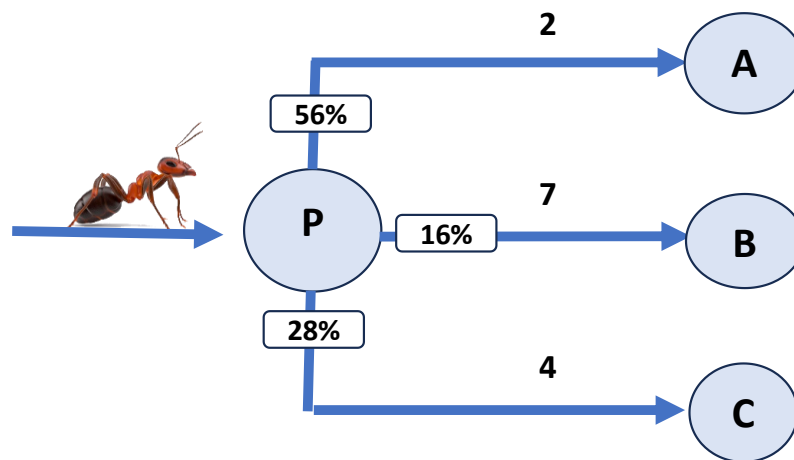
Ecuación del algoritmo de colonia de hormigas

$$p_{xy}^k = \frac{(\tau_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)}{\sum (\tau_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)}$$

Nota: Movimiento de una k , hormiga desde un estado x a un estado y , y su cálculo de probabilidad de seleccionar una ruta en base a la distancia de la ruta y las feromonas en el nodo.

Figura 15

Representación de probabilidades de selección de una hormiga



Nota: La selección de ruta se basará en la cantidad de feromonas encontradas en los nodos y la distancia que tienen.

Mediante el análisis realizado a los modelos propuestos se ha encontrado posibles modelados y cambios de vías, representando 3 líneas de paso de vehículos de transporte público principalmente.

Con los valores y asignaciones a los nodos del problema aplicado a grafos se detalla a continuación las asignaciones de nodos.

Tabla 9

Asignación de nombres a los nodos alimentadores encontrados.

| Tipos de nodos | Valor de ingreso | Valor de salida |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| (NA1) Nodo Alimentador 1 | 10 vehículos x min | 9 vehículos x min |
| (NA2) Nodo Alimentador 2 | 9 vehículos x min | 9 vehículos x min |
| (NA3) Nodo Alimentador 3 | 4 vehículos x min | 3 vehículos x min |
| (NA4) Nodo Alimentador 4 | 10 vehículos x min | 10 vehículos x min |
| (NA5) Nodo Alimentador 5 | 10 vehículos x min | 10 vehículos x min |
| (NA6) Nodo Alimentador 6 | 10 vehículos x min | 10 vehículos x min |

Nota: Los valores asignados corresponden a criterio del investigador

Tabla 10

Asignación a nodos de cruce encontrados en el área.

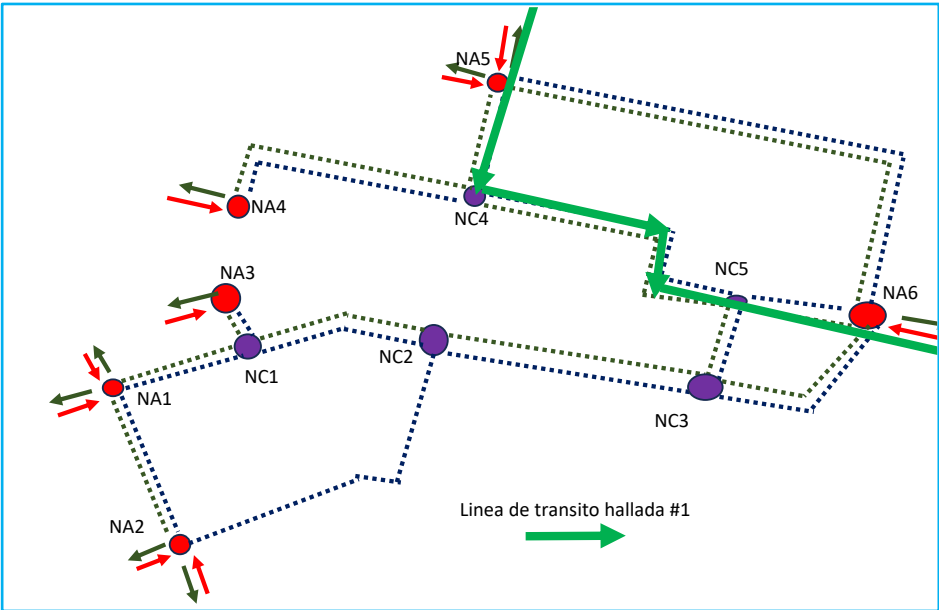
| Tipo de nodo | Valor saturación ida | Valor saturación vuelta |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| (NC1) Nodo Cruce 1 | 19 vehículos x min | 17 vehículos x min |
| (NC2) Nodo Cruce 2 | 19 vehículos x min | 20 vehículos x min |
| (NC3) Nodo Cruce 3 | 19 vehículos x min | 20 vehículos x min |
| (NC4) Nodo Cruce 4 | 20 vehículos x min | 21 vehículos x min |
| (NC5) Nodo Cruce 5 | 39 vehículos x min | 41 vehículos x min |

Nota: Los datos de tiempo fueron recabados por el investigador.

Las posibles rutas encontradas de mayor circulación de transporte público servirán para definir mejores vías de distribución sabiendo su destino y paso obligatorio.

Gráfico 8

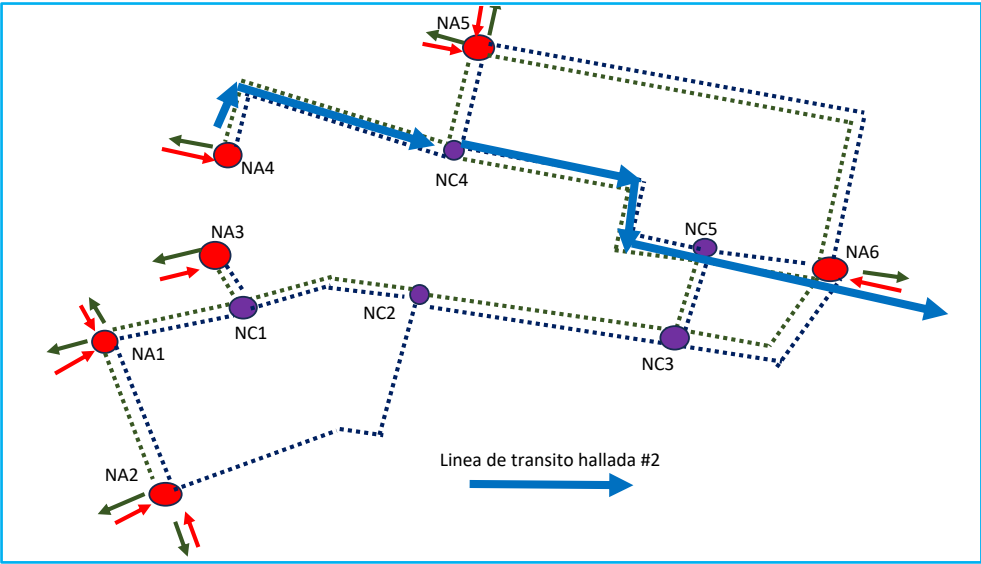
Líneas de transporte Ruta 1 Villa Ingenio



Nota: Actualmente el modelo empleado y analizado ha encontrado un posible candidato a modificación de ruta 1.

Gráfico 9

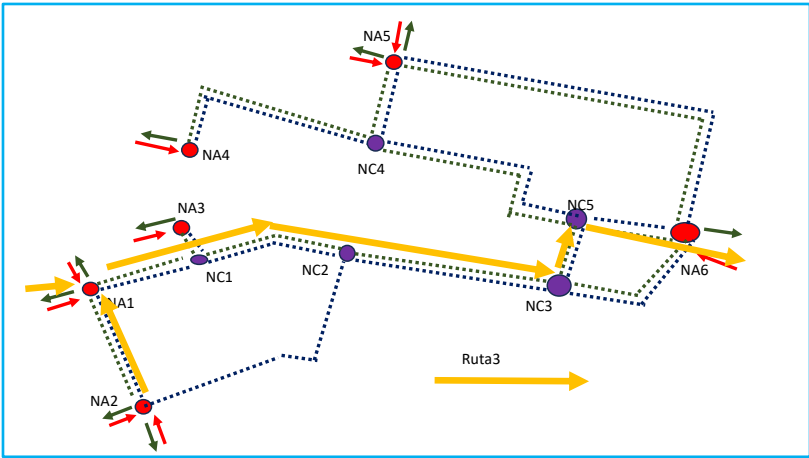
Línea de transporte Ruta 2 Camino a San Roque



Nota: La segunda Ruta 2 de transporte es candidata a ser optimizada.

Gráfico 10

Línea de transporte Ruta 3 Camino a Laja – Yuguyo



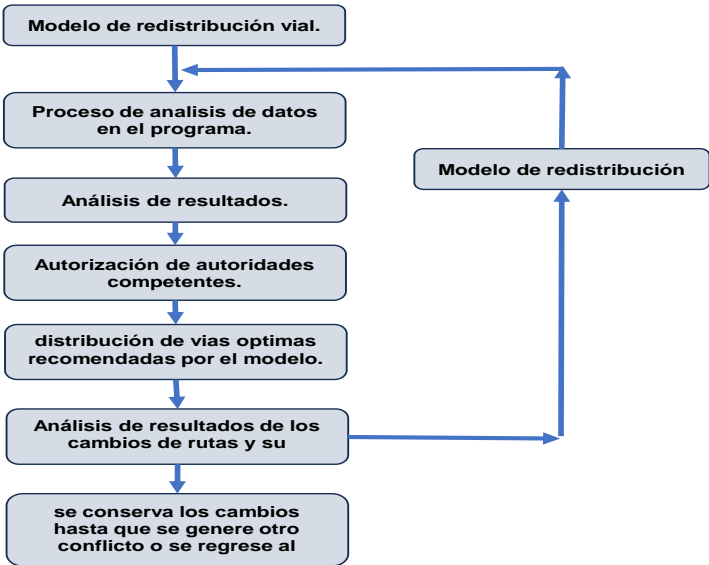
Nota: La siguiente ruta, es posible candidata a ser optimizada.

4.1.1 Presentación del modelo

Con los datos obtenidos y analizados se realiza la siguiente propuesta para desarrollar el modelo de redistribución vial con los siguientes pasos y sus características.

Gráfico 11

Pasos para el diseño del modelo de redistribución



Nota: Aplicando los pasos se plantea el diseño y desarrollo del modelo de redireccionamiento vial.

- Seleccionando los valores del modelo a analizar respecto a las líneas principales de ruta se deben modificar basándose en datos al mapa geográfico con la herramienta Google maps para representarlo en un modelo de grafos y aplicarle el algoritmo de colonia de hormigas.
- Con los datos definidos, en distancia, valor de cruces de calle, y definiendo los parámetros iniciales se los ingresara al programa para obtener el valor de la ruta más corta, definiendo las vías la cuales deberán seguir los vehículos.
- Se analizarán los resultados obtenidos por el sistema y se asignarán a posibles rutas a proponer la distribución vial más optima, para cada línea principal de transporte encontrada.
- Se presentarán los resultados a las autoridades, encargados u organismos de tránsito que decidirán si aplican o no los cambios de distribución vial y sentido de vías para agilizar la transitabilidad vial.
- Se efectivizarán los cambios de rutas, descongestionando las vías principales mediante agentes que controlen el paso de vehículos por las rutas alternas asignadas.
- Se realizará un análisis periódico del cambio propuesto por el sistema en base a datos estadísticos recopilados por la población y los agentes de control en busca de parámetros medibles de confianza del funcionamiento de la distribución vial.
- Si el sistema de tránsito, aun presenta zonas conflictivas se deberá nuevamente seleccionar datos respecto a nuevas rutas que descongestionen las vías en

conflicto. Si el sistema de distribución muestra bajos niveles de congestión vehicular, se puede razonar que el resultado del modelo ha sido óptimo.

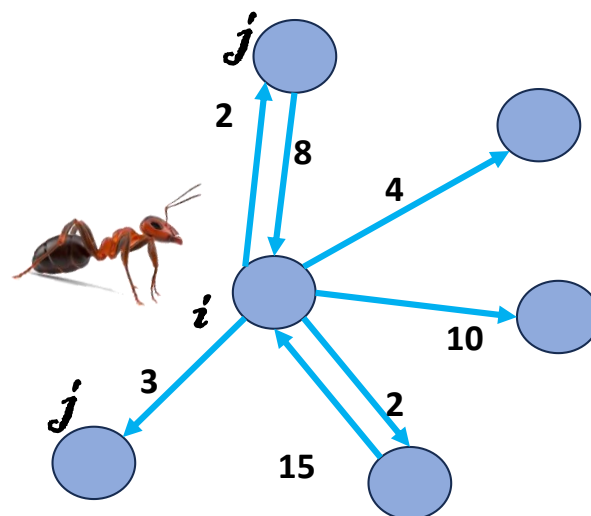
4.1.2 Desarrollo del modelo

Para el desarrollo del prototipo se ha utilizado el lenguaje de programación Python demostrando ser capaz de analizar datos aplicando el algoritmo de colonia de hormigas y la teoría de grafos en busca de rutas más cortas, tomando los datos que se tiene en los nodos, distancias desde un punto a otro, y contabilizando los datos (feromonas) que se incrementan por el paso de un vehículo por cruce, en las rutas de escape.

El primer análisis realizado es el comportamiento de una hormiga al encontrarse a un nodo inicial, del cual deberá tomar la decisión de qué camino tomar respecto a sus posibilidades, (gráfico siguiente).

Gráfico 12

Probabilidad de decisión de una hormiga al encontrarse con una división de caminos (nodos).



Nota: Una hormiga debe tomar una decisión al encontrarse con los caminos separados.

La elección de la hormiga deberá basarse en el valor que tiene el camino, a esto le llamaremos la **Visibilidad**. Tomando en cuenta los valores de cada opción que tiene de seleccionar una ruta y avanzar.

Para calcular la probabilidad que tiene la hormiga de tomar un camino se analiza la siguiente ecuación.

Ecuación 5

Ecuación de probabilidad de selección de ruta

$$\rho_{ij} = \frac{\tau_{ij} m_{(j)}}{\sum_j \tau_{ij} m_j}$$

Nota: *Ingresando los valores la hormiga tendrá las probabilidades de tomar una ruta y continuar.*

Ecuación 6

Descripción de la ecuación de probabilidad

| |
|--|
| $\text{Probabilidad} = \frac{\text{Feromona} * \text{Visibilidad}}{(\text{Sumatoria}) \text{ feromonas} * \text{visibilidad}} .$ |
|--|

Nota: *los datos explican la ecuación para su uso.*

Se inicia con un valor igual para todos los caminos y su valor será entre 0,1, a medida que pasa el tiempo y ninguna hormiga pasa por un nodo, las feromonas se evaporan, para ello en cada iteración se debe actualizar el valor de las feromonas contabilizadas, el cual se debe contabilizar o utilizar la siguiente ecuación propuesta.

Ecuación 7

Actualización de feromonas

$$\tau_{ij} = (1 - p) + \sum_{k \in I} \frac{1}{L_k^\alpha}$$

Nota: cada iteración se actualizarán las feromonas para las probabilidades de decisión en busca de un camino óptimo.

Ecuación 8

Ecuación de actualización de la feromona

| |
|---|
| Actualización feromona = $(1 + p) + (\text{sumatoria}) \frac{\text{uno}}{\text{costo de ruta (elevado a diferencia de costo)}}$ |
|---|

Nota: la ecuación representa los valores de actualización de feromonas.

4.1.2.1 Relación de grafo y matriz de rutas para el análisis

Teniendo los análisis realizados de probabilidades y cálculo de rutas de una hormiga se inicia con la simulación e iteración de camino de una hormiga y para ello es necesario definir algunas variables y constantes iniciales en el programa como:

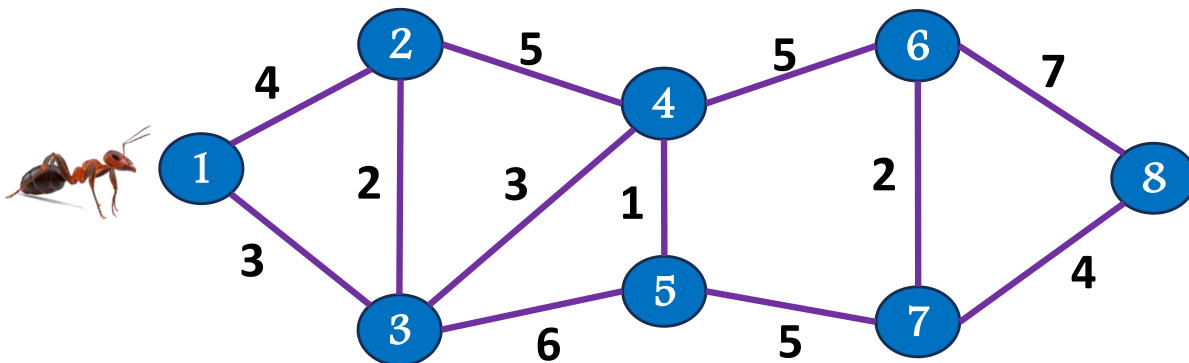
- Dimensión de la matriz.
- Matriz de visibilidad (nodo siguiente).
- Matriz de feromona inicial (un nodo al principio no tendrá nada y para ello es necesario asignarle una feromona o un valor el cual pueda tomar la hormiga).
- Factor de evaporación (si la hormiga no pasa por un punto cruce o nodo, la feromona inicial desaparecerá por la siguiente hormiga a medida que pasa el tiempo).

- La cantidad de hormigas (cantidad de hormigas o elementos que pasaran por el grafo para encontrar el valor de ruta desde el inicio hasta el punto final).
- La cantidad de iteraciones (para mostrar el resultado más óptimo de la ruta).
- Punto inicial (valor del nodo inicial).
- Punto final (valor del nodo final).

Con las definiciones a las variables iniciales del sistema, el grafo ejemplo a simular será el siguiente:

Gráfico 13

Grafo ejemplo para un primer análisis del modelo



Nota: los datos son aleatorios no representan el problema abordado.

Este grafo se debe representar en una matriz de datos la cual podrá ser analizada y procesada por el programa y devuelva un valor mínimo de ruta más corta.

Figura 16

Matriz de datos ejemplo, definida por el grafo anterior

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 4 | 3 | n | n | n | n | n |
| 4 | 0 | 2 | 5 | n | n | n | n |
| 3 | 2 | 0 | 3 | 6 | n | n | n |
| n | 5 | 3 | 0 | 1 | 5 | n | n |
| n | n | 6 | 1 | 0 | n | 5 | n |
| n | n | n | 5 | n | 0 | 2 | 7 |
| n | n | n | n | 5 | 2 | 0 | 4 |
| n | n | n | n | n | 7 | 4 | 0 |

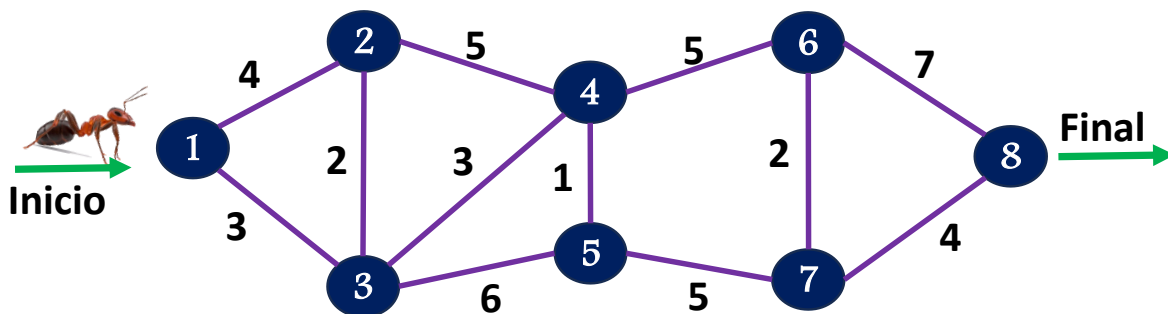
Nota: La matriz de datos a ingresadas al programa fue diseñada en base al grafo anterior simulando sus posibles conexiones y su destino siguiente hasta llegar al punto final (las letras n representan espacios vacíos en la matriz).

4.1.2.1 Desarrollo de código del modelo simulador

A continuación, se presenta el código fuente del modelo de análisis de datos en busca de la ruta más corta en base a un grafo ejemplo, del cual se pueden modificar los valores o variables y obtener las iteraciones correspondientes.

Gráfico 14

Grafo ejemplo para desarrollo del modelo



Nota: se toma como aspectos importantes el valor de inicio, la dirección y el final para una hormiga y se simula o itera una cierta cantidad de veces hasta encontrar la ruta más corta.

Tomando los datos iniciales del grafo ejemplo se definen los parámetros de inicio del simulado como:

A = Matriz (definida en la figura N° 15) en un Array.

L = Dimensión de la matriz en estudio (que varía en base al tamaño del grafo)

V = Matriz de nodos de visualización.

fem_inicial = Feromona inicial.

fem = feromona inicial por cantidad de nodos (Vector de feromonas).

ro = Factor de evaporación de la feromona (que desaparece con el tiempo si no pasan hormigas).

nh = Número de hormigas de la colonia (en base a la cantidad de elementos que tiene que pasar por el grafo o sistema).

N = Cantidad de iteraciones de la simulación hasta encontrar una ruta más corta promedio.

Pi = Punto inicial (nodo de entrada).

Pf = Punto de salida (nodo final).

4.1.2.2 Modelo que encuentra la ruta más corta con código Python del programa

El presente modelo propuesto ha sido diseñado para analizar matrices de datos de los cuales simula una colonia hormigas y según las iteraciones encuentra una ruta más corta y óptima. Para poder hallar la ruta mas corta, es necesario primero definir el grafo, convertirlo en nodos de valores, transformarlo en matriz de datos e ingresarlos en el programa simulador.

```
#run colonia.py
"""Algoritmo de colonia de hormigas"""
import numpy as np
import random
import matplotlib.pyplot as plt
import os

command = 'cls'
```

```

os.system(command) #limpia la consola
print("*****")
print("ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS")
print("    Richard Rudy Onofre Caza    ")
print("*****")

#-----
#DATOS.
#-----
#matriz adyacente "A" y matriz de visibilidad "V"
#ejemplo 1:
A = np.array([[0,4,3,np.inf,np.inf,np.inf,np.inf], #Matriz adyacente
              [4,0,2,5,np.inf,np.inf,np.inf],
              [3,2,0,3,6,np.inf,np.inf],
              [np.inf,5,3,0,1,5,np.inf,np.inf],
              [np.inf,np.inf,6,1,0,np.inf,5,np.inf],
              [np.inf,np.inf,np.inf,5,np.inf,0,2,7],
              [np.inf,np.inf,np.inf,np.inf,5,2,0,4],
              [np.inf,np.inf,np.inf,np.inf,np.inf,7,4,0]
              ])

#Ejemplo 2
#A = np.array([[0,4,np.inf,np.inf,np.inf,100], #Matriz adyacente2
              # [np.inf,0,7,np.inf,np.inf,np.inf],
              # [np.inf,8,0,18,9,np.inf],
              # [1,np.inf,np.inf,0,12,8],
              # [np.inf,np.inf,3,11,0,np.inf],
              # [np.inf,np.inf,6,np.inf,np.inf,0]
              # ])

#Ejemplo 3
#A = np.array ([[0,10,np.inf,np.inf,np.inf], #Matriz adyacente3
              # [np.inf,0,np.inf,1,23],
              # [np.inf,4,0,np.inf,3],
              # [5,2,np.inf,0,np.inf],
              # [np.inf,np.inf,np.inf,6,0]
              # ])

L = len(A) #Dimension de Array (A)

V=np.zeros((L,L)) #Matriz de visibilidad

for i in range (L):
    for j in range (L):
        if A[i,j] != 0:

```

```

        V[i,j] = 1 / A[i,j]

fem_inicial = 0.1          #Feromona inicial

fem= fem_inicial * np.ones((L,L))    #Vector de Feromonas
ro = 0.01                  #Factor de evaporización
nh = 50                   #Número de hormigas en la colonia
N = 50                    #Cantidad de iteraciones
pi = 0                    #Punto inicial
pf = 8                    #Punto final

mejora = []                #Lista que guardara el mejor costo en cada iteración
#-----

```

Se crea el objeto hormiga el cual simulara la colonia, en base a la cantidad de hormigas que la compone y las iteraciones correspondientes.

```

class Hormiga(object):

    """Con esta clase se construye el objeto hormiga."""

    def __init__(self, pi, pf):
        #Atributos del objeto.
        self.pi = pi
        self.pf = pf
        self.Camino = [pi]
    #Métodos
    def sig_nodo(self, n):

        """Esta funcion calcula el nodo hacia el cual se movera la hormiga
        desde en nodo n.
        Los nodos invisibles son aquellos que no tienen visibilidad,
        y tendrán probabilidad nula."""
        #_____
        #No se permite volver al nodo anterior
        #_____

        #if len(self.Camino) == 1:
        #    n_a = self.Camino [-1]
        #else:
        #    n_a = self.Camino [-2]

```

```

#-----
P = V * fem
#P [n, n_a] = 0      #Impide volver al nodo anterior;
                    #pero puede entrar a un callejo sin salida
P = P[n, :] / np.sum(P[n, :])      #Vector de probabilidades
indice = np.array(range(L))        #Vector de nodos mas alla de n.
c = P > 0                        #Vector que verifica donde la
visibilidad es no nula.
P = P[c]                          #Vector de probabilidades nulas.
indice = indice[c]                 #Vector de nodos donde no es nula la
visibilidad
for i in range (1,len(P)):
    P[i] = P[i]+P[i-1]
u = random.random()               #numero aleatorio entre 0 y 1
if 0 <= u and u <= P[0]:
    y = indice[0]
else:
    for i in range(1,len(P)):
        if P[i-1] < u and u <= P[i]:
            y = indice[i]
            self.Camino.append(y)      #suma al camino el siguiente nodo.

def trayectoria (self):
    """Esta funcion calcula la trayectoria de una hormiga"""

    run = 0
    while run < L-1:
        self.sig_nodo(self.Camino[-1])
        if self.Camino[-1] == self.pf:
            run = L
            run = run + 1

def apor_fero(self, i, j, hormiga):
    """Esta función indica si la hormiga aporta feromonas al camino i-j"""
    C = self.Camino
    y = 0
    for t in range(len(C) -1):
        if [i, j] == [C[t], C[t+1]]:
            y = 1
            break
    return y

def costo(self, hormiga):
    """Costo del camino de la hormiga."""
    C = self.Camino
    if C[-1] != self.pf:

```

```

        y = np.inf
    else:
        y = 0
    for t in range(len(C) - 1):
        y = y + A[C[t], C[t+1]]
    return y

#Evolución del algoritmo

def main():
    """Funcion principal"""
    #Evolucion del algoritmo

    d = 0

    while d < N:        #Construimos la colonia
        colonia = []

        #Se instancia los objetos.
        for t in range(nh):
            hormiga = Hormiga(pi, pf)
            colonia.append(hormiga)

        #Calculamos la trayectoria de cada hormiga.
        for hormiga in colonia:
            hormiga.trayectoria()

        #Calculamos el costo de cada hormiga.
        for hormiga in colonia:
            hormiga.costo(hormiga)

        #Actualización de la feromona.
        for i in range(L):
            for j in range (L):
                for hormiga in colonia:
                    fem[i, j] = (1 - ro) * fem[i, j] + hormiga.apor_fero(i, j,
hormiga) * 1 / (hormiga.costo(hormiga)**4)
        #Cálculo del menor costo en esta iteración
        M_C = []
        for hormiga in colonia:
            M_C.append(hormiga.costo(hormiga))
        mejora.append(np.min(M_C))
        d = d + 1

    #Cálculos finales y gráficos.

```

```

Costos = []
for hormiga in colonia:
    Costos.append(hormiga.costo(hormiga))

    indice = np.argsort(Costos)
    Mejor_Costo = Costos[indice[0]]
    Mejor_Camino = np.array(colonia[indice[0]].Camino) +1

    print ("El mejor individuo es: " +str(Mejor_Camino) + ".")
    print ("Su costo es: " + str(Mejor_Costo) + ".")

    mejora.append(Mejor_Costo)
    plt.plot(mejora)
    plt.title("Evolucion del algoritmo", fontweight = "bold", fontsize = 14)
    plt.xlabel("Generación", fontweight = "bold", fontsize = 12)
    plt.ylabel("Mejor costo ", fontweight = "bold", fontsize = 12)
    plt.xlim(0,N)

if __name__ == '__main__':
    main()

```

4.1.3 Demostración del prototipo

La respuesta del sistema y el análisis de datos desarrollado muestra la confiabilidad en sus respuestas con los resultados en 5 demostraciones las cuales fueron introducidas en base a datos iniciales obteniendo los siguientes valores óptimos.

Sabiendo que la respuesta en base al gráfico ejemplo muestra las respuestas óptimas:

```

*****
ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS
  Richard Rudy Onofre Caza
*****

El mejor individuo es: [1 3 4 5 7 8]
Su costo es: 16.0

In [1]:

run colonia.py
*****
ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS
  Richard Rudy Onofre Caza

```

```
*****
El mejor individuo es: [1 3 4 5 7 8]
Su costo es: 16.0

In [2]:

run colonia.py
*****
ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS
  Richard Rudy Onofre Caza
*****

El mejor individuo es: [1 3 4 5 7 8]
Su costo es: 16.0

In [3]:

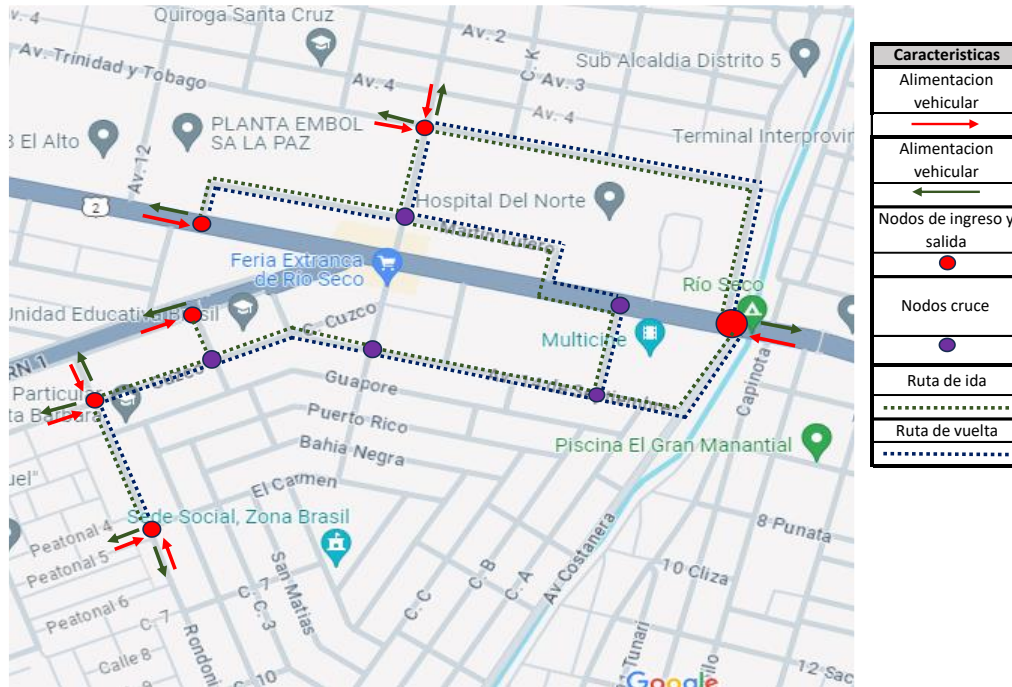
run colonia.py
*****
ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS
  Richard Rudy Onofre Caza
*****

run colonia.py
El mejor individuo es: [1 3 4 5 7 8]
Su costo es: 16.0
```

4.1.4 Prueba de la hipótesis

Gráfico 15

Modelo actual modificado representado en



Nota: Modelo de ruta A1 representado en nodos y arcos antes de su tratamiento y modelado.

En base al modelo de nodos representado del área de Ex – Tranca Rio Seco, se ha observado la reducción de tiempos de viaje en desde un punto (de las tres líneas seleccionadas) hasta salir del sistema de tránsito.

Tabla 11

Tabla de datos simulados y resultado de tiempos probables

| Datos obtenidos en un horario regular | | | |
|---------------------------------------|--|------------------------|-----------------|
| Tipos de nodos | | Valor ingreso x minuto | Valor de salida |
| (NA1) Nodo Alimentador 1 | | 34 | 34 |
| (NA2) Nodo Alimentador 2 | | 15 | 14 |
| (NA3) Nodo Alimentador 3 | | 28 | 42 |
| Total | | 77 | Total 90 |

Nota: Los datos comparativos demuestran que mas vehículos circulan por el área definida demostrando así la fluidez vehicular.

Tabla 12

Datos simulados en horario crítico

| Datos obtenidos en un horario crítico | | | |
|--|-------------------------------|-------|------------------------|
| Tipos de nodos | Valor ingreso x minuto | | Valor de salida |
| (NA1) Nodo Alimentador 1 | 40 | | 41 |
| (NA2) Nodo Alimentador 2 | 24 | | 25 |
| (NA3) Nodo Alimentador 3 | 38 | | 37 |
| Total | 102 | Total | 103 |

Nota: Los datos muestran mejor fluidez vehicular en el área.

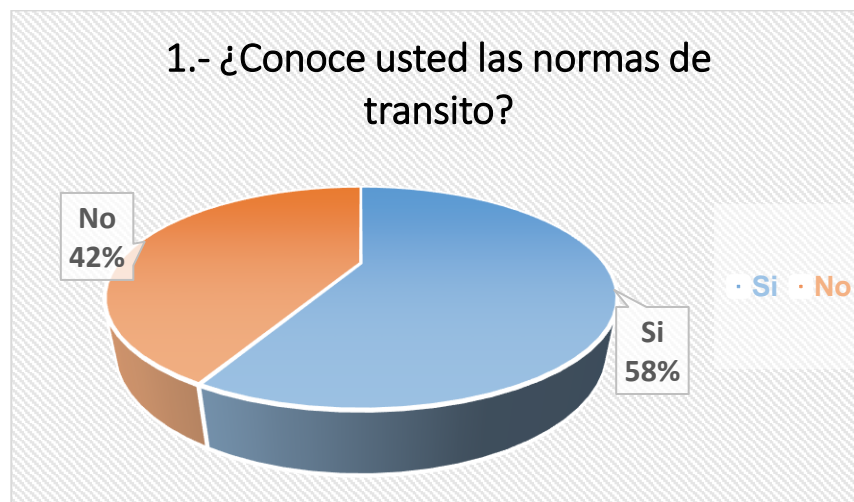
4.1.5 Análisis y resultados de encuestas realizadas

4.1.5.1 Conocimiento de normas de tránsito

Las normas de tránsito regulan la circulación vial, el sistema de tránsito vehicular del cual consta de conductores y peatones.

Gráfico 16

Normas de tránsito



Nota: Encuesta realizada a conductores y peatones de Ex -tranca Rio Seco.

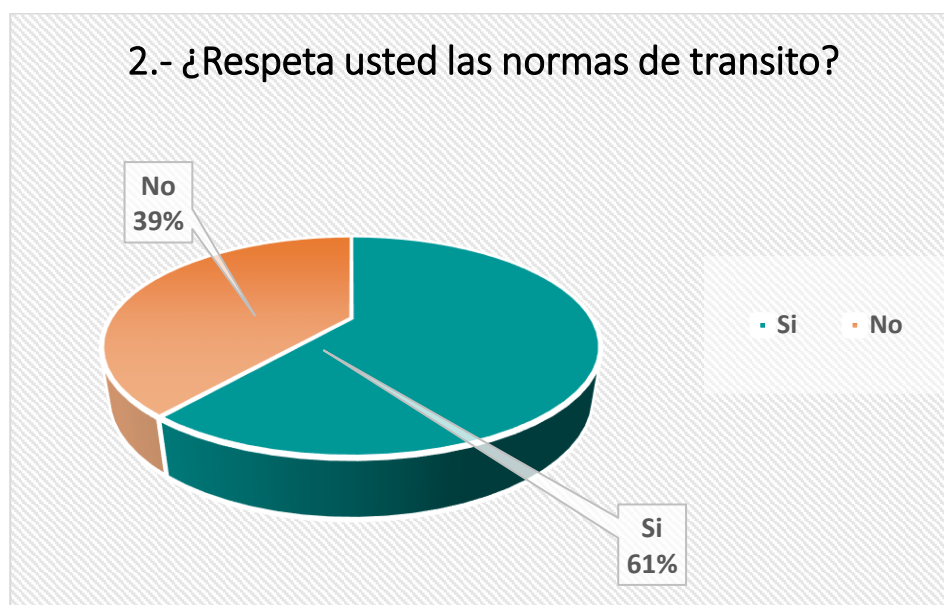
Los datos de las encuestas realizadas a algunas personas en cercanías del área de investigación nos muestran que el 42% de encuestados no conoce las normas de tránsito, más sin embargo el cogido de tránsito debe ser de conocimiento general de toda la población de Bolivia.

4.1.5.2 Cumplimiento de las normas de tránsito

El código de tránsito define las normativas de circulación vehicular y peatonal, las cuales deben ser cumplidas y respetadas por todos los ciudadanos del territorio nacional de Bolivia, y están sujetas a sanción por el no cumplimiento.

Gráfico 17

Cumplimiento a las normas de tránsito



Nota: Encuesta realizada en cumplimiento a las normas de tránsito.

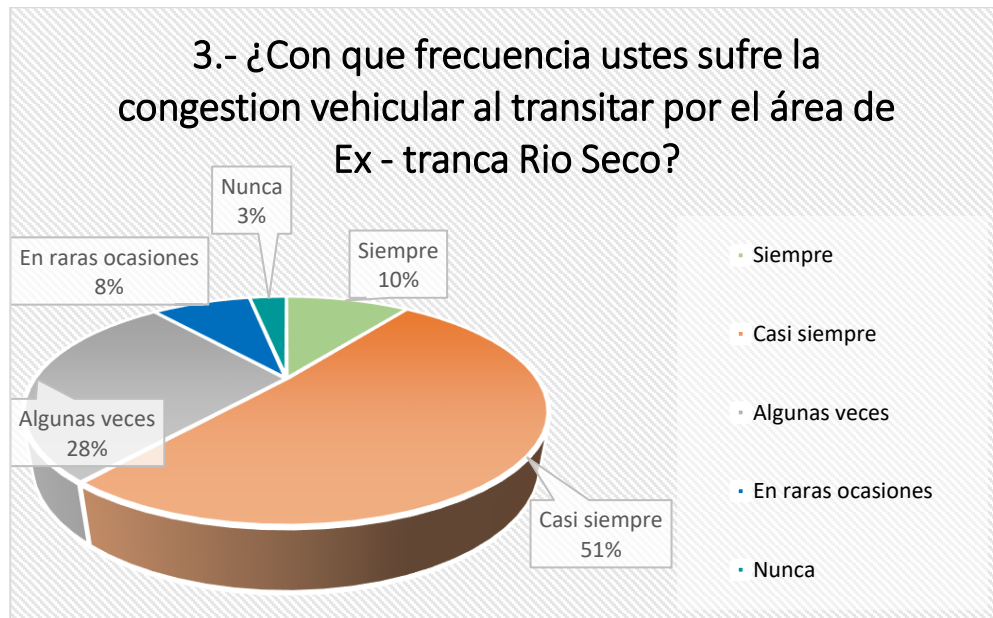
En base a las encuestas sinceras de los peatones y conductores se puede evidenciar que gran parte de la responsabilidad cae en los peatones y vehículos por el no cumplimiento de las normas de tránsito en la circulación vial, lo cual deriva en los congestionamientos viales y por ello se busca nuevas alternativas de alivianar el problema implementando nuevas tecnologías y modelos de distribución vial.

4.1.5.3 Frecuencias de congestión vehicular

Sabiendo que el problema de la congestión vehicular se debe a incumplimiento de las normas, se debe trabajar por un lado con educación vial y por otro lado con nuevos modelos de redireccionamiento vial adecuados para optimizar el flujo de tránsito.

Gráfico 18

Frecuencias de congestión vehicular



Nota: En base a las encuestas realizadas encontramos las respuestas de peatones mencionan el nivel y frecuencias de congestión que enfrentan.

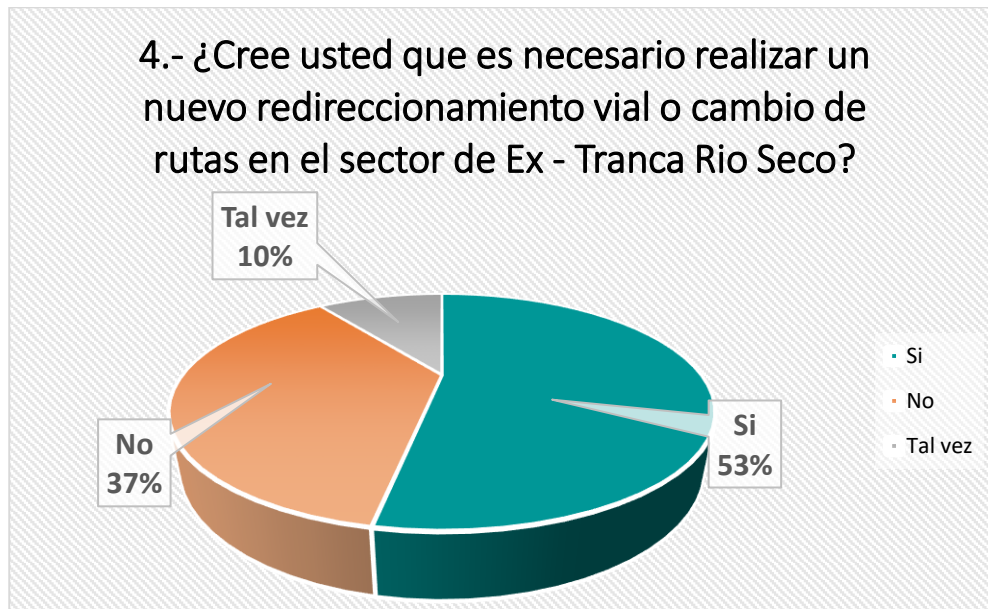
Las frecuencias donde se presentan los congestionamientos viales están definidas en horarios los cuales han sido identificados en investigación de observación en el área investigada. Existiendo tres tipos de congestionamiento, el normal, el activo y el crítico, el porcentaje de tiempo en que permanece en congestionamiento activo es la mayor parte del día, y es el motivo por el cual se planteó una búsqueda de redistribución vehicular.

4.1.5.4 Nuevos cambios de rutas y líneas de circulación

En el problema existente en el sector de Ex -Tranca se ha evidenciado que la circulación en una sola vía es muy complicada, motivo por el cual se plantea cambios de líneas de tránsito por arterias aledañas del sector.

Gráfico 19

Nuevas líneas de tránsito en transporte público



Nota: En consideración de las frecuencias donde se presenta el congestionamiento vial.

Obteniendo los datos de tiempos y frecuencias donde se encuentran más probabilidades de existir congestionamiento vial se observa que aparecen en tiempos más prolongados y en menor tiempo, por el alto tráfico y aglomeración de personas y vehículos por la misma vía de circulación, lo cual genera la difícil situación de pasar con movilidad por el área, no solo por omisiones de cumplimiento a las normas de tránsito, sino también por los comerciantes que invaden las calzadas y obstruyen las vías de circulación, y las respuestas de los encuestados confirman de que es necesario un redireccionamiento vial con un 51% un 37% no muestra o define un perjuicio por el problema.

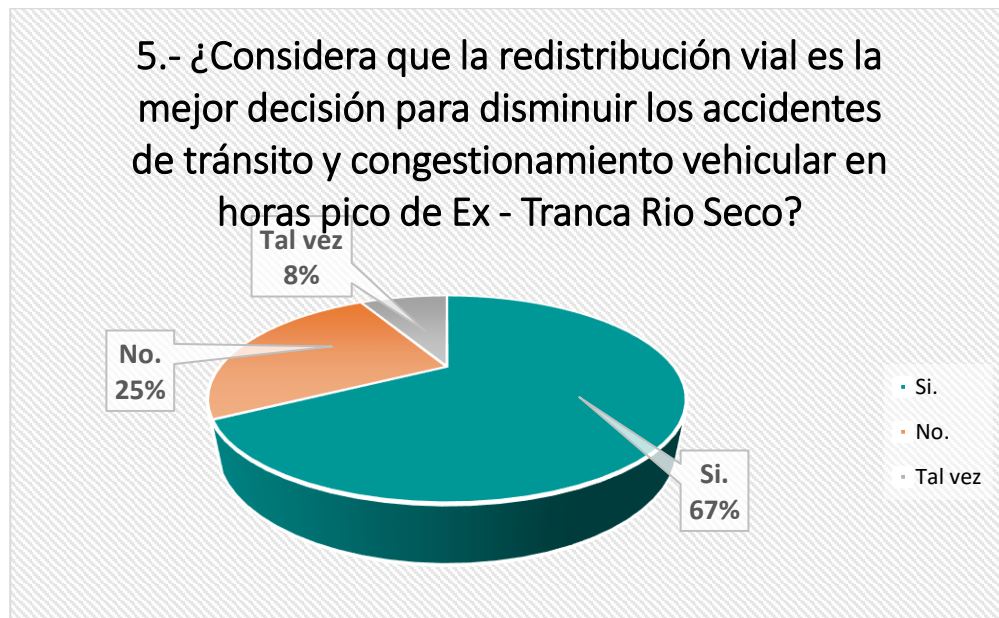
4.5.1.5 Modelo de redistribución vial como solución al problema

Un modelo de propuesta de redireccionamiento vial podría mejorar la circulación vehicular cambiando una sola línea de tránsito por varias, mejorando así el desplazamiento por el sector, reduciendo los tiempos de viajes desde que entran en el área hasta que salen por el otro extremo.

El tráfico vehicular puede ser mejorado aplicando simulaciones de redistribución vial antes de aplicarlo, por ello es necesario un modelo de redistribución vial que mejore la transitabilidad, modificando las líneas de tránsito por calles aledañas del sector y aligerar la capacidad de almacenamiento de la avenida principal.

Gráfico 20

Redistribución vial como respuesta al congestionamiento vehicular



Nota: Encuesta realizada a peatones y conductores.

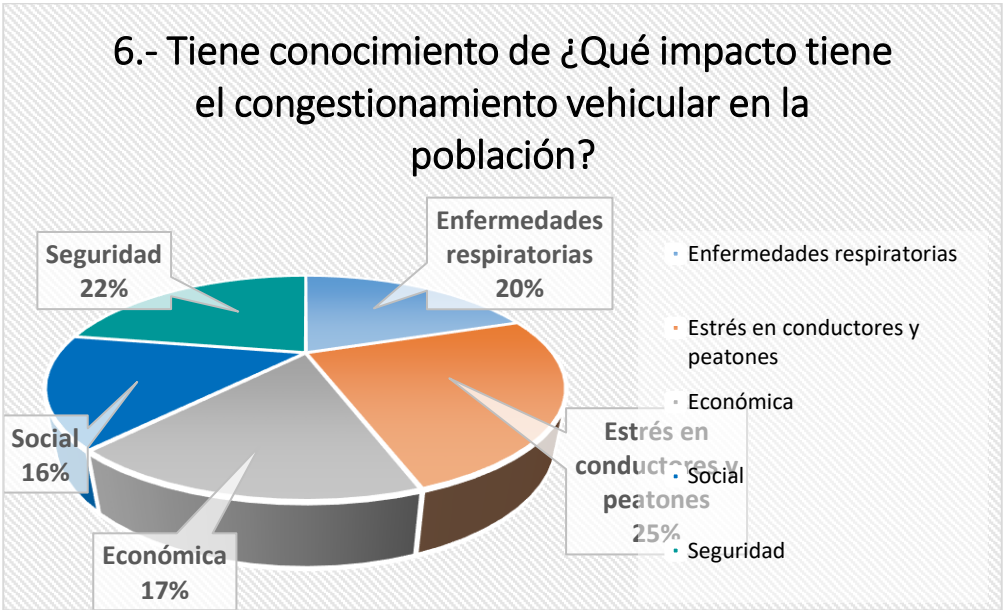
Los datos obtenidos de consideración de una mejora en base a la redistribución vial son evidentes pues un 67% afirma que se puede reducir los tiempos de viaje, el congestionamiento, y afecciones colaterales que estos generan, un 25% dice que no mostraría mejoría y un 8% no considera que tal vez podría funcionar.

4.5.1.6 Impacto del congestionamiento vehicular en Ex – Tranca Rio Seco

El problema de investigación de la congestión vehicular muestra que existen diferentes puntos negativos como afecciones de salud, seguridad ciudadana, condiciones físicas y psicológicas, en el ámbito social y económico por mencionar algunas.

Gráfico 21

Impacto del congestionamiento vehicular



Nota: Los datos muestran distintos problemas generados por la congestión vehicular.

Estos datos abarcan desde afecciones en salud en distintas enfermedades respiratorias , por la contaminación ambiental 20%, la seguridad ciudadana que se generó en los últimos tiempos por facilidad que tienen los delincuentes en esconderse entre las movilidades estacionadas representando un 22%, estrés en conductores y peatones 25% en ámbito social por que dificulta el mantenimiento de vías, áreas verdes y evita áreas turísticas 16% y por último el ámbito económico por gasto extra en combustible, más gasto en pago de pasaje, y pocos ingresos generados por la mala impresión que genera una congestión vehicular.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La aplicación de un modelo de redireccionamiento vial dinámico basado en un análisis de algoritmo de colonia de hormigas, donde se busca la ruta más corta, reducirá el congestionamiento vehicular, beneficiando a los elementos que componen el sistema vial del sector de Río Seco Ex-tranca.

El modelo de redistribución vial, basado en el algoritmo de colonia de hormigas, ha demostrado una notable capacidad para optimizar el flujo vehicular, reduciendo significativamente la congestión en las calles y avenidas del área delimitada. Esta mejora en la fluidez del tráfico se traduce en menores tiempos de viaje, menor consumo de combustible y una disminución significativa de las emisiones contaminantes.

El cumplimiento de las normas de tránsito, junto con la optimización del flujo vehicular, se traduce en una mejora significativa en la eficiencia operativa del transporte urbano. Esto se refleja en una reducción de los tiempos de viaje, una menor congestión y un uso más eficiente de la infraestructura vial.

La investigación ha demostrado que el algoritmo de colonia de hormigas es una herramienta eficaz para optimizar las rutas de tránsito, incluso considerando cambios en las rutas y el sentido de las calles. El algoritmo ha sido capaz de identificar rutas más eficientes que reducen la congestión vehicular, los tiempos de viaje y las emisiones contaminantes.

La toma de datos estadísticos ha demostrado una percepción positiva de la población acerca de los beneficios de la implementación del algoritmo de colonia de hormigas para reducir el tráfico vehicular en la Ex Tranca de Río Seco. La mayoría de los encuestados han expresado

una reducción significativa en los tiempos de espera, una mejora en la fluidez del tráfico y una menor congestión vehicular.

5.2 RECOMENDACIONES

Antes de aplicar el algoritmo de colonia de hormigas, es fundamental representar la red vial como un grafo, donde los nodos representan intersecciones y los bordes representan las calles. Esto incluye identificar los nodos como puntos de origen y destino, así como asignar pesos a las aristas que representen la distancia o el tiempo de viaje entre ellos.

Las heurísticas son reglas o criterios que guían el comportamiento de las hormigas al buscar caminos óptimos. En el contexto del redireccionamiento vial, las heurísticas pueden incluir la preferencia por rutas con menos congestión, menor tiempo de viaje, o menor distancia. Seleccionar heurísticas adecuadas es crucial para obtener resultados eficientes y realistas.

Desarrollar la lógica que gobierna el comportamiento de las hormigas al explorar el grafo. Esto implica definir cómo las hormigas seleccionan sus movimientos, depositan feromonas en las aristas y actualizan su información sobre la calidad de las rutas. Es importante equilibrar la exploración (para descubrir nuevas rutas) con la explotación (para seguir las rutas conocidas).

Los algoritmos de colonia de hormigas tienen varios parámetros que pueden ajustarse, como la tasa de evaporación de feromonas, la importancia relativa de las feromonas y las heurísticas en la selección de caminos, entre otros. Es crucial realizar pruebas y ajustes para calibrar estos parámetros de manera que se adapten mejor a las características específicas de la red vial y las necesidades del redireccionamiento.

Una vez implementado el modelo, es fundamental evaluar su desempeño y validar su efectividad. Esto puede implicar comparar los resultados del redireccionamiento vial generado por el modelo con soluciones óptimas o con datos históricos de tráfico. La validación ayuda a identificar posibles áreas de mejora y a garantizar que el modelo sea útil y confiable en la práctica.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, J., García, A., Aragón, M., & Olivia, J. (2017). *Revista Científica. Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica*, 2. doi:<http://www.scielo.org.co/pdf/cient/n30/2344-8350-cient-30-00155.pdf>
- Administradora Boliviana de Carreteras. (2011). *Manual de diseño de conservación vial. Manual de carreteras Vol 5*. doi:http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/09/manual_de_diseno_de_conservacion_vial_abc.pdf
- Aduriz-Bravo, A., Labarca, M., & Lombardi, O. (2014). *Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de química*. Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Álvarez N., M., & Parra M., J. (2013). *Teoría de grafos*. Universidad del Bio-Bio.
- Álvarez Nuñez, M., & Parra Muñoz, J. (2013). *Teoría de Grafos*. Universidad del BIO-BIO. doi:http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1953/3/Alvarez_Nunez_Marcelino.pdf
- Aniorte García, A. (2014). *Algoritmo de colonia de hormigas aplicado al problema del viajante*. Universidad de Murcia. doi:https://www.um.es/documents/2918258/18875720/Oral_CyT_IES+San+Isidoro.pdf/54789133-a36c-40f5-93a7-8031be69a36b
- Aracil, J. (1996). *Introducción a la dinámica de sistemas*. Alianza Editorial Madrid.
- Asuad Sanén, N. E., & Vasquez Ruiz, C. (2014). *Marco lógico de la investigación científica*. doi:<http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/Metodo%20Cientifico.pdf>.
- Barán, B., & Almirón, M. (2001). *Colonias distribuidas de hormigas en un entorno paralelo asíncrono*. Pereira: Universidad .
- Barra Paredes, W. (2016). *Sistema de seguimiento y monitoreo de vehiculos basado en la geolocalización, en tiempo real aplicando balanceo de carga y utilización de multiples servidores*. doi:<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9861>

- Blake, A., Ferrier, N., & Rowe, S. (1994). *Real Traffic Monitoring*. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Sarasota. doi:FL.
- Bustos, E. (2020). *Modelos y modelado de sistemas*. https://users.dcc.uchile.cl/~nbaloian/DSS-DCC/Esp/1_3.pdf.
- Camacho, G. (2009). *Qué es cultura vial*. doi:<<https://goo.gl/w91mDB>>
- Canaviri C., F. (2015). *Unidad de tránsito*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Chamorro, B. (2019). *Propuesta de optimización del nivel de servicio del tráfico vehicular*. Universidad Nacional "Hermilio Valdizán". doi:Repositorio Universidad Nacional Hermilio Valdizán
- CODIGO DE TRANSITO Y REGLAMENTO. (16 de Diciembre de 2008). DECRETO LEY N° 10135 del 16 de febrero de 1973 elevado a rango de ley por Ley N 3988 del 16 de diciembre de 2008. *Resolución suprema N° 187444 del 8 de junio de 1978*. Bolivia: Gaceta oficial del Estado plurinacional de Bolivia.
- Córdoba Maquilón, J. E. (2022). *Análisis y diseño de rutas de transporte público colectivo urbano de la ciudad de Quibdó*. doi:<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83887/35893011.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. Londres: John Murray
- DATM/N°018/2023, R. a. (28 de Agosto de 2023). Control municipal de tránsito y movilidad urbana. El Alto, Bolivia: Gobierno Autónomo Municipal de El Alto.
- De Bianchi, S. (2016). *Which explanatory role for mathematics in scientific models? Reply to "The Explanatory Dispensability of Idealizations"*. doi:Synthese 193: 387-401
- Dominguez, C. (2015). *El transporte terrestre en la ciudad de Huánuco*. doi:Peru: Universidad de Huánuco

- Durán, G. (2008). *Teoría de Grafos*. Universidad de Buenos Aires. doi:http://cms.dm.uba.ar/academico/materias/2docuat2018/investigacion_operativa/2017/curso_grafos.pdf
- Escobar C., K. (2019). *Esquema metodológico para planificar vías en alta pendiente en La Paz*. Universidad Mayor de San Andres.
- Espinoza Freire, E. (2017). *Mendive*. Obtenido de La hipótesis en la investigación: <http://mendive.upr.edu.cu/index.php/mendiveUPR/article/view/1197>
- Esponzoa, D. (2007). *Teoría de sistemas*. Obtenido de Ecademia.edu: http://www.academia.edu/10597264/TEORIA_DE_SISTEMAS
- Farji - Brener, A. (2003). *Uso correcto, parcial e incorrecto de los terminos "hipótesis" y "predicciones" en ecología*. doi:http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2003000200011
- Friedman, N., & Russel, S. (1997). *Image Segmentation in Video Sequences a Probabilistic Approach*. Proceedings of the Thirteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence.
- Fullana B., C., & Urquia G., E. (2019). *Los modelos de simulación: Una herramienta multidisciplinar de investigación*. Obtenido de Repositorio UAM: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/679256/EM_32_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García Criollo, R. (2011). *Estudio de trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. Ed. Mc Graw Hill. doi:https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf
- García L., G., & Ramirez V., A. (2019). *Desarrollo de un modelo híbrido entre la metaheurística "colonia de hormigas" y el algoritmo genético modificado de chubasley aplicado a la recolección de desechos*. Pereira: Universidad tecnologica de pereira.

- Giere, R. (1999). *Science without laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. (1999). *Science without laws*. doi:Chicago: University of Chicago Press.
- Gobierno autónomo municipal de El Alto. (2024). *Secretaría municipal de movilidad urbana*. Obtenido de Secretaría municipal de movilidad urbana: <https://www.elalto.gob.bo/secretaria-municipal-de-movilidad-urbana/>
- Golberg. (1989). *Uso de algoritmos genéticos para la conformación de* . España.
- Groeger J., A. (2011). *How many e's in road safety? In: Porter, B.E. (ed.)*. Handbook of traffic psychology. doi:doi:10.1016/B978-0-12-381984-0.10001-3.
- Harrel, C., & Tumay, K. (1995). *"Simulation Made Easy. A Manager's Guide"*. doi:Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press,
- Harrington H., J., & Tumay, K. (1999). *Simulation modeling models*. McGraw Hill New York. doi:USA.High Performance Systems: <http://www.hps-inc.com>
- Hildebrand F., B. (2016). *Introducción al modelo matemático*. Editorial Pearson.
- Houck E., C., & Cooley B, J. (1983). *Experimental strategies for the estimation of optimum operating*. Winter Simulation Conference. doi:<http://lionrtpub.com/software-surveys.shtm>
- Izquierdo S., K., & Ventura Royo, C. (2016). *Optimización de rutas de transporte público con algoritmo de colonia de hormigas*.
- Jirón, P., & Zunino, D. (2017). *Dossier. Movilidad urbana y género: experiencias*. Revista Transporte y Territorio, N° 16 [en línea]. doi:<http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/3600/3295>
- Krick, E. (1979). *Fundamentos de Ingeniería. Métodos y técnicas de investigación para Administración e Ingeniería*. Lumusa. doi:<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11046/Pastor05de14.pdf;sequence=5>

- Labajo Gonzales, E. (2016). *Método científico*. Obtenido de Método científico: el método pericial: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/107-2016-02-17-EI%20M%C3%A9todo%20Cient%C3%ADfico.pdf>
- Maldonado, C. (2017). *Tipologías de modelos científicos de explicación. Ciencia y complejidad*. Ed. ORCID. doi:<https://doi.org/10.24197/st.2.2017.58-72>
- Mand C., E. (1979). *Optimización de rutas de transporte público con algoritmos genéticos*.
- Matemáticas para negocios. (2019). *Modelos de Optimización*. Obtenido de Matemáticas para negocios: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r157r/w13107w/MateNegocios_unidad%2002.pdf
- Mazur, M., & Manley, E. (2016). *Exploratory Models in a time of Big Data*. doi:Interdisciplinary Science Reviews 41 (4): 366-382.
- Nicole, P. (2019). *economepedia.com*. Obtenido de economipedia: <https://economipedia.com/>.
- Pari Cahuna, R. E. (2017). *Sistema de control de tráfico vehicular en base a internet de las cosas*. doi:<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/12559>
- Poó F., M., Lopez S., S., Toshi, J., Nucciarone M., I., & Ledesma R., D. (2015). *ducación vial y movilidad en la infancia. Psicología Escolar e Educativa*. doi:2: 387-395. doi:10.1590/2175-3539/2015/0192881
- Ross, S. (2014). *Introduction to probability models*. Academic Press.
- Rowher, Y., & Ric, C. (2016). *How are models and explanations related?* doi:Erkenntnis 81: 1127-1148.
- Rykov, V., & Prokhorov, D. (2015). *Stochastic systems in merging phase space*. MVNMP 2015. Springer.

- Sampieri, R. H. (2006). *Metodología de ña investigación*. Mc Graw Hill.
doi:<http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPIERI.pdf>
- sevilla, U. d. (2019). *Matemáticas para negocios*. Obtenido de Modelo de redes:
<https://www.cs.us.es/~fsancho/ficheros/ICSR/ICSR5.pdf>
- Vargas Monje, M. R. (2018). *Sistema híbrido basadi en el algoritmo de optimización de colonia de hormigas y la eurística 2-OPT para la distribucion de estados de cuenta*.
doi:<https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/3169c243-70eb-46a6-a5b5-74ae23940ea6/download>
- Vázquez Solíz, J. (2017). *Aplicación del algoritmo de colonia de hormigas al problema de rutas de reparto con destinos móviles*.
doi:<https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/3169c243-70eb-46a6-a5b5-74ae23940ea6/download>
- Vázquez Solíz, J. (2011). *Aplicación del algoritmo de colonia de hormigas al problema de rutas de reparto con destinos móviles*. Universidad de Sevilla.
doi:https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5760/fichero/PFC_Jesus_Vazquez.pdf
- Wilkinson, R. (2011). *Stochastic modelling for systems biology*. CRC Press.

ANEXOS

ANEXO 1: ARBOL DE PROBLEMAS



ANEXO 2: ARBOL DE OBJETIVOS

