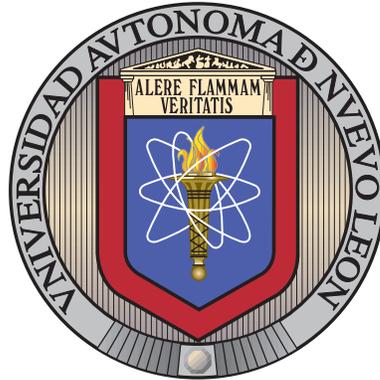


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



LOGÍSTICA DE PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN PARA
COMERCIO ELECTRÓNICO EN LA ÚLTIMA MILLA

POR

LUIS EDUARDO GARCÍA GÓMEZ

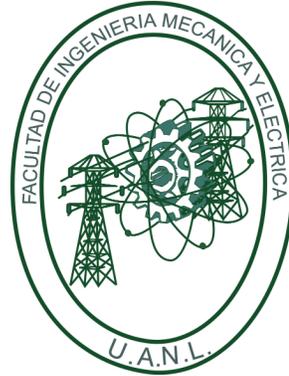
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

FEBRERO 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



LOGÍSTICA DE PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN PARA
COMERCIO ELECTRÓNICO EN LA ÚLTIMA MILLA

POR

LUIS EDUARDO GARCÍA GÓMEZ

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

FEBRERO 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Posgrado

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis “Logística de puntos de distribución para comercio electrónico en la última milla”, realizada por el estudiante Luis Eduardo García Gómez, con número de matrícula 2127011, sea aceptada para su defensa como requisito para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Evaluación de Tesis

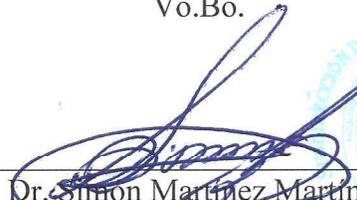
Dr. Giovanni Lizárraga Lizárraga
Director

MLyCS. Blanca Idalia Pérez Pérez
Revisor

Dra. Rosario Lucero Cavazos Salazar
Revisor

M. A. Manuel Farías Martínez
Revisor

Vo.Bo.


Dr. Simon Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

Institución 190001

Programa 642597

Acta Núm. 4350

Ciudad Universitaria, a 13 de marzo del 2024

Para mi padre que me cuida desde el cielo y mi madre que me cuida desde la tierra. Para mi hermana y mi sobrina.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	x
1. Introducción	1
1.1. El Comercio electrónico	1
1.1.1. Estado actual en México	2
1.1.2. La importancia de la última milla en el comercio electrónico	3
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Objetivo	5
1.4. Hipótesis	5
1.5. Justificación	5
2. Antecedentes	7
2.1. Las generaciones del comercio electrónico	7
2.1.1. El comercio rápido	9
2.1.2. ¿Por qué el Q-commerce?	10
2.2. Los centros de distribución	11

2.3. Estructuras de entrega dentro de la última milla	11
2.3.1. Sistema Push	12
2.3.2. Sistema Pull	13
2.3.3. Sistema híbrido	13
2.4. Métodos de optimización	14
2.4.1. Métodos exactos	14
2.4.2. Métodos heurísticos	14
2.5. Método de P-Medianas	15
2.5.1. Formulación Matemática del Problema de p-Mediana	15
2.6. Método de Localización-Cubrimiento	16
2.6.1. Formulación Matemática	17
2.7. Modelo de Flujo de Costo Mínimo	17
2.7.1. Formulación Matemática	18
2.8. Modelo de Facility Location Capacitado	19
2.8.1. Formulación Matemática	19
2.9. Algoritmos genéticos	20
2.9.1. Bucle de un Algoritmo Genético	22
2.10. Distance Matrix de Google Maps API	23
3. Metodología	25
3.1. Función objetivo	25

3.2. Establecer una zona geográfica	27
3.3. Elegir una serie de puntos de interés	28
3.4. Seleccionar los posibles puntos donde se pueda colocar un centro de distribución	29
3.5. Obtener una matriz de tiempo	29
3.6. Utilizar un método de optimización	30
4. Experimentación y resultados	31
4.1. Selección de las áreas a trabajar	31
4.2. Selección de los puntos de interés como posibles clientes potenciales .	34
4.3. Selección de los posibles centros de distribución	35
4.4. Colocación de datos iniciales	36
4.5. Uso de el servicio de Distance Matrix de Google Maps	37
4.6. Resultados obtenidos	38
5. Conclusiones	42
5.1. Trabajo a futuro	43
A. Códigos y algoritmos	44
A.1. Algoritmo de Selección de Puntos de Referencia para Entrega Eficiente	44
A.2. Uso de los algoritmos genéticos a través de un código en java	46
A.3. Uso de código para Google Maps API Distance Matrix	54

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Porcentaje de ventas proyectadas en comercio electrónico en 2022. Fuente: Elaboración propia basada en eMarketer (2022)	3
1.2. Operación logística de la última milla. Fuente: Elaboración propia basada en Olmedo (2007)	4
2.1. Sistema Push	12
4.1. Área a atender #1	32
4.2. Área a atender #2	33
4.3. Posibles clientes	34
4.4. Tiendas de conveniencia	35
4.5. Hoja de Excel	36
4.6. Hoja de Excel completa	38
4.7. Hoja de Excel ordenada	39
4.8. Archivo de texto	39
4.9. Resultados de San Nicolás	40
4.10. Resultados de Monterrey	41

ÍNDICE DE TABLAS

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia y a mi tutor por el apoyo brindado, así como al CONACYT por la beca otorgada.

Luis Eduardo García Gómez.

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

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: LOGÍSTICA DE PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN PARA COMERCIO
ELECTRÓNICO EN LA ÚLTIMA MILLA.

Número de páginas: 60.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Garantizar la entrega de pedidos de «Q-Commerce» en menos de una hora a través de métodos de ubicación de centros de distribución usando datos históricos de los meses y horas pico a través de algoritmos genéticos.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Este trabajo habla en profundidad sobre la logística de la última milla en el contexto del comercio electrónico en México. A través de la implementación de algoritmos genéticos y el uso de la Distance Matrix de Google Maps, se han identificado y evaluado estrategias para la selección de puntos de distribución. Los resultados han demostrado una mejora significativa en la eficiencia de la distribución, mejorando los tiempos de entrega y disminuyendo el número necesario de centros de distribución.

Firma del asesor: _____
Dr. Giovanni Lizarraga Lizarraga

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 EL COMERCIO ELECTRÓNICO

El comercio electrónico ha tenido un gran auge desde hace ya varios años (INEGI, 2019) pero fue en 1997 cuando se lanzó en Suiza una de las primeras tiendas de comestibles en línea del mundo llamada leshop.ch (Migros, 2021). Al principio, la tienda de comestibles en línea solo ofrecía a la venta 1.500 productos alimenticios secos. Sin embargo, cuando leshop.ch lanzó su mercado de comestibles en línea, solo el 10 % de la población suiza tenía acceso a Internet.

Veinticuatro años después, más del 90 % de los hogares tienen acceso a Internet. En Suiza, Alemania y el Reino Unido, la tasa de acceso supera el 95 % (Eurostat, 2020). Según BFS (2021), la mayoría de la población suiza realizó al menos una compra en línea en 2019. Aunque la compra en línea de ropa y dispositivos electrónicos se ha generalizado en los últimos años, la venta de productos de primera necesidad en línea no había aumentado tan rápido como otros bienes hasta 2020. Sin embargo, el inicio de la pandemia de COVID 19 en todo el mundo en 2020 obligó a muchas personas a quedarse en casa para protegerse o les impidió visitar las tiendas de comestibles físicas debido al cierre del gobierno, lo que resultó en un fuerte aumento de compras en línea de productos de primera necesidad (KPMG, 2021).

El atractivo de este mercado de rápido crecimiento generó la aparición de varias nuevas empresas en el sector de entrega de abarrotes en línea. El enfoque clave de las múltiples nuevas empresas es la rapidez en la entrega de dichos productos. Estas nuevas empresas entregan no solo en el mismo día sino también en horas, a menudo incluso en minutos, y con el beneficio adicional de costos de entrega bajos para los clientes. A través de este enfoque, muchos problemas de las compras de abarrotes en línea se han resuelto instantáneamente, como la ausencia de franjas horarias de entrega para los clientes que los obligaban a esperar en casa por sus compras o la eliminación de la exigente cadena de refrigeración debido a que los productos se entregan con mucha rapidez.

Este nuevo y altamente competitivo mercado de servicios de entrega de abarrotes super rápidos se explora a fondo en esta tesis de maestría.

1.1.1 ESTADO ACTUAL EN MÉXICO

México, como el resto del mundo, modificó su forma de comprar derivado de la pandemia por el virus SARS COV-2, generando un pico exponencial en la cantidad de usuarios que realizan compras en línea, siendo nuestro país el que más crecimiento tuvo en este ámbito con un 400% de aumento (AMVO, 2021). Siendo un gran reto para el sector comercio adaptarse a esta nueva tendencia, viéndose obligados a adoptar esta nueva forma de comercialización. Para 2022 se proyectó un crecimiento del 18% dentro del comercio electrónico (eMarketer, 2022), lo cual nos permite entender el alza de volumen que esto representó a la logística, en especial a la última milla.

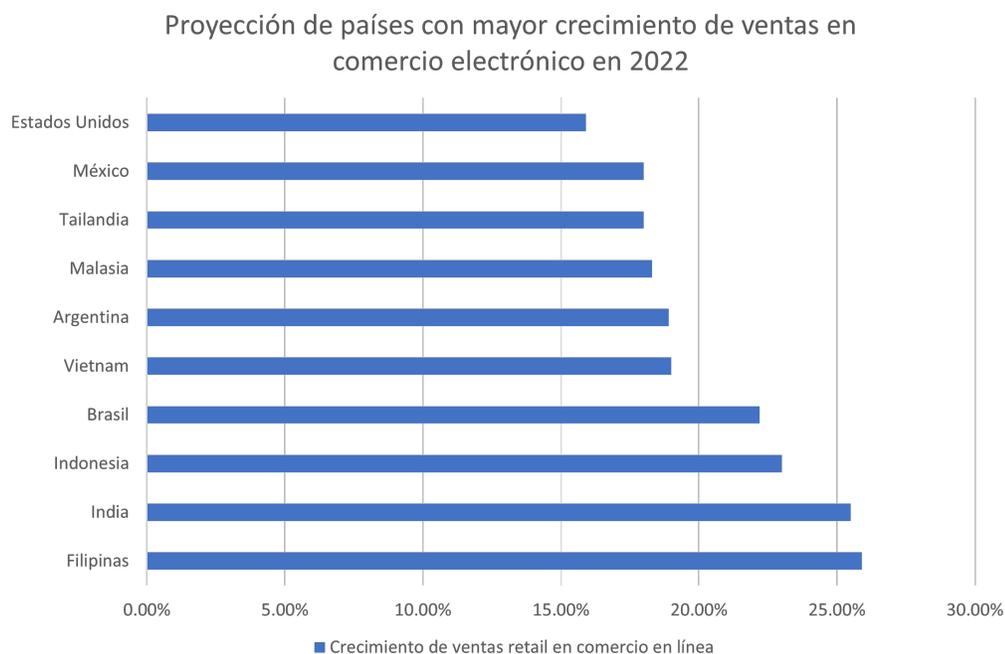


FIGURA 1.1: Porcentaje de ventas proyectadas en comercio electrónico en 2022.
Fuente: Elaboración propia basada en eMarketer (2022)

1.1.2 LA IMPORTANCIA DE LA ÚLTIMA MILLA EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO

Las compras realizadas a través del comercio electrónico pueden ser de bienes o de servicios, donde un boleto de autobús es un servicio. Este trabajo se centrará en el comercio electrónico de bienes. Los bienes necesitan ser transportados al consumidor, por lo cual el transporte se considera dentro del servicio que se adquiere al realizar una compra en línea. El tipo de producto que es adquirido va directamente relacionado con el tipo de transportación que se utilizará para hacer llegar el producto, tomando en cuenta que un producto de grandes dimensiones no puede ser transportado en una bicicleta o motocicleta, o un plato de comida no debería ser transportado en un camión unitario, por ello la importancia de una correcta administración de la logística de la última milla.

El uso del internet es hoy parte de nuestra rutina diaria, lo cual ha hecho crecer

el comercio electrónico. Derivado de esto, las tiendas físicas se han visto obligadas a ofertar sus productos a través de internet, donde hoy en día se encuentra un gran porcentaje de los consumidores, dada la facilidad, practicidad y comodidad que implica el realizar las compras en línea. El incremento de la familiaridad con el internet y la reducción cada vez mayor de la brecha digital, el decremento de los productos disponibles en tiendas físicas en comparación con los grandes catálogos que se ofertan en línea de mercancías, y la alta competitividad entre tiendas en línea, son algunos de los factores que han incentivado el crecimiento del comercio electrónico.

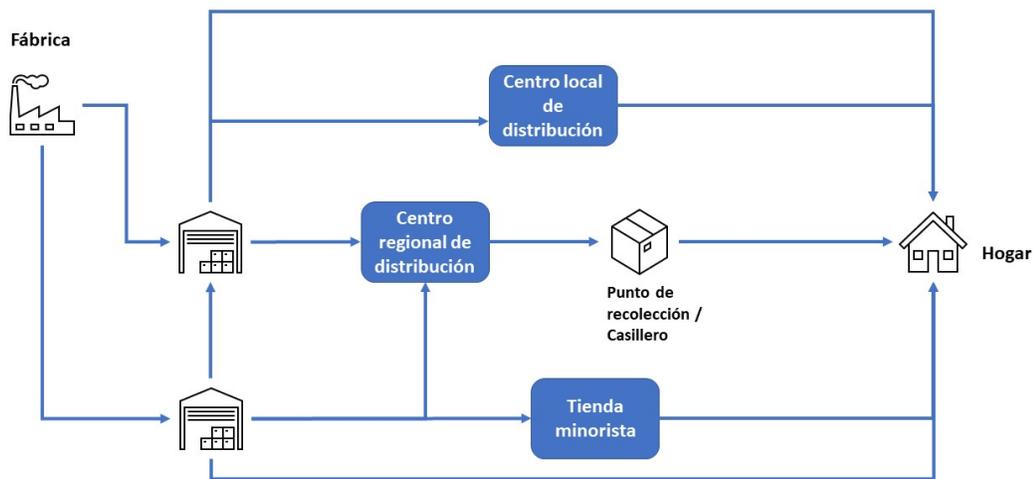


FIGURA 1.2: Operación logística de la última milla. Fuente: Elaboración propia basada en Olmedo (2007)

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La aparición de estas nuevas empresas dedicadas a abastecer la creciente demanda de los usuarios por la inmediatez de la entrega de sus compras en línea ha obligado a las empresas que deciden dedicarse a este ramo del comercio electrónico a cambiar su sistema de entregas a domicilio, de tal manera que resulta impensable

en la mayoría de las empresas de venta de productos de primera necesidad, como supermercados o tiendas de conveniencia, el cumplir con las exigencias que requiere el comercio rápido o «Q-commerce» sin antes realizar cambios en todo su departamento de entregas a domicilio y todo el sistema ligado a el.

El contar con los centros de distribución correctamente ubicados es uno de los grandes retos para estas empresas, ya que les permitirá cumplir con el tiempo promesa de entrega, tema que es tratado en este trabajo.

1.3 OBJETIVO

Garantizar la entrega de pedidos de «Q-Commerce» en menos de una hora a través de métodos de ubicación de centros de distribución usando datos históricos de los meses y horas pico a través de algoritmos genéticos.

1.4 HIPÓTESIS

Si al comparar la información histórica de los tiempos de traslados en horas y días de alta demanda, podremos garantizar la correcta ubicación de centros de distribución para así también garantizar la entrega de pedidos en menos de una hora.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El tener un sistema de entregas de última milla eficiente permitirá que las empresas destinen menos recursos para este fin, provocando costos de logística mas bajos y a su vez una mayor utilidad, además que permitirá al cliente poder obtener sus productos mas rápido, teniendo una tasa de satisfacción mayor y que se adapta

a las necesidades de los usuarios en la actualidad (Boysen *et al.*, 2021), los cuales hoy en día tienen una perspectiva de espera cada vez menor, siendo la inmediatez un factor esencial al momento de realizar una compra, desde la comodidad de su hogar u oficina.

La logística es una actividad de importancia que utiliza una gran cantidad de materiales y recursos humanos al grado de poder afectar economías nacionales. Por ejemplo la figura 1.1 muestra que, en la unión europea, la logística ha representado un 9% de su producto interno bruto (PIB) en las últimas décadas. La figura nos muestra que este número es significativamente mayor en países en desarrollo (aproximadamente el 20% en China) que en países desarrollados (aproximadamente el 7% en Alemania). La optimización de la distribución puede proveer ahorros del 5% (Hasle *et al.*, 2007) a una empresa, dado que el transporte puede significar un alto porcentaje del costo de un producto (10%) (Rodrigue, 2020). Con esto se comprueba que la eficiencia logística es un tema que las empresas deben de prestar atención. La transportación y los costos relacionados a la logística derivan en entre un 9% y un 14% del costo de venta, dependiendo de el giro de la empresa, para aquellas que no adoptan un enfoque de eficiencia logística.

Para aquellas empresas que realizan una planeación para una eficiencia logística, sus costos relacionados a la logística bajan a entre 5% y un 7% dependiendo del giro de la empresa. Para una empresa con ventas de \$10,000,000 representa un aumento a sus utilidades de entre \$500,000 y \$700,000. De esta forma, cualquier ahorro creado por la logística, incluso menor a un 5%, es significativo.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

A lo largo de este capítulo se tocarán los conceptos referentes a la investigación, con datos y términos que apoyarán la metodología a utilizar.

El objetivo esencial del capítulo es resaltar la investigación con base en una extensa revisión de literatura, que resultan de utilidad para desarrollar el objetivo del presente documento de tesis el cual consiste mejorar en el sistema de entrega de última milla en el sector del comercio electrónico rápido.

2.1 LAS GENERACIONES DEL COMERCIO ELECTRÓNICO

Hero (2020) ofrece una descripción general del comercio electrónico. En su artículo, el proceso de compra de abarrotes se clasifica en tres generaciones: comercio tradicional, comercio electrónico y comercio rápido. En Hero (2020), el comercio tradicional aparece como la primera generación de compras de abarrotes ocurre cuando los clientes van directamente al supermercado, realizan sus compras en la tienda y las llevan a su casa. La calidad o el precio atraen a las personas a una tienda específica.

El surgimiento de Internet ha llevado a los clientes a comprar comestibles

en línea y recibir estos artículos en sus hogares. Este fenómeno ilustra el comercio electrónico, la segunda generación de compras de comestibles. Al principio, solo unas pocas personas tenían acceso a Internet, pero el número de usuarios de Internet aumentó rápidamente desde principios de la década de 2000 en adelante, junto con la posibilidad de comprar comestibles en línea (Eurostat, 2020).

En consecuencia, un número creciente de supermercados comenzó a ofrecer sus productos en línea a través de canales de comercio electrónico, y la cantidad de clientes que utilizan esa oferta aumentó constantemente (Statista, 2019). La mayoría de los supermercados hoy en día ofrecen una gama completa de productos. Desde un almacén central, los productos se entregan a los clientes en unos pocos días hábiles o, a veces, también el mismo día. Las entregas generalmente se realizan a través de una camioneta grande o un camión. Muchos supermercados ofrecen entrega gratuita por una compra mínima; de lo contrario, cobran una tarifa de envío. Algunos minoristas también solicitan un pedido mínimo para poder realizar un pedido.

Finalmente, la tercera generación se denomina comercio rápido (Hero, 2020). Esta nueva generación de comercio electrónico tiene múltiples novedades y ventajas para los consumidores en comparación con la segunda generación. Su característica más notable es el tiempo de entrega de comestibles significativamente más rápido.

Las empresas de comercio rápido suelen realizar entregas en una hora, a veces incluso en menos tiempo, y es por ello que los almacenes deben estar ubicados muy cerca de sus clientes. Dado lo anterior, los almacenes de las empresas de comercio rápido deben estar ubicados centralmente, además estos almacenes son considerablemente más pequeños que los almacenes típicos ya que las rentas en ubicaciones centrales son extremadamente altas. Dicho lo anterior, se puede entender que la selección de productos en el comercio de tercera generación es, por lo tanto, drásticamente menor que la de las generaciones anteriores.

En el comercio rápido, las entregas se realizan de manera altamente sostenible a través de bicicletas, e-bikes o e-scooters, además, a menudo no se requiere un valor

minimo de pedido y las tarifas de envío son sustancialmente más bajas que las del comercio electrónico de segunda generación (Hero, 2020).

Los clientes eligen el comercio rápido debido a la gama limitada de productos o al precio accesible. Sin embargo, los puntos clave de la venta en el comercio rápido son la velocidad y la disponibilidad inmediata.

La dicho anteriormente no indica que una generación reemplace a otra generación, pero destaca que cada nueva generación de comercio brinda a los clientes más mejoras (Hero, 2020).

2.1.1 EL COMERCIO RÁPIDO

Se ha producido un movimiento significativo en el mercado de compras de productos de primera necesidad en línea después de años de que las compras de abarrotes estuvieran dominadas por minoristas establecidos (Müller-Sarmiento, 2021). En particular, la pandemia de COVID-19 y sus restricciones de movilidad que impidieron que las personas siguieran con su rutina diaria o incluso que salieran de sus hogares cambiaron enormemente el comportamiento de los compradores y cambiaron las compras de comestibles a un modo en línea. Además, los consumidores utilizan cada vez más sus celulares o aplicaciones sociales (apps) no solo para informarse sobre los productos, sino también para comprar sus comestibles en línea (Berger, 2020). Por lo tanto, los clientes han adoptado un medio de compra de alimentos en línea, al mismo tiempo que buscan productos que sean sostenibles y de alta calidad.

Este cambio en el comportamiento del consumidor generó una nueva generación de empresas en el ámbito de las compras de abarrotes en línea; el enfoque de muchas empresas nuevas estaba en la provisión de tiendas en línea compatibles con dispositivos móviles con productos de calidad superior y un servicio de entrega rápido. Estas nuevas empresas, también conocidos como empresas de comercio rápido, también atraieron a muchos inversionistas de riesgo, junto con una entrada masi-

va de capital; estos inversores ven este modelo de negocio como muy prometedor y digno de una inversión (Müller-Sarmiento, 2021). Desde el inicio de la pandemia de COVID-19, se han invertido más de 14 000 millones de USD en este modelo de negocio, lo que ha dado lugar a múltiples nuevas empresas que se esfuerzan por obtener una parte de este dinero y al surgimiento de un modelo de negocio clave (Müller-Sarmiento, 2021).

2.1.2 ¿POR QUÉ EL Q-COMMERCE?

La propagación de las tecnologías digitales y la digitalización crean nuevas oportunidades para el intercambio de productos para el ser humano moderno. Su evolución no solo mejora las condiciones y dimensiones del intercambio de bienes y la satisfacción de los participantes en el proceso, sino que también aumenta la dinámica del proceso económico. La aparición del comercio rápido (Q-commerce) es la respuesta natural a la combinación de tecnologías de información y comunicación y la migración del intercambio de productos en el entorno digital con la posibilidad de entrega física en un período de tiempo relativamente corto con la implementación inmediata de operaciones comerciales, logísticas y de transporte. La decisión de los consumidores antes de comprar en un sitio web de Q-commerce o en una aplicación móvil es una variable dependiente que depende de tres factores diferentes. Estos tres factores incluyen la conveniencia para los consumidores, la cantidad de riesgo involucrado (seguridad) y el precio del producto que compran en el sitio web de Q-commerce. Ganarse la confianza del consumidor juega un papel vital en la toma de una decisión positiva del consumidor acerca de donde realizar una compra (Arifah y Samopa, 2022).

La primera y única razón del crecimiento de la industria del comercio electrónico es la comodidad que ofrece a los consumidores todos los días. Sin duda, la industria del Q-commerce estuvo en auge durante la pandemia ya que benefició a los consumidores de todo el mundo porque les permitió tener en sus manos los productos que

necesitan todos los días sin tener que salir. El Q-commerce proporciona mucha comodidad a los consumidores porque pueden esperar los productos desde la comodidad de su hogar sin tener que salir y en un tiempo considerablemente corto.

Dadas las características del Q-commerce y el servicio esperado por los consumidores, es de suma importancia el cumplir las expectativas del cliente, procurando tener un sistema que permita realizar todo el proceso de entrega, desde la recepción del pedido hasta la entrega con el cliente final, de manera correcta y dentro del tiempo promesa.

2.2 LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN

En la actualidad dentro de una empresa pueden existir centros de distribución y almacenes, y aunque en ocasiones pueden sonar semejantes, cada uno tiene sus características, para lo cual en este trabajo nos enfocaremos en los centros de distribución, que se encuentran enfocados a satisfacer las necesidades del cliente, es la principal liga entre proveedores y consumidores, además de ofrecer mas servicios que solo almacenaje como transporte, preparación de pedidos, etiquetado, empaque, entre otros (Olmedo, 2007).

2.3 ESTRUCTURAS DE ENTREGA DENTRO DE LA ÚLTIMA MILLA

Como se puede deducir por su nombre, la entrega de ultima milla es el movimiento de mercancías desde el último centro de distribución hasta el lugar que indica el cliente final. Ahora bien, centrándonos en este movimiento de mercancías, existen tres tipos: Push, Pull e hibrido (Lim *et al.*, 2015).

2.3.1 SISTEMA PUSH

El termino Push hace referencia a la definición que mas comúnmente se llega a pensar cuando se hablar de logística: Productos o servicios que son enviados hasta la puerta del cliente final. Los minoristas son los responsables de despachar las órdenes eligiendo sus servicios propios de logística o los prestados por terceros, comúnmente denominados 3PL (Lim *et al.*, 2015).

Existen tres posibles puntos de partida de la mercancía dados en orden desde el punto mas lejos hasta el mas cercano a los clientes: Producción, centro de distribución y tienda minorista. Cada uno tiene sus puntos a favor y en contra como los costos de entrega, la disponibilidad, variedad y demanda de los productos y el tiempo de respuesta a los pedidos (Lim *et al.*, 2015).

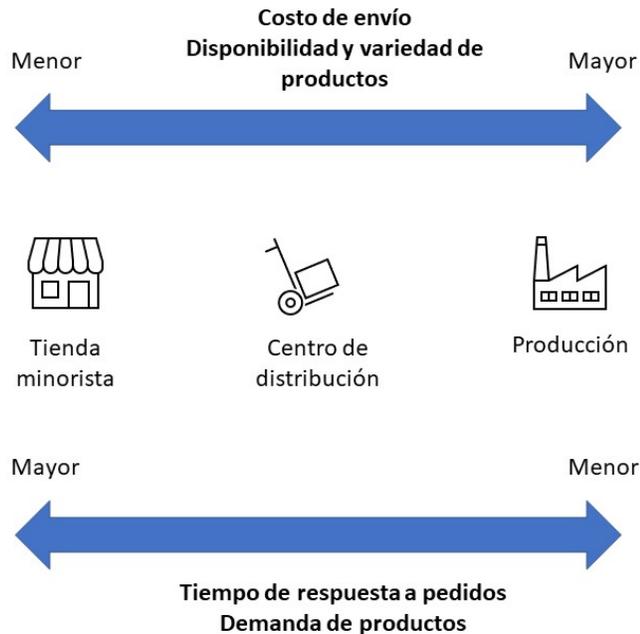


FIGURA 2.1: Comparativa de los pros y contras de los diferentes puntos de partida en un sistema Push. Fuente: Elaboración propia basada en Lim *et al.* (2015)

Mientras más cercano se encuentra el punto de recogida, el costo de envío resulta mas económico pero también resulta en un bajo nivel de disponibilidad de inventario y variedad, pero una tasa mayor de demanda y mayor tiempo de respuesta.

2.3.2 SISTEMA PULL

Un sistema *Pull* es donde los clientes recogen sus propias ordenes. Aquí, la tienda minorista se encarga de que los productos solicitados por el cliente se encuentren disponibles en el punto de recogida seleccionado, para que de esta manera el cliente pueda pasar por sus productos, es decir, en este sistema el mismo cliente final es quien realiza la entrega de última milla (Lim *et al.*, 2015).

Las características de este sistema son las mismas que el sistema *Push*, excepto por el tiempo de respuesta. Dado que los minoristas no son responsables de la entrega de última milla, esta característica no puede ser considerada. Por otra parte la satisfacción del cliente puede verse afectada en el sistema *Pull* ya que si bien, se ofrece la flexibilidad de que el cliente recoja sus ordenes, existen también clientes que prefieren que sus productos sean entregados hasta la puerta de su casa, por lo cual los mismos tendrán un menor nivel de satisfacción en este sistema (Lim *et al.*, 2015).

2.3.3 SISTEMA HÍBRIDO

El sistema híbrido toma las características de los sistemas antes mencionados, creando un termino medio llamado punto de recolección y envío (PRE). Esto permite que la mercancía sea enviada desde la tienda minorista hasta un lugar intermedio donde el cliente puede recoger su pedido. Este modelo deriva en dos grandes categorías: PREs atendidos y PREs no atendidos (Lim *et al.*, 2015).

Los clientes y los minoristas eligen cual método utilizar dependiendo de las características de cada categoría como el tamaño de la orden, la densidad del mercado y la eficiencia operacional.

2.4 MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN

En este trabajo se va a mejorar la ubicación de los centros de distribución de una empresa dedicada el comercio rápido, por lo cual es necesario conocer cuales métodos permiten realizar lo anterior.

2.4.1 MÉTODOS EXACTOS

Los métodos exactos son algoritmos o técnicas matemáticas que proporcionan soluciones óptimas y precisas a un problema dado. Estos métodos garantizan la calidad de la solución, ya que encuentran la mejor solución posible según los criterios del problema. Estas técnicas suelen aplicarse en campos como la optimización. (Nemhauser, 1988)

En ocasiones existen problemas lo suficientemente complejos como para poder brindar una solución exacta, lo cual abre la posibilidad de utilizar métodos que permitan solucionar el problema pero sin ser necesariamente una solución óptima.

2.4.2 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Los métodos heurísticos son técnicas de resolución de problemas que buscan soluciones aproximadas o "suficientemente buenas" cuando una solución exacta es impracticable o demasiado costosa en términos de tiempo o recursos. Estas técnicas se utilizan especialmente en problemas complejos donde es difícil encontrar una solución

óptima (Gendreau, 2010). Los métodos heurísticos son comunes en campos como la inteligencia artificial, la ciencia de la computación, la ingeniería, las matemáticas aplicadas y la toma de decisiones en general.

La palabra «heurística» deriva del griego «heuriskein», que significa «encontrar» (Gendreau, 2010). Estos métodos a menudo son más rápidos y menos costosos que los métodos exhaustivos, pero no garantizan la mejor solución. Sin embargo, en muchos casos, la calidad de la solución obtenida es aceptable para las necesidades prácticas.

2.5 MÉTODO DE P-MEDIANAS

El método de p-mediana es una técnica ampliamente utilizada en la investigación operativa y la toma de decisiones en el campo de la ubicación. Se ha aplicado con éxito en una variedad de situaciones que involucran la selección de ubicaciones óptimas para satisfacer las demandas de un conjunto de clientes (Daskin, 1995).

2.5.1 FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA DE P-MEDIANA

El problema de p-mediana se formula como un problema de ubicación discreta en el que se busca determinar las mejores ubicaciones para abrir p instalaciones de servicio entre un conjunto de posibles ubicaciones, de manera que se minimice la distancia total ponderada entre las instalaciones y los puntos de demanda (Francis y McGinnis, 1984). La formulación matemática del problema se presenta a continuación:

Dado un conjunto de n puntos de demanda y un conjunto de m ubicaciones potenciales, el objetivo es seleccionar p ubicaciones entre las m disponibles para minimizar la suma de las distancias ponderadas entre cada punto de demanda y su

ubicación más cercana entre las p seleccionadas.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizar} && \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p c_{ij} \cdot x_{ij} \\
 &\text{Sujeto a} && \sum_{j=1}^p x_{ij} = 1, \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n \\
 &&& \sum_{i=1}^n x_{ij} = p, \quad \text{para todo } j = 1, 2, \dots, p \\
 &&& x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n \text{ y } j = 1, 2, \dots, p
 \end{aligned}$$

Donde: - x_{ij} es una variable binaria que indica si el punto de demanda i se asigna a la ubicación j . - c_{ij} es la distancia o costo entre el punto de demanda i y la ubicación j .

La resolución del problema de p -mediana puede lograrse a través de diversos enfoques, dependiendo de la complejidad del problema y los recursos disponibles (Geoffrion y Graves, 1974).

2.6 MÉTODO DE LOCALIZACIÓN-CUBRIMIENTO

El Método de Localización-Cubrimiento se enfoca en minimizar el número de instalaciones necesarias para cubrir todas las demandas. Cada demanda debe estar dentro de un rango predefinido de al menos una instalación. Este método es útil cuando el objetivo es garantizar que todas las demandas estén cubiertas con el menor número de instalaciones, como en la planificación de servicios de emergencia (Toregas *et al.*, 1971).

2.6.1 FORMULACIÓN MATEMÁTICA

El problema de Localización-Cubrimiento se puede definir de la siguiente manera:

Dado un conjunto de posibles sitios de ubicación, un conjunto de áreas de demanda que deben ser cubiertas y los costos asociados con la apertura de instalaciones en los sitios, el objetivo es seleccionar un conjunto de ubicaciones de instalaciones que minimice los costos totales y garantice que todas las áreas de demanda estén cubiertas.

La formulación matemática general del problema se expresa como:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \\ \text{Sujeto a} \quad & \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq 1, \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, m \\ & x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, m \text{ y } j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Donde: - x_{ij} es una variable binaria que indica si se abre una instalación en el sitio j para cubrir el área de demanda i . - c_{ij} es el costo asociado con abrir una instalación en el sitio j para cubrir el área de demanda i . - m es el número de áreas de demanda. - n es el número de posibles sitios de ubicación.

2.7 MODELO DE FLUJO DE COSTO MÍNIMO

Este modelo aborda el problema de minimizar el costo de envío de bienes a través de una red desde múltiples fuentes hasta múltiples destinos. Se centra en encontrar el flujo de costo mínimo que satisface la demanda en todos los destinos. Es ampliamente utilizado en la logística para la optimización de redes de suministro

y distribución (Ahuja *et al.*, 1993).

2.7.1 FORMULACIÓN MATEMÁTICA

El problema de Flujo de Costo Mínimo se puede definir de la siguiente manera:

Dado un grafo dirigido ponderado que representa una red de transporte, con nodos que actúan como fuentes, destinos y puntos de tránsito, el objetivo es encontrar la asignación de flujo óptima que minimice los costos totales de transporte desde las fuentes a los destinos, cumpliendo con las restricciones de oferta y demanda en los nodos. Cada arco de la red tiene un costo por unidad de flujo, que representa el costo de transportar una unidad del recurso a través de ese arco. Además, cada arco tiene una capacidad máxima que limita la cantidad de flujo que puede pasar por él. Los nodos pueden tener restricciones de oferta (positiva) o demanda (negativa). Las fuentes tienen oferta positiva, lo que significa que generan flujo, mientras que los destinos tienen demanda negativa, lo que significa que consumen flujo. Los puntos de tránsito pueden tener oferta o demanda dependiendo de su función en la red.

La formulación matemática general del problema se expresa como:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & \sum_{i,j} c_{ij} \cdot x_{ij} \\ \text{Sujeto a} \quad & \sum_{i,j} x_{ij} - \sum_{j,i} x_{ji} = b_i, \quad \text{para todo } i \\ & x_{ij} \geq 0, \quad \text{para todo } i, j \end{aligned}$$

Donde: - x_{ij} es la cantidad de flujo desde el nodo i al nodo j . - c_{ij} es el costo por unidad de flujo desde el nodo i al nodo j . - b_i es la oferta (positiva) o demanda (negativa) en el nodo i .

2.8 MODELO DE FACILITY LOCATION CAPACITADO

Este modelo se utiliza para determinar las ubicaciones óptimas de las instalaciones de servicio, como almacenes o centros de distribución, teniendo en cuenta las capacidades de producción o servicio de cada instalación (Laporte, 2003).

2.8.1 FORMULACIÓN MATEMÁTICA

El problema de Facility Location Capacitado se puede definir de la siguiente manera:

Dado un conjunto de posibles ubicaciones para abrir instalaciones de servicio y un conjunto de puntos de demanda, el objetivo es seleccionar las ubicaciones de las instalaciones y determinar las capacidades de producción o servicio de cada instalación para satisfacer la demanda de los puntos de demanda, minimizando los costos totales, que pueden incluir costos de transporte, costos de operación de las instalaciones y costos de construcción.

La formulación matemática general del problema se expresa como:

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizar} && \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \\
 &\text{Sujeto a} && \sum_{j=1}^m x_{ij} \geq d_i, \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n \\
 &&& \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq u_j, \quad \text{para todo } j = 1, 2, \dots, m \\
 &&& x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n \text{ y } j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

Donde: - x_{ij} es una variable binaria que indica si se abre una instalación en la ubicación j para satisfacer la demanda del punto de demanda i . - c_{ij} es el costo

de asignar el punto de demanda i a la ubicación j . - d_i es la demanda del punto de demanda i . - u_j es la capacidad máxima de producción o servicio de la ubicación j . - n es el número de puntos de demanda. - m es el número de ubicaciones potenciales para las instalaciones.

2.9 ALGORITMOS GENÉTICOS

La localización de instalaciones es uno de los problemas más clásicos y desafiantes en la investigación de operaciones y la logística. Debido a la complejidad de este problema, los métodos heurísticos, como los algoritmos genéticos (AG), han demostrado ser herramientas particularmente útiles para abordarlo (Drezner, 2002).

Los algoritmos genéticos, inspirados en la teoría de la evolución natural, operan sobre una población de soluciones candidatas y, a través de iteraciones de selección, cruce y mutación, buscan soluciones óptimas o cercanas al óptimo (Holland, 1975). En el contexto del problema de localización de instalaciones, un individuo en la población podría representar una solución de localización específica, con genes que indican la ubicación de las instalaciones.

Una de las principales ventajas de usar AG para este problema es su capacidad para explorar un amplio espacio de soluciones y adaptarse a cambios en el problema o en los datos. Además, los AG pueden ser fácilmente modificados o adaptados para considerar características específicas o restricciones del problema, como la capacidad de las instalaciones, los tiempos de traslado o las restricciones geográficas

Este método fue elegido para la solución del problema planteado en esta tesis ya que partimos de centros de distribución preestablecidos, es decir, que ya existen, además un factor crítico es que, a diferencia de otros modelos donde se toman en cuenta las distancias, en este método utilizaremos como referencia los tiempos de traslado, dejando en segundo plano las distancias. (Ahmed, 2007).

Sin embargo, el éxito de un AG en la localización de instalaciones depende en gran medida de su diseño. La elección de una función de aptitud adecuada, que evalúe la calidad de una solución de localización, es crucial. Además, las operaciones de cruce y mutación deben ser diseñadas de manera que reflejen la naturaleza del problema y generen soluciones factibles (ReVelle, 2008).

A lo largo de los años, los algoritmos genéticos han sido aplicados con éxito en varios problemas de localización, desde la localización de instalaciones simples hasta problemas más complejos, como la localización-ubicación o la localización con múltiples objetivos (Melachrinoudis, 2005).

Los algoritmos genéticos ofrecen una metodología robusta y adaptable para el problema de localización de instalaciones. Si bien requieren un diseño cuidadoso, tienen el potencial de proporcionar soluciones de alta calidad en escenarios prácticos complejos.

Existen varios tipos de algoritmos genéticos que pueden ser aplicables a un problema de optimización, por ejemplo en este caso, en la logística de distribución para comercio electrónico en la última milla. Según la literatura, algunos que se han utilizado para resolver este tipo de problema son los siguientes:

- **Algoritmo Genético Simple (AGS):** Es la forma más básica de algoritmo genético que incluye procesos de selección, cruce y mutación. Este tipo de algoritmo podría ser útil para resolver problemas de ruteo o asignación de recursos de manera eficiente (Goldberg, 1989).
- **Algoritmo Genético de Población Estable (Steady-State GA):** En lugar de reemplazar toda la población en cada generación, este algoritmo sustituye solo una parte de la población, permitiendo mantener cierta continuidad y puede ser útil para mantener soluciones de alta calidad a lo largo del tiempo (Syswerda, 1991).
- **Algoritmo Genético Multiobjetivo (MOGA):** Si el problema involucra

múltiples objetivos, como minimizar el tiempo y el costo al mismo tiempo, los MOGA pueden ser útiles en encontrar un conjunto de soluciones óptimas, conocidas como el frente de Pareto (Deb, 2001).

- **Algoritmo Genético Híbrido:** Combina el algoritmo genético con otras técnicas de optimización, como la búsqueda local o algoritmos heurísticos, para explorar el espacio de soluciones de manera más eficiente y encontrar soluciones óptimas en problemas complejos (Blum y Roli, 2003).
- **Algoritmos Genéticos Paralelos (PGA):** Estos algoritmos distribuyen la población en diferentes subpoblaciones que evolucionan en paralelo, aumentando la eficiencia y la capacidad para encontrar soluciones óptimas en problemas complejos y de gran escala (Cantú-Paz, 2000).
- **Algoritmo Genético con Codificación Real:** Utiliza números reales en lugar de una codificación binaria o de cadena de caracteres, lo cual puede ser más adecuado para problemas donde las variables de decisión son continuas (Herrera *et al.*, 1998).

Ahora bien, con base en la literatura, el problema presentado puede ser resuelto con un algoritmo genético simple ya que se trata de un problema clásico de optimización.

2.9.1 BUCLE DE UN ALGORITMO GENÉTICO

El bucle de un algoritmo genético es un proceso iterativo utilizado para optimizar soluciones a problemas específicos mediante técnicas inspiradas en la evolución biológica. Los componentes principales de este bucle son:

1. **Inicialización:** Generación de una población inicial de individuos, usualmente de manera aleatoria. Cada individuo representa una posible solución al problema y está codificado de forma específica.

2. **Evaluación:** Cada individuo de la población es evaluado según una función de aptitud, que mide qué tan buena es la solución que representa.
3. **Selección:** Basándose en los resultados de la función de aptitud, se seleccionan los individuos que participarán en la creación de la próxima generación. Los métodos de selección pueden variar.
4. **Cruce (Reproducción):** Se cruzan los individuos seleccionados para crear descendientes, que heredarán características de los individuos "padres".
5. **Mutación:** Los descendientes pueden sufrir mutaciones con cierta probabilidad baja, lo que implica cambios aleatorios en algunas de sus características.
6. **Reemplazo:** La nueva generación de individuos reemplaza a la generación anterior, total o parcialmente. Existen diferentes estrategias de reemplazo.
7. **Condición de término:** El algoritmo repite los pasos del 2 al 6 hasta que se cumple una condición de término.

Estas etapas forman un ciclo que se repite hasta que el algoritmo alcanza una solución óptima o satisfactoria para el problema, o hasta que se cumplen otros criterios de parada (Mitchell, 1998).

2.10 DISTANCE MATRIX DE GOOGLE MAPS API

En este trabajo, como se ha mencionado anteriormente, se necesitará calcular los tiempos de traslado y no las distancias, ya que una de las principales características del comercio rápido es poder entregar las ordenes de los clientes en un tiempo menor a una hora, por lo cual resulta de mayor interés para este trabajo reducir los tiempos de traslado y no tanto así las distancias, por ello resulta de mucha utilidad una herramienta que nos brinde dicha información con datos de transito real.

Desde sus inicios, Google Maps ha sido un instrumento revolucionario para la navegación y el mapeo . Pero más allá de su interfaz gráfica que la mayoría de las personas utiliza para obtener direcciones o explorar lugares, Google ha desarrollado una serie de servicios API que permiten a los desarrolladores aprovechar su vasta base de datos y capacidades de mapeo. Uno de estos servicios es el "Distance Matrix API".

El Distance Matrix API es un servicio que proporciona información sobre la distancia y el tiempo de viaje entre varios puntos de origen y destino, utilizando varios modos de transporte. Básicamente, los desarrolladores proporcionan una lista de direcciones de origen y destino, y la API devuelve información detallada sobre las distancias y los tiempos de viaje entre esos puntos.

La capacidad del Distance Matrix de manejar múltiples puntos de origen y destino es su verdadero activo. Empresas que necesitan optimizar rutas para entregas o cualquier otro escenario donde se requiera la optimización de rutas entre varios puntos, encuentran en este servicio una herramienta esencial.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Parte fundamental del «Q-Commerce» es poder localizar de forma adecuada los centros de distribución para que los tiempos de entrega sean siempre los menores posibles. Si bien siempre es deseable que la ubicación se realice con base a una estimación exacta, la ubicación aproximada suele ser suficiente.

Para tal nivel de precisión, las técnicas de localización se están explorando como alternativas de bajo costo.

3.1 FUNCIÓN OBJETIVO

Elaboramos una función objetivo que minimize los centros de distribución para que toda el área sea atendida en un tiempo preestablecido.

La función objetivo forma parte de un modelo de optimización y está diseñada para minimizar un valor, como un costo o tiempo, sujeto a ciertas restricciones. A continuación, se presenta el desglose de la función y sus componentes:

- **Función Objetivo:** $\min F(X) = \sum_{i=1}^N X_i + P$
 - Esta función busca minimizar el costo total, es decir, la suma de los componentes: una variable X_i , que representa una variable binaria, que

podría vale 0 o 1 donde 0 es que no se coloca y 1 donde si se coloca el centro de distribución i , y P , que es una penalización que esta basada en si se violan o no los tiempos de entrega.

■ **Restricciones:**

- $T_{ij} \leq L$: Esta restricción indica que el menor tiempo desde el centro i de 1 a n hasta el código postal, haciendo referencia a los puntos de interés donde se va a distribuir, j de 1 a J debe ser menor o igual a L donde L es el tiempo límite. Esto se debe cumplir para todos los j , lo que implica que para cada código postal, se seleccionará el centro que cumpla con esta restricción de tiempo. Esta restricción se va a incluir como un parámetro en la función objetivo como el parámetro P ya que el algoritmo genético simple no maneja restricciones si no que estas se deben de incluir en la función objetivo.

■ **Variables y Parámetros:**

- T_{ij} : Representa el tiempo del centro i al código postal j .
- P : Es una penalización en minutos que vale 0 si no se ha violado la restricción de tiempo; si se ha violado, es igual a la sumatoria de la violación en todos los códigos postales donde se violó la restricción.
- X : Es el vector de selección de centros de distribución.
- J : Numero máximo de códigos postales.
- N : El numero de centros potenciales.

El objetivo de este tipo de modelo es seleccionar la mejor combinación de centros de distribución que minimicen el numero de centros garantizando que no se viole la restricción dada. Este modelo sirve para mejorar la ubicación de los centros de distribución y la asignación de áreas de servicio.

3.2 ESTABLECER UNA ZONA GEOGRÁFICA

Se determina una zona donde se brindará el servicio. Tomando como referencia a las empresas que actualmente ya brindan este tipo de servicio, se puede tomar desde un par de colonias hasta un municipio o área metropolitana. Dado que una de las características del «Q-commerce» es entregar los productos en menos de 1 hora, es inviable trazar un área mayor de servicio a la anteriormente mencionada, ya que el abastecer pequeños poblados alejados de las grandes urbes entorpecería la operación, afectando los tiempos de entrega.

Es probable que, si se habla de una empresa que ya se encuentra operando, la misma ya tenga un área delimitada para brindar sus servicios, ya que factores como la densidad poblacional o el poder adquisitivo de la zona son generalmente unas de las características que una empresa toma en cuenta para comenzar a operar. En el supuesto de que la empresa aún no tenga definida una área donde desea brindar sus servicios, se pueden sugerir diferentes métodos matemáticos para definir la zona geográfica.

Diferentes métodos matemáticos y estadísticos pueden ser utilizados para definir la zona geográfica óptima de operación. Algunos de estos métodos incluyen el análisis de conglomerados, que permite agrupar áreas con características similares en términos de densidad poblacional y poder adquisitivo; el análisis de redes, útil para entender la conectividad y accesibilidad dentro de la zona; y modelos de optimización, que buscan maximizar la eficiencia en términos de costos y tiempos de entrega.

Además, el análisis geoespacial juega un papel crucial en la definición de la zona de servicio. Herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (GIS) permiten visualizar y analizar datos espaciales para identificar áreas con alta demanda potencial y accesibilidad adecuada. Este enfoque puede ayudar a la empresa a identificar rutas óptimas y puntos estratégicos para almacenar productos, lo que

es fundamental para cumplir con la promesa de entregas en menos de una hora.

Otro aspecto importante a considerar es la variabilidad en la demanda dentro de la zona de servicio. El análisis de datos históricos de ventas y patrones de compra puede ayudar a predecir la demanda en diferentes áreas y horarios, permitiendo a la empresa ajustar su inventario y recursos logísticos de manera más eficiente.

Finalmente, es esencial considerar la sostenibilidad y el impacto ambiental del modelo de operación. Estrategias como el uso de vehículos eléctricos o bicicletas para entregas en áreas urbanas densas no solo pueden reducir los costos operativos, sino también minimizar la huella de carbono de la empresa.

Dado que este trabajo se centra en un tema distinto a los mencionados anteriormente, se da por hecho que ya se cuenta con la información necesaria y con dicha información ya se ha elegido el área donde se brindará el servicio.

3.3 ELEGIR UNA SERIE DE PUNTOS DE INTERÉS

Se elige la ubicación de los posibles clientes a cuáles atender, tomando como referencia los puntos más desfavorables, para de esta manera garantizar la entrega en el tiempo prometido.

Se pueden tomar como referencia diferentes puntos de interés del área a atender, por ejemplo conjuntos habitacionales o códigos postales, a menos que exista un estudio previo que indique cuales son las áreas de mayor demanda, para de esta manera poder atender de manera prioritaria estos puntos.

En el caso de que sean elegidos como puntos referenciales los códigos postales, se debe de tomar el centroide del polígono de cada código postal como punto exacto de referencia.

3.4 SELECCIONAR LOS POSIBLES PUNTOS DONDE SE PUEDA COLOCAR UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN

Ya en el área definida, se eligen los diferentes puntos donde es posible colocar un centro de distribución. Se recomienda contar ya con un estudio previo que indique cuales son los lugares donde la empresa puede ubicar sus centros de distribución o, si ya cuenta con ubicaciones operando, puede realizar un estudio interno que le permita conocer cuales de sus ubicaciones actuales permiten realizar operaciones de «Q-commerce».

Adicionalmente, es fundamental evaluar la infraestructura existente en las áreas potenciales para los centros de distribución. Esto incluye la accesibilidad a vías principales, disponibilidad de servicios básicos y la posibilidad de expansión o modificación de las instalaciones. Consideraciones sobre la seguridad y el impacto en las comunidades también son esenciales para garantizar una integración armoniosa y sostenible de estas instalaciones en el tejido urbano.

En este trabajo se da por entendido que ya se cuentan con los centros de distribución, por lo cual no se profundiza en como elegir la ubicación de los centros de distribución.

3.5 OBTENER UNA MATRIZ DE TIEMPO

Ya obtenidas las ubicaciones de los clientes y de las posibles ubicaciones de los centros de distribución, estos se acomodan en una hoja de Excel para después, a través del servicio de Distance Matrix del API de Google Maps, ejecutar un código en java para la obtención de los tiempos entre los diferentes clientes y las diferentes posibles ubicaciones.

Para mejorar la precisión de esta matriz de tiempo, se pueden integrar varia-

bles adicionales como patrones de tráfico en diferentes horarios, incidencias viales comunes y condiciones climáticas típicas. Esto permite obtener una estimación más realista de los tiempos de entrega y ajustar las operaciones logísticas de manera proactiva en respuesta a estas variables.

3.6 UTILIZAR UN MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN

Al utilizar un método de optimización, como los algoritmos genéticos, se puede obtener cuales son las ubicaciones de los centros de distribución que podrían realizar la entrega a los diferentes clientes en el tiempo promesa de entrega, siendo estos la menor cantidad posible.

La implementación de estos algoritmos puede ser complementada con un análisis de costo-beneficio que considere no solo la eficiencia operativa, sino también el impacto ambiental y social de los centros de distribución. Este enfoque integral ayuda a balancear la necesidad de minimizar costos y tiempos de entrega con el compromiso de la empresa hacia la sostenibilidad.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

A continuación se detalla los resultados obtenidos mediante la experimentación del código propuesto. Es intención de este trabajo obtener una solución que satisfaga las restricciones que impone el «Q-commerce».

Los siguientes casos son solo un ejemplo de como puede ser resuelto un problema con las características dadas en este trabajo y no esta basado en un caso real.

4.1 SELECCIÓN DE LAS ÁREAS A TRABAJAR

Para comenzar, como se muestra en la figura 4.1 y 4.2, se seleccionaron los municipios de San Nicolas de los Garza y Monterrey para efectos de este trabajo como área a cubrir.

Los municipios anteriores fueron elegidos de manera aleatoria aunque, como ya se ha mencionado, es importante contar con algún estudio que refiera cual es la mejor área dentro de una ciudad o zona metropolitana para comenzar a operar. Cabe mencionar que el municipio de monterrey cuenta con un área de 781.438 kilometros cuadrados y San Nicolas de los Garza de 57.186 kilometros cuadrados respectivamente IEEPCNL.



FIGURA 4.1: Municipio de San Nicolás de los Garza, área a atender #1. Fuente: Google Maps.



FIGURA 4.2: Municipio de Monterrey, área a atender #2. Fuente: Google Maps.

postal mexicano.

4.3 SELECCIÓN DE LOS POSIBLES CENTROS DE DISTRIBUCIÓN

Como ya se ha mencionado anteriormente que este trabajo no esta basado en un caso practico real, hemos seleccionado como posibles centros de distribución las diferentes tiendas de conveniencia esparcidas a lo largo de los municipios, ya que esto nos permitirá contar con diferentes opciones para la experimentación.

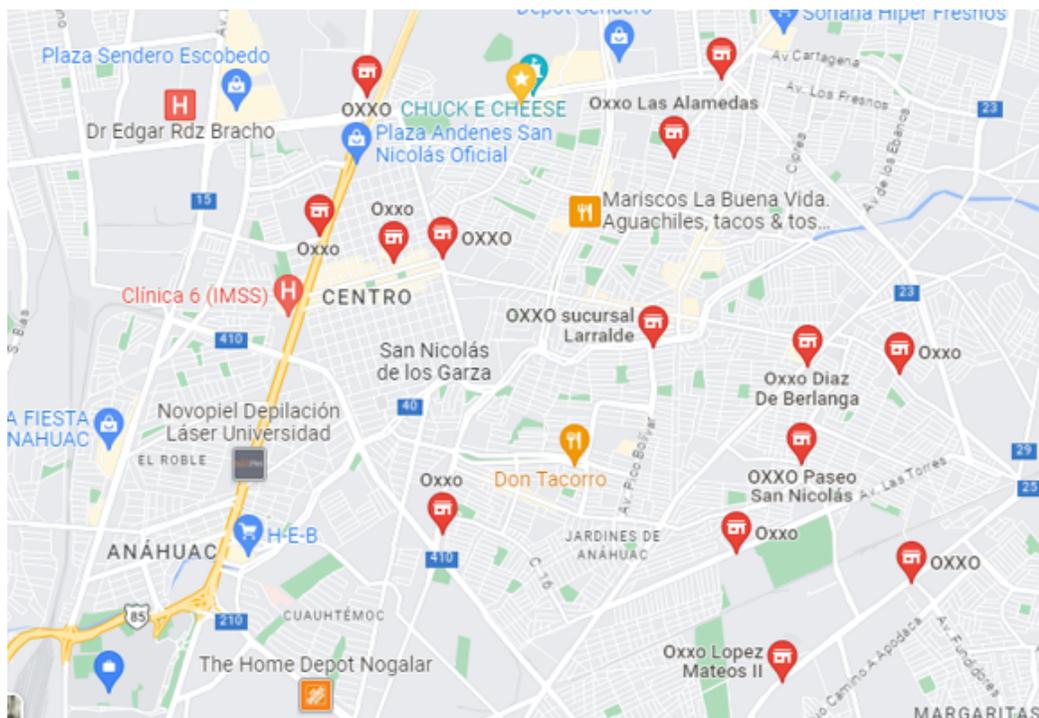


FIGURA 4.4: Los puntos rojos indican las tiendas de conveniencia dentro del municipio de San Nicolás de Los Garza como posibles ubicaciones de centros de distribución. Fuente: Google Maps.

En el caso de San Nicolás de los Garza se ha seleccionado un total de 52 posibles centros de distribución y para Monterrey 102. Es importante mencionar que la variación en la cantidad de posibles centros de distribución radica en la grandeza del

área a operar de cada municipio, así mismo aclarar que dichas cifras no corresponden a la totalidad de centros de conveniencia en dichos lugares, sino que corresponden a una muestra que fue seleccionada tomando en cuenta la mayoría de las zonas, es decir, se contempló no discriminar ninguna zona y seleccionarlas de manera equitativa dentro de toda el área.

La información anterior se ha obtenido utilizando los servicios de Google Maps, los cuales nos brindan la ubicación exacta de las diferentes tiendas de conveniencia en los municipios.

4.4 COLOCACIÓN DE DATOS INICIALES

Teniendo ya los posibles puntos tanto de clientes como de centros de distribución, es necesario acomodarlos de tal manera que sea posible interpretarlo. Para este fin fue utilizado una hoja de Excel como se muestra en la figura 4.5.

	A	B	E	F	G	H	I
1	from_node	to_node	distance	travel_time	distance_text	duration_text	city_id
2	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64000, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
3	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64010, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
4	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64018, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
5	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64019, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
6	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64020, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
7	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64030, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
8	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64040, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
9	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64049, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
10	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64050, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
11	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64060, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
12	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64070, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
13	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64100, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
14	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64102, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
15	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64103, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
16	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64104, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1
17	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64105, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico					1

FIGURA 4.5: Acomodo de datos para su ingreso en un código de Python. Fuente: Elaboración propia.

Entonces se entienda para la tabla de la figura 4.5:

- **from_node:** Ubicación exacta del posible centro de distribución obtenida a través de Google Maps.
- **to_node:** Código postal, junto con el municipio, estado y país, esto para que

Google Maps lo pueda ubicar mas facilmente.

- **distance:** Distancia en metros del centro de distribución al centro de gravedad del código postal.
- **travel_time:** Tiempo de recorrido en segundos desde el centro de distribución al centro de gravedad del código postal.
- **distance_text:** Distancia del centro de distribución al centro de gravedad del código postal en kilometros.
- **duration_text:** Tiempo de recorrido en minutos desde el centro de distribución al centro de gravedad del código postal.
- **city_id:** Identificador del numero de centro de distribución.

En este punto los campos de `distance`, `travel_time`, `distance_text` y `duration_text` deberán estar vacíos, ya que mas adelante el servicio de distance matrix de Google Maps nos brindará dichos datos.

4.5 USO DE EL SERVICIO DE DISTANCE MATRIX DE GOOGLE MAPS

Como se observa en el código de la apendice A.2, se tiene ya en el código importado el archivo de Excel con el nombre «`distance_format.csv`» el cual contiene los datos mencionados en la sección anterior.

Al correr el código obtendremos un nuevo archivo en Excel con los datos de los tiempos y distancias de traslado de los diferentes puntos.

Es importante mencionar que el uso de los servicios de Distance Matrix no son gratuitos, aunque Google brinda un crédito gratuito mensual de 200 dolares, lo cual permite realizar trabajos no tan extensos sin ningún costo.

	A	B	E	F	G	H	I
1	from_node	to_node	distance	travel_time	distance_text	duration_text	city_id
2	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64000, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	18988	1851	19.0 km	31 mins	1
3	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64010, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	20635	2180	20.6 km	36 mins	1
4	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64018, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	23533	2138	23.5 km	36 mins	1
5	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64019, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	24344	2059	24.3 km	34 mins	1
6	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64020, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	14806	1394	14.8 km	23 mins	1
7	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64030, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	16155	1467	16.2 km	24 mins	1
8	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64040, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	16571	1538	16.6 km	26 mins	1
9	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64049, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	18435	1681	18.4 km	28 mins	1
10	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64050, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	17037	1493	17.0 km	25 mins	1
11	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64060, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	17527	1557	17.5 km	26 mins	1
12	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64070, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	19223	1641	19.2 km	27 mins	1
13	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64100, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	6108	916	6.1 km	15 mins	1
14	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64102, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	3039	481	3.0 km	8 mins	1
15	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64103, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	1276	252	1.3 km	4 mins	1
16	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64104, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	6674	1017	6.7 km	17 mins	1
17	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64105, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	5739	812	5.7 km	14 mins	1
18	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64106, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	4781	755	4.8 km	13 mins	1
19	Ave. Abraham Lincoln, Av San Bernabe 5797-A, Topo Chico, 64107 Monterrey, N.L.	64107, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico	5677	837	5.7 km	14 mins	1

FIGURA 4.6: Hoja de datos obtenida con datos completos. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es ingresar los datos a un código en java, pero para esto es necesario transferir los datos obtenidos a un formato que java pueda leer. Para lograr esto, se necesita pasar los datos de la hoja de excel a un archivo con extensión txt. El primero paso consiste en reacomodar los datos obtenidos en la hoja de excel a un formato donde en las columnas se muestren los códigos postales y en las filas se muestren las direcciones de los posibles centros de distribución y en las intersecciones de ambos se coloque el tiempo entre esos puntos, quedando la tabla como se muestra en la figura 4.7.

Ya ordenados los datos, se crea un archivo de texto en bloc de notas donde se transfirieron únicamente los datos de los tiempos, utilizando solamente números, tal y como se muestra en la figura 4.8, esto permite al código del algoritmo genético escrito en Java interpretar la información correctamente ya que es parte de los datos de entrada.

4.6 RESULTADOS OBTENIDOS

La respuesta brindada al correr el código es a través de vectores, cada vector está representado por números binarios, y su posición está ligada a la posición que ocupan en el archivo de texto que se ingresó al código. Al obtener un numero uno,

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		66409, San N	66410, San N	66412, San N	66413, San N	66414, San N	66415, San N	66417, San N	66418, San N	66420, San N
2	Calle Benito	8 mins	16 mins	8 mins	9 mins	8 mins	15 mins	11 mins	9 mins	4 mins
3	Miguel Hidal	4 mins	11 mins	4 mins	4 mins	4 mins	11 mins	10 mins	7 mins	7 mins
4	Av Arturo B.	6 mins	10 mins	6 mins	3 mins	2 mins	9 mins	7 mins	5 mins	9 mins
5	Av. Santo Do	6 mins	6 mins	6 mins	4 mins	6 mins	5 mins	7 mins	8 mins	11 mins
6	Av. Las Puen	6 mins	8 mins	6 mins	7 mins	8 mins	7 mins	10 mins	11 mins	11 mins
7	C. 16 1200-1,	10 mins	15 mins	10 mins	12 mins	13 mins	15 mins	15 mins	16 mins	12 mins
8	Pascasio Luis	14 mins	14 mins	14 mins	14 mins	15 mins	12 mins	17 mins	18 mins	19 mins
9	Av. Manuel L	12 mins	14 mins	12 mins	13 mins	13 mins	15 mins	10 mins	8 mins	4 mins
10	Fray Luis de	12 mins	19 mins	12 mins	12 mins	12 mins	18 mins	14 mins	13 mins	6 mins
11	Republica M	8 mins	14 mins	8 mins	11 mins	11 mins	14 mins	14 mins	15 mins	10 mins
12	Esquina Ave	11 mins	18 mins	11 mins	12 mins	12 mins	18 mins	15 mins	13 mins	8 mins
13	Bengali 101,	11 mins	18 mins	11 mins	12 mins	12 mins	18 mins	14 mins	12 mins	8 mins
14	Av San Nicol	7 mins	15 mins	7 mins	10 mins	10 mins	14 mins	15 mins	14 mins	9 mins
15	Lope de Veg	10 mins	17 mins	10 mins	10 mins	10 mins	16 mins	12 mins	10 mins	6 mins
16	Av. Cordiller	6 mins	11 mins	6 mins	8 mins	9 mins	10 mins	11 mins	12 mins	10 mins
17	Av. Topo Chi	12 mins	14 mins	12 mins	12 mins	12 mins	19 mins	10 mins	9 mins	5 mins
18	Av San Nicol	7 mins	15 mins	7 mins	10 mins	10 mins	14 mins	15 mins	14 mins	9 mins
19	Av. Santo Do	3 mins	8 mins	3 mins	2 mins	3 mins	8 mins	7 mins	7 mins	9 mins
20	Lagrange, Av	1 min	12 mins	1 min	6 mins	7 mins	12 mins	11 mins	10 mins	6 mins
21	Cd Futuro Nc	15 mins	22 mins	15 mins	17 mins	17 mins	22 mins	20 mins	18 mins	13 mins
22	Av. Londres,	21 mins	19 mins	21 mins	20 mins	24 mins	21 mins	26 mins	25 mins	20 mins

FIGURA 4.7: Hoja de datos obtenida con datos ordenados. Fuente: Elaboración propia.

datosmty.txt: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
31	36	36	34	23
36	40	41	39	29
34	38	38	34	26
25	30	29	28	17
35	39	39	35	27
29	34	38	34	26
22	27	27	27	14
23	29	29	29	18
23	29	29	29	18
23	29	29	28	17
21	27	27	27	15
23	26	25	28	16
22	26	26	26	15
19	23	24	24	12
18	24	24	23	11
16	12	13	12	19
17	21	22	17	9
18	22	21	17	9
16	20	19	16	8
15	19	22	18	10
14	19	23	17	9
15	19	22	18	10
12	16	18	20	9

Línea 1, columna 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

FIGURA 4.8: Datos colocados en un archivo de texto. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Este trabajo habla en profundidad sobre la logística de la última milla en el contexto del comercio electrónico en México. A través de la implementación de algoritmos genéticos y el uso de la Distance Matrix de Google Maps, se han identificado y evaluado estrategias para la selección de puntos de distribución. Los resultados han demostrado una mejora significativa en la eficiencia de la distribución, mejorando los tiempos de entrega y disminuyendo el número necesario de centros de distribución.

Al comparar estos hallazgos con los objetivos iniciales, se evidencia que la investigación ha cumplido con su propósito de mejorar la comprensión y ejecución de la logística de última milla. La hipótesis de que el uso de algoritmos genéticos y herramientas avanzadas de mapeo podría mejorar significativamente la distribución ha sido ampliamente apoyada por los resultados obtenidos.

Desde una perspectiva práctica, este estudio ofrece perspectivas valiosas para las empresas de comercio electrónico en México. La implementación de estas estrategias no solo puede mejorar la eficiencia operativa, sino también aumentar la satisfacción del cliente al asegurar entregas más rápidas y confiables.

A pesar de sus contribuciones, este estudio tiene limitaciones. Las técnicas de muestreo y los modelos algorítmicos empleados pueden no capturar completamente la complejidad y variabilidad del entorno de distribución real. Por lo tanto, los

resultados deben interpretarse con cautela y en el contexto de estas limitaciones.

El problema de localización de centros de distribución en esta tesis permite comprender un poco más sobre como la correcta ubicación puede ayudar o perjudicar cualquier operación dentro de la logística de última milla, por ello la importancia de que cualquier empresa que esté interesada en ofrecer servicios de «Q-commerce» realice una correcta planeación de su logística de última milla incluido, por supuesto, la correcta ubicación de sus centros de distribución.

5.1 TRABAJO A FUTURO

Futuras investigaciones podrían explorar la aplicación de técnicas de aprendizaje automático más avanzadas o la integración de modelos de simulación más realistas. Además, sería valioso extender este estudio a diferentes regiones geográficas para validar la generalización de los resultados.

Como primera línea de investigación para mejorar el código actual, se buscaría la integración del código que permite obtener los datos de los tiempos de traslado con el servicio de Distance Matrix del API de Google Maps y el código que ejecuta el algoritmo genético.

Así mismo se podría buscar que el código permita realizar un ruteo a partir de la ubicación dada de los centros de distribución.

APÉNDICE A

CÓDIGOS Y ALGORITMOS

A.1 ALGORITMO DE SELECCIÓN DE PUNTOS DE REFERENCIA PARA ENTREGA EFICIENTE

A.1.0 ENTRADAS:

- Lista de posibles clientes con coordenadas geográficas
- Datos de interés del área a atender (conjuntos habitacionales, códigos postales)
- Estudio previo de demanda, si está disponible

A.1.0 PROCESO:

if hay un estudio previo de demanda **then**

- Identificar las áreas de mayor demanda según el estudio.
- Establecer puntos de referencia prioritarios en estas áreas.

else

- Dividir el área en conjuntos habitacionales o códigos postales.

```
end if
for cada conjunto habitacional o código postal do
    - Calcular el centroide del polígono como el punto de referencia.
end for
```

A.1.0 SALIDA:

- Lista de puntos de referencia priorizados para garantizar entregas eficientes.

A.1 PSEUDOCÓDIGO EN MARKDOWN

Inicio del Algoritmo

Función CalcularCentroide(poligono):

```
// Lógica para calcular el centroide de un polígono
// Devolver las coordenadas del centroide
```

ListaPuntosReferencia = []

Para cada conjunto_habitacional o código_postal en ÁreaATender:

Si hay_estudio_previo:

Si conjunto_habitacional o código_postal está en_área_de_mayor_demanda:

Agregar CalcularCentroide(conjunto_habitacional o código_postal) a ListaP

Sino:

Agregar CalcularCentroide(conjunto_habitacional o código_postal) a ListaP

Fin del Algoritmo

A.2 USO DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS A TRAVÉS DE UN CÓDIGO EN JAVA

Se utilizó el siguiente código para la solución del problema, el cual utiliza algoritmos genéticos.

```
package algoritmogenetico;

class AlgoritmoGenetico {

    int nGen;
    int nPop;
    int nGeneraciones;
    int nSel;
    double pCruza;
    double pMutacion;
    int poblacion[][];
    double aptitud[];
    int seleccionados[][];
    funcionObjetivo f;

    public AlgoritmoGenetico(int nGen, int nPop, int
        ↪ nGeneraciones, int nSel, double pCruza, double
        ↪ pMutacion, funcionObjetivo f) {
        this.nGen = nGen;
        this.nPop = nPop;
        this.nGeneraciones = nGeneraciones;
        this.nSel = nSel;
        this.pCruza = pCruza;
        this.pMutacion = pMutacion;
```

```
poblacion = new int[nPop][nGen];
aptitud = new double[nPop];
seleccionados = new int[nSel][nGen];
this.f = f;
}

void iniciaPoblacion() {
    for (int i = 0; i < nPop; i++) {
        for (int j = 0; j < nGen; j++) {
            if (Math.random() < 0.5) {
                poblacion[i][j] = 0;
            } else {
                poblacion[i][j] = 1;
            }
        }
    }
}

void normalizaAptitud(double newMax, double newMin) {
    double min, max, factor;
    min = max = aptitud[0];

    for (int i = 1; i < nPop; i++) {
        if (aptitud[i] < min) {
            min = aptitud[i];
        }
        if (aptitud[i] > max) {
            max = aptitud[i];
        }
    }

    if (min == max) {
```

```
        return;
    }

    factor = (newMax - newMin) / (max - min);
    for (int i = 0; i < nPop; i++) {
        aptitud[i] = factor * (aptitud[i] - min) + newMin;
    }
}

void seleccionUniversal() {
    int contador;
    double min, max, delta, flecha, total, acumulado;
    min = max = total = acumulado = aptitud[0];

    for (int i = 1; i < nPop; i++) {
        if (aptitud[i] < min) {
            min = aptitud[i];
        }
        if (aptitud[i] > max) {
            max = aptitud[i];
        }
        total += aptitud[i];
    }

    delta = total / nSel;
    flecha = Math.random() * delta;
    contador = 0;
    for (int i = 0; i < nSel; i++) {
        while (acumulado < flecha) {
            contador++;
            acumulado += aptitud[contador];
        }
    }
}
```

```
        flecha += delta;
        System.arraycopy(poblacion[contador], 0,
            ↪ seleccionados[i], 0, nGen);
    }

}

void cruzaUnPunto(int[] p1, int[] p2, int[] h1, int[] h2)
    ↪ {
    int punto;
    punto = (int) (Math.random() * (nGen - 1)) + 1;

    System.arraycopy(p1, 0, h1, 0, punto);
    System.arraycopy(p2, 0, h2, 0, punto);
    System.arraycopy(p1, punto, h2, punto, nGen - punto);
    System.arraycopy(p2, punto, h1, punto, nGen - punto);
}

void cruzaPoblacion() {
    int p1, p2;
    for (int i = 0; i < nPop / 2; i++) {
        p1 = (int)( Math.random() * nSel );
        do {
            p2 = (int) (Math.random() * nSel);
        } while (p1 == p2);
        if (Math.random() < pMutacion) {
            cruzaUnPunto(seleccionados[p1], seleccionados[
                ↪ p2], poblacion[2 * i], poblacion[2 * i +
                ↪ 1]);
        } else {
            System.arraycopy(seleccionados[p1], 0,
                ↪ poblacion[2*i], 0, nGen);
        }
    }
}
```

```
        System.arraycopy(seleccionados[p2], 0,
            ↪ poblacion[2*i+1], 0, nGen);
    }
}

void mutaPoblacion() {
    int bit;
    for (int i = 0; i < nPop; i++) {
        if (Math.random() < pMutacion) {
            bit = (int) (Math.random() * nGen);
            poblacion[i][bit] = 1 - poblacion[i][bit];
        }
    }
}

void evaluaAptitud() {
    for (int i = 0; i < nPop; i++) {
        aptitud[i] = f.evalua(poblacion[i]);
    }
    normalizaAptitud(2, 1);
}

void ejecutar() {
    this.iniciaPoblacion();
    this.evaluaAptitud();
    for (int i = 0; i < nGeneraciones; i++) {
        this.seleccionUniversal();
        this.cruzaPoblacion();
        this.mutaPoblacion();
        this.evaluaAptitud();
    }
}
```

```
    }
    imprimePoblacion();
}

void imprimePoblacion() {
    double cont = 0;
    for (int[] is : poblacion) {
        for (int i : is) {
            System.out.print(i + " ");
        }
        cont += f.evalua(is);
        System.out.println(f.evalua(is));
    }
    System.out.println("Cont:" + cont);
}
}
...
}

package algoritmogenetico;

import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.util.Scanner;

public class Datos {
    ...
    public static void main(String[] args) {

        String archivo = "C:\\Users\\suil3\\OneDrive\\
        ↪ Escritorio\\datosmt.txt";
    }
}
```

```
try {
    File file = new File(archivo);
    Scanner scanner = new Scanner(file);

    while (scanner.hasNextLine()) {
        double numero = scanner.nextDouble();
        System.out.println("Numero: " + numero);
    }

    scanner.close();
} catch (FileNotFoundException e) {
    System.out.println("No se pudo encontrar el
        ↪ archivo: " + archivo);
    e.printStackTrace();
}
}
...
}

package algoritmogenetico;

public class PruebaGenetico {
    ...
    public static void main(String[] args) {
        funcionObjetivo f = new SumaUnos(52, 66, 15, "C:\\
            ↪ Users\\suil3\\OneDrive\\Escritorio\\datos.txt");

        AlgoritmoGenetico ag = new AlgoritmoGenetico(52, 100,
            ↪ 400, 25, 0.9, 0.1, f);
        ag.ejecutar();
    }
    ...
}
```

```
}  
  
package algoritmogenetico;  
  
import java.io.File;  
import java.io.FileNotFoundException;  
import java.util.Scanner;  
  
public class SumaUnos extends funcionObjetivo {  
    ...  
    abstract double evalua(int [] x);  
    ...  
}
```

Dentro del código anterior se incluye una ruta al archivo `datos.txt` el cual hace referencia al archivo creado en la sección anterior.

Así mismo dentro de la clase `Prueba Genético`; en la variable `SumaUnos` es importante aclarar el significado de los valores indicados:

- **52**: Número de posibles centros de distribución.
- **66**: Número de códigos postales.
- **15**: Tiempo máximo en minutos que debe tardar el repartidor en ir del centro de distribución al centro de gravedad del código postal.

Estos valores pueden ser cambiados según el contexto y las necesidades requeridas.

Al ejecutar el código anterior se obtuvo una respuesta numérica que al ser interpretada, brinda la información de al menos cuantos y cuales centros de distribución deben de ser considerados para una correcta operación con el mínimo número de centros de distribución.

A.3 USO DE CÓDIGO PARA GOOGLE MAPS API DISTANCE MATRIX

Se ha utilizado el siguiente código para utilizar los servicios de Distance Matrix de Google Maps y así obtener los tiempos y distancias de traslado:

```
# Instalaci n del paquete googlemaps
!pip install googlemaps

import googlemaps
from datetime import datetime

# Configuraci n del cliente de Google Maps
gmaps_client = googlemaps.Client(key='
    ↪ AIzaSyCEPnT_10LzXY_Kv8kKwWd2_COEz4tB00Q')

# Obtenci n de la fecha y hora actual
now = datetime.now()

# Defini ci n de origen y destino para ejecutar una prueba (
    ↪ pueden ser cualquier lugar)
source = "walmart express, monterrey, nuevo leon, mexico"
destination = "Walmart la fe, nuevo leon, mexico"

# Solicitud de direcciones
direction_result = gmaps_client.directions(source, destination
    ↪ ,
                                           mode="driving",
                                           ↪ avoid="
                                           ↪ ferries",
```

```
departure_time=now,  
    ↪ transit_mode  
    ↪ ='bus')  
  
# Impresi n de distancia y duraci n  
print(direction_result[0]['legs'][0]['distance'])  
print(direction_result[0]['legs'][0]['duration'])  
  
# Importaci n de pandas y numpy  
import pandas as pd  
import numpy as np  
  
# Configuraci n del cliente de Google Maps (repetido)  
gmaps_client = googlemaps.Client(key='Llave utilizada')  
  
# Lectura de un archivo CSV  
df = pd.read_csv('distance_format.csv')  
  
# Inicializaci n de columnas  
df['distance_text'] = np.nan  
df['duration_text'] = np.nan  
  
# Defini ci n del tiempo de inicio  
start_time = now  
  
# Visualizaci n de las primeras filas del DataFrame  
df.head()  
  
# Bucle para calcular distancia y duraci n entre nodos  
for index, row in df.iterrows():  
    if row['from_node'] != row['to_node']:
```

```
direction_result = gmaps_client.directions(row['
    ↪ from_node'], row['to_node'],
                                           mode="
                                               ↪ driving
                                               ↪ ",
                                               ↪ avoid=
                                               ↪ "
                                               ↪ ferries
                                               ↪ ",
                                           departure_time
                                               ↪ =
                                               ↪ start_time
                                               ↪ )

df.loc[index, 'distance'] = direction_result[0]['legs'
    ↪ ][0]['distance']['value']
df.loc[index, 'travel_time'] = direction_result[0]['
    ↪ legs'][0]['duration']['value']
df.loc[index, 'distance_text'] = direction_result[0]['
    ↪ legs'][0]['distance']['text']
df.loc[index, 'duration_text'] = direction_result[0]['
    ↪ legs'][0]['duration']['text']

# Exportacion a Excel
df_excel = df.to_excel("Datos.xlsx")
```

BIBLIOGRAFÍA

- AHMED, M. M. . S. R., L. (2007), «An Application of Genetic Algorithm in Solving the Location Problem», *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*.
- AHUJA, R. K., T. L. MAGNANTI y J. B. ORLIN (1993), *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall.
- AMVO (2021), «Crecimiento de comercio electrónico en América Latina», recurso libre, disponible en <https://www.amvo.org.mx/blog/crecimiento-de-comercio-electronico-en-america-latina/>.
- ARIFAH, S. E., I.D.C. y F. SAMOPA (2022), «Quick-commerce applied to the wholesaler’s market in Portugal the case of Recheio Express», .
- BERGER, R. (2020), «Wie Marken und Einzelhändler die D2C Geschäftsmodellen mit Covid-19 auf den Kopf stellen», .
- BFS (2021), «E-Commerce und E-Banking», .
- BLUM, C. y A. ROLI (2003), «Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison», *ACM Computing Surveys*, **35**(3), págs. 268–308.
- BOYSEN, N., S. FEDTKE y S. SCHWERDFEGER (2021), «Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective», *OR Spectrum*.
- CANTÚ-PAZ, E. (2000), *Efficient and Accurate Parallel Genetic Algorithms*, Kluwer Academic Publishers.

- DASKIN, M. S. (1995), *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*, John Wiley & Sons.
- DEB, K. (2001), *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, John Wiley & Sons.
- DREZNER, . H. H. W., Z. (2002), «Facility Location: Applications and Theory», *Springer-Verlag*.
- EMARKETER (2022), «Leading countries based on retail e-commerce sales growth in 2022», recurso libre, disponible en <https://www.statista.com/statistics/266064/revenue-growth-in-e-commerce-for-selected-countries/>.
- EUROSTAT (2020), «Digital economy and society statistics - households and individuals», .
- FRANCIS, R. L. y L. F. MCGINNIS (1984), *Facilities Location: Models and Methods*, North-Holland.
- GENDREAU, . P. J. Y., M. (2010), *Handbook of Metaheuristics*, Springer.
- GEOFFRION, A. M. y G. W. GRAVES (1974), «Multicommodity distribution system design by Benders decomposition», *Management Science*, **20**(5), págs. 822–844.
- GOLDBERG, D. E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley.
- HASLE, G., K.-A. LIE y E. QUAK (2007), *Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization*, Springer and Berlin and Heidelberg.
- HERO, D. (2020), «Quick Commerce: Pioneering the next generation of delivery», .
- HERRERA, F., M. LOZANO y J. L. VERDEGAY (1998), «Tackling Real-Coded Genetic Algorithms: Operators and Tools for Behavioral Analysis», *Artificial Intelligence Review*, **12**(4), págs. 265–319.

- HOLLAND, J. H. (1975), «Adaptation in Natural and Artificial Systems», *University of Michigan Press*.
- IEEPCNL (), URL <https://portalanterior.ieepcnl.mx/geografia/municipiosn.asp>.
- INEGI (2019), «Comercio Electrónico», *Informe técnico*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- KPMG (2021), «Coronavirus pandemic permanently changes buying patterns in Switzerland», .
- LAPORTE, G. (2003), *Location, Transport and Land-Use: Modelling Spatial-Temporal Information*, Springer.
- LIM, S. F. W., J. XIN y J. SRAI (2015), «Last-mile logistics models: A literature review and design guideline», .
- MELACHRINOUDIS, . X. P., E. (2005), «A comparative study on relocation of a continuous facility location problem», *European Journal of Operational Research*.
- MIGROS (2021), «Unternehmensgeschichte», .
- MITCHELL, M. (1998), *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press.
- MÜLLER-SARMIENTO (2021), «The convenience megatrend accelerates quick commerce, Roland Berger», .
- NEMHAUSER, . W. L. A., G. L. (1988), «Integer and Combinatorial Optimization», *Wiley*.
- OLMEDO, S. A. R. (2007), *Tratado práctico de los transportes en México: Logística para los mercados globales*, Editorial 20+1.
- REVELLE, E. H. A. . D. M., C. (2008), «A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science», *European Journal of Operational Research*.

RODRIGUE, J.-P. (2020), *The Geography of Transport Systems*, Routledge.

STATISTA (2019), «E-Commerce purchase rate of food and groceries in Europe by country», .

SYSWERDA, G. (1991), «Schedule Optimization Using Genetic Algorithms», en L. Davis (editor), *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold.

TOREGAS, C., R. SWAIN, C. REVELLE y L. BERGMAN (1971), «The Location of Emergency Service Facilities», *Operations Research*, **19**(6), págs. 1363–1373.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Luis Eduardo García Gómez

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

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

LOGÍSTICA DE PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN PARA COMERCIO
ELECTRÓNICO EN LA ÚLTIMA MILLA

Nacido en Durango, Durango, el 10 de marzo de 1997, mis padres Javier Eduardo Garcia Santoyo y Rosa Maria Gomez Herrera quienes amorosamente han dado todo por mi. Ingeniero en transporte orgullosamente egresado del Instituto Politécnico Nacional y técnico en programación por el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios número 130.