



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS
PERECEDEROS EN EL CENTRO
HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE
MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

INGENIERÍA DE SISTEMAS - INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

P R E S E N T A :

PAULA DE LA LAMA ZUBIRÁN

TUTOR:

DRA. ANGÉLICA DEL ROCIO LOZANO CUEVAS

AÑO

2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: **Dr. Aceves García Ricardo**

Secretario: **Dra. Elizondo Cortes Mayra**

Vocal: **Dra. Lozano Cuevas Angélica del Rocío**

1^{er.} Suplente: **Dr. Dartois Giraldeau Yves Georges**

2^{do.} Suplente: **M. I. Granados Villafuerte Francisco**

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:
C. U. UNAM, México D. F.

TUTOR DE TESIS:

Dra. Lozano Cuevas Angélica del Rocío

A mi Apá, mi mamá,
mi hermano y en especial
a mi abuelo

Índice

Introducción.....	1
1. El Centro Histórico de la Ciudad de México	7
1.1. Antecedentes Históricos	7
1.2. Problemática del Centro Histórico de la Ciudad de México	13
Conflicto Vehicular	13
Otras obstrucciones al tráfico vehicular	14
2. Distribución de verduras a restaurantes del CHCM	19
2.1. Descripción del Problema	19
2.2. La situación actual	20
2.3. Restaurantes gourmet en el CHCM	23
2.4. Selección del vehículo para la distribución de vegetales	26
2.5. Investigación del mercado de vegetales	27
Plan para aplicar la entrevista	28
Descripción del cuestionario	29
Análisis de respuestas	30
2.6. Situación con Centro Logístico	39
Producto	41
2.7. Problema-modelo	42
3. El Problema Teórico de Rutas de Distribución	45
3.1. Problema Agente Viajero	46
3.2. Problema de Rutas de Vehículos (VRP).....	48

3.3.	Problema de Rutas de Vehículos con Restricciones de Capacidad (CVRP).....	50
3.4.	VRP con Ventanas de Tiempo	52
3.5.	Técnicas de Solución	56
4.	Generación de un Sistema de Información Geográfica para Transporte (SIG-T)	59
4.1.	Sistema de Información Geográfica (SIG)	59
	SIG-T y TransCAD©	62
4.2.	Representación de la Red vial del CHCM	64
4.3.	Representación de los Restaurantes Gourmets	72
5.	Rutas Óptimas de Distribución de Verduras Precortadas en el CHCM..	79
5.1.	La Selección de la Ubicación del Centro Logístico	79
5.2.	Rutas para Distribuir del Centro de Logístico a los Restaurantes.....	89
5.3.	Distribución a los Restaurantes mediante Dos Rutas	90
5.3.1.	Minimización del tiempo de recorrido con dos rutas, una en la mañana y otra en la tarde	91
5.3.2.	Minimización del tiempo de recorrido con dos rutas y considerando tráfico	94
5.3.3.	Comparación de las dos rutas con mínimo tiempo de recorrido, con y sin considerar tráfico	98
5.3.4.	Minimización de la distancia recorrida con dos rutas, una en la mañana y otra en la tarde	99
5.3.5.	Minimización de la distancia de recorrido con dos rutas y considerando tráfico	102

5.3.6. Comparación de las dos rutas con mínima distancia recorrida, con y sin considerar tráfico	105
5.4. Distribución a los Restaurantes mediante una ruta	106
5.4.1. Minimización del tiempo de recorrido con una ruta	107
5.4.2. Minimización del tiempo de recorrido con una ruta y considerando tráfico	109
5.4.3. Comparación de las dos rutas con tiempo mínimo de recorrido, con y sin considerar tráfico	111
5.4.4. Minimización de la distancia recorrida con una ruta	113
5.4.5. Minimización de la distancia de recorrido con una ruta, considerando tráfico	116
5.5. Comparación de las rutas	117
Conclusiones	119
Referencias	123
Anexo	126

Introducción

Dado que ingresé al Instituto de ingeniería de la UNAM, en calidad de becaria, con la Dra. Lozano conseguí conocer, trabajar, interesarme e incluso apasionarme por las posibilidades que encierran los Sistemas de Información Geográfica para el transporte (SIG-T). Con el transcurrir de los meses nació la idea de unir varios trabajos sobre el Centro histórico de la Ciudad de México que se habían llevado a cabo en el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales (LTST) y acoplarlo con las tendencias globales que plantean crear e integrar centros logísticos de distribución. Estos Centros Logísticos (CL) además de dar un valor agregado a las mercancías, a través de crear productos semielaborados, también permiten diseñar planes para optimizar y hacer más eficaz el proceso de distribución de dichos productos. Esta combinación de desafíos fue lo que dio la motivación suficiente para desarrollar este trabajo.

La idea es desarrollar un producto -una ensalada de verduras- la cual pasa por un proceso de limpieza y de eliminación de la cáscara, para después ser cortadas y embolsadas. De esta manera, crear una ensalada cruda que, a su vez, permita hacer sopas o ensaladas como producto final.

Aunado al proceso de incorporación de valor agregado de las materias primas, se buscó encontrar la ruta óptima entre la Central de Abastos y el Centro Logístico y a su vez, entre el Centro Logístico y los restaurantes involucrados en esta experiencia. Los restaurantes seleccionados son clasificados como “Gourmets” y están ubicados en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

El análisis consideró ocho diferentes situaciones de restricciones en la distribución, tomando en cuenta los requerimientos que cada uno de los consumidores para recibir la mercancía involucrada. Los requisitos incluidos fueron los siguientes:

- Los horarios de entrega,
- La cantidad de producto por paquetes,
- Las direcciones donde se reciben los pedidos,
- Los ejes viales, las avenidas y las calles implicadas y su sentido de circulación.

Para conocer cuáles eran los productos que más convenía surtir a los clientes, así como para identificar los diferentes requerimientos de cada restaurante, se realizó una investigación de mercado. Además, se estudiaron las características y exigencias de la zona para seleccionar el vehículo óptimo para que la operación cumpliera con las necesidades de los clientes, las exigencias del reglamento de tránsito y aprovechara las nuevas normas de tráfico de la zona.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue:

Identificar las rutas que optimicen tiempo o distancia, para uno o varios vehículos que salgan de un Centro Logístico ubicado entre la Central de Abastos y el CHCM, y distribuyan a los clientes (restaurantes) en este último.

Los objetivos específicos de esta investigación fueron:

- Conocer cuál es el producto que se va a distribuir a los diferentes restaurantes del Centro Histórico.
- Determinar cuál es la demanda de estos productos por establecimiento.
- Conocer cuáles son los requerimientos necesarios para satisfacer las necesidades de los clientes.
- Encontrar cuál o cuáles son las rutas óptimas para la distribución del producto en el Centro Histórico de la Ciudad de México.
- Dar opciones para reducir el tráfico del Centro Histórico de la ciudad de México (CHCM).

El estudio se compone de cinco capítulos y un apartado de conclusiones. Los resúmenes de los mismos y los métodos empleados en este estudio se presentan a continuación.

El Capítulo 1 describe brevemente las características del Centro Histórico de la Ciudad de México (CHCM). Se trata de un valioso centro de atracción cultural, comercial y cívica tanto para las personas que residen en la ciudad como para visitantes locales y extranjeros. También menciona que pese al deterioro social y patrimonial que se dio en el siglo XX, el Centro de la Ciudad ha sido catalogado como “Patrimonio Cultural de la Humanidad”, gracias a los actuales esfuerzos del gobierno local y federal. Otro punto que toca este capítulo son los diversos conflictos vehiculares que presenta esta zona, debido al trazo antiguo de sus calles.

El Capítulo 2 presenta la situación actual de los restaurantes en el CHCM. Describe el proceso por el cual los restaurantes se aprovisionan de las materias primas compradas en la central de Abastos, sea que las adquieran ellos mismos o las compren de algún proveedor. Así mismo, sitúa geográficamente a la Central de Abastos de la ciudad de México y establece la distancia que hay entre ella y el CHCM. Después, describe cómo se hizo la elección de los restaurantes gourmets de la zona y explica los criterios para seleccionar los vehículos que se deben utilizar para la distribución de las mercancías. Los resultados de una serie de entrevistas personales a través de un cuestionario, se presentan por medio de cuadros que muestran la demanda efectiva de vegetales. Los resultados de esta encuesta permitieron modelar y cuantificar la situación de los restaurantes gourmets que existían en el año 2008.

El Capítulo 3 muestra las diferentes situaciones que la realidad presenta, como son los horarios de recepción de mercancía, los límites de capacidad de los automotores, de los restaurantes y el tránsito. Estas variables se transformaron

en restricciones que se aplicaron a los modelos matemáticos utilizados. El capítulo da a conocer los modelos matemáticos de Programación lineal que se utilizan para representar este tipo de problemas, desde los más generales como es el “Problema del Agente Viajero (TSP)” y el “problema de rutas de Vehículos (VRP)”, hasta el “VRP con ventanas de tiempo”. Para terminar el capítulo se describen brevemente algunas técnicas heurísticas que dan soluciones más rápidas a estos problemas, entre ellas “la búsqueda tabú”, el “recocido simulado”, “colonia de hormigas” y “computación evolutiva”.

Como instrumento para resolver el problema de esta investigación se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual se describe en el Capítulo 4. Más específicamente se utilizó un Sistema de Información Geográfica para transporte (SIG-T) llamado TransCAD©. Aquí se describe la representación de la Red vial del CHCM con sus diferentes atributos (vialidades, dirección del tránsito, caminadores, entre otros) y se explica el contenido de la base de datos que se desarrolló, tanto para los restaurantes gourmets como para el Centro Logístico.

En el Capítulo 5 se describen los resultados de las rutas obtenidas mediante el programa TransCAD©. Se presentan ocho escenarios potenciales para distribuir verduras precortadas en el Centro Histórico. Éstos son:

- Minimización del *tiempo* de recorrido a flujo libre en las calles, con dos rutas de distribución.
- Minimización del *tiempo* de recorrido con tráfico, mediante dos rutas.
- Minimización de la *distancia* de recorrido a flujo libre, mediante dos rutas.
- Minimización de la *distancia* de recorrido con tráfico, mediante dos rutas.

- Minimización del *tiempo* de recorrido a flujo libre con una ruta (lo que significa que no hay restricciones de tiempo).
- Minimización del *tiempo* de recorrido con tráfico, mediante una ruta.
- Minimización de la *distancia* de recorrido a flujo libre, mediante una ruta.
- Minimización de la *distancia* de recorrido con tráfico, mediante una ruta.

Finalmente se presentan las conclusiones y las referencias, así como un anexo con el cuestionario aplicado a los restaurantes.

1. El Centro Histórico de la Ciudad de México

En este capítulo se presenta una introducción a la historia de las calles del Centro Histórico, con sus edificios de interés histórico o arquitectónico. Asimismo se destaca que el "Centro" a pesar del deterioro que estaba sufriendo fue declarado por la UNESCO "Patrimonio Cultural de la Humanidad".

También se describe el conflicto vehicular que sufre este sitio y los conflictos sociales que llegan a afectar el tránsito, y se mencionan los programas y apoyos de rescate que se han desarrollado en el área para mejorar la seguridad y vialidad.

1.1. Antecedentes Históricos

El Centro Histórico es la parte más antigua de la Ciudad de México. (CHCM a partir de ahora); nace donde la antigua Tenochtitlán se construyó, y luego fue destruida por los españoles. Posteriormente la capital de la Nueva España se reedificó sobre dichas ruinas.

El CHCM es una zona de viejos edificios y calles estrechas que nos invitan a viajar al pasado desde el siglo XV al XIX, épocas en que las carrozas tiradas por caballos llevaban en su interior a virreyes, altos funcionarios y ricos criollos, mientras comerciantes, frailes y religiosas, artesanos, bachilleres, mestizos e indios se abrían paso entre las famosas y bellas calles de la "Ciudad de los Palacios" (<http://mx.geocities.com>).

A partir de 1911 en el CHCM se crearon nuevas avenidas para resolver los crecientes problemas de tráfico. No fue sino a partir de la segunda mitad del siglo XX, cuando el CHCM sufrió un intenso proceso de deterioro, debido a la creciente contaminación y cambios en el entorno urbano. Estas modificaciones

motivaron por un lado la salida de familias de recursos medios y altos, y por otro el crecimiento desmedido de oficinas y tiendas, lo que acentuó el decaimiento del entorno arquitectónico, el deterioro urbano y la inseguridad. Los palacios y mansiones se habían convertido en vecindades, talleres, oficinas, bodegas y comercios.

Con el ánimo de detener el deterioro social y apoyar el transporte público, en 1968 se inauguraron las primeras líneas subterráneas del metro; sin embargo, el problema continuó debido al crecimiento de la población y al creciente número de vehículos que circulaban por sus calles.

Los sismos de 1985 aceleraron la salida de miles de habitantes de los viejos inmuebles y el centro de la ciudad de México se convirtió en una zona casi sin residentes. Sin embargo, en 1987 por su riqueza monumental, se le consideró el centro histórico más relevante de América. Por ello, y por el interés de las autoridades por detener el deterioro urbano, el Centro Histórico de la ciudad de México fue declarado por la UNESCO "Patrimonio Cultural de la Humanidad". El CHCM comprende actualmente alrededor de 1500 edificios de interés históricos o arquitectónico repartidos en 688 manzanas sobre 9 km² aproximadamente.

En el Centro Histórico de la Ciudad de México se encuentran destacados y edificios y espacios cívicos, tales como:

- Zócalo (Plaza de la Constitución o Plaza mayor)
- Palacio Nacional
- Edificio de la Suprema Corte de Justicia
- Catedral Metropolitana
- Templo Mayor
- Museo del Templo Mayor

- Torre Latinoamericana
- Alameda Central
- Palacio de Bellas Artes
- Templo de Santo Domingo
- Iglesia y exconvento de San Francisco
- Templo de la Encarnación
- Templo de San Pedro y San Pablo
- Templo de Loreto
- Colegio de San Ildelfonso
- Museo Nacional de Arte
- Teatro de la Ciudad
- Casa de los Azulejos
- Palacio de Correos
- Palacio de Minería
- Palacio del Marqués del Apartado
- Palacio Arzobispal
- Mayorazgo de Guerrero
- Edificio del Monte de Piedad
- Café Tacuba:
- Dulcería de Celaya
- Plaza de Santo Domingo
- Plaza Loreto
- Plaza Tolsá
- Mercado Abelardo Rodríguez
- Mercado Sonora

El Ejecutivo Federal, José López Portillo y Pacheco, expidió un Decreto, publicado en el Diario Oficial del 11 de abril de 1980, en el que se declara "Zona de Monumentos Históricos" al centro histórico de la ciudad de México.

(http://www.centrohistorico.df.gob.mx/fideicomiso/historia_ciudad.html)

El documento también subdivide la zona en dos perímetros: el perímetro "A" engloba el área que cubrió la antigua ciudad de Tenochtitlán, su ampliación en el virreinato y hasta la Independencia de México del Imperio Español; y el perímetro "B" que corresponde a las ampliaciones efectuadas en el siglo XIX (<http://www.mexicodesconocido.com.mx>).

Esta declaración incluyó el rescate del CHCM, mediante cuatro etapas y zonas:

1. La que comprende las calles de 5 de Mayo, Isabel La Católica/ República de Chile, Francisco I. Madero y Allende/ Bolívar.
2. La que abarca las calles de 16 de Septiembre, Donceles, desde Eje Central hasta República de Argentina, así como dos tramos de Palma, entre 16 de Septiembre y Venustiano Carranza, entre 5 de Mayo y Madero.
3. Las calles de Venustiano Carranza, de Eje Central a Pino Suárez, los tramos restantes de Palma, uno de 5 de Febrero, entre 16 de Septiembre y Venustiano Carranza. En la calle de Motolinía fueron rehabilitados los pisos y las jardineras, y a petición de los vecinos se convirtió en peatonal el tramo ubicado entre Tacuba y 5 de Mayo.
4. La cuarta etapa que incluyó la rehabilitación de la calle de Tacuba, se realizó entre el 27 de julio del 2002 y octubre de 2003.

Para hacer frente a esta nueva responsabilidad histórica, en diciembre de 1990, las autoridades constituyeron el Fideicomiso del Centro Histórico de la Ciudad de México, junto con un paquete de incentivos fiscales, para de esta

forma recobrar la vitalidad del centro histórico de la ciudad de México (<http://www.hotelesdemexico.com.mx>).

El arreglo urbano incluyó los siguientes puntos: arreglo de fachadas, iluminación de los edificios, mobiliario urbano, transporte y vialidad, estacionamiento, ordenamiento de comercio en la vía pública y recolección de basura.

El Programa de Desarrollo Urbano del Centro Histórico implicó una inversión del gobierno del Distrito Federal de 375 millones de pesos (mdp) en acciones de infraestructura, imagen urbana y adquisición de inmuebles. La inversión privada ascendió a 4 500 mdp en proyectos de compra de inmuebles e instalación de tiendas, restaurantes y otros comercios.

Esta transformación es la más importante desde 1902, última ocasión en que se abrieron calles y se renovó la infraestructura. Es un proyecto conservador de los valores de la zona histórica, en el cual participan el gobierno del Distrito Federal, el Instituto Nacional de Antropología e Historia, el Instituto Nacional de Bellas Artes, historiadores del arte, restauradores, arquitectos y urbanistas (<http://www.mexicodesconocido.com.mx>).

Sin embargo, el deterioro del CHCM siguió en aumento, pues la generación de nuevas zonas residenciales y empresariales como Santa Fé, al poniente de la ciudad, en la década de los noventa, hizo que el Centro de la Ciudad de México dejara de ser el eje de las actividades financieras, bancarias y profesionales.

En el año 2002 comenzó un nuevo plan para rescatar esta zona de la Ciudad de México. En el proyecto participan el gobierno Federal, el del Distrito Federal y representantes de la iniciativa privada y del ámbito cultural e intelectual.

En el aspecto económico la reorganización se propuso asegurar la rentabilidad en las inversiones, garantizar las inversiones inmobiliarias, replantear el aprovechamiento de edificios, reactivar económicamente la zona y generar empleos.

En el plano social se buscó revitalizar y recuperar las condiciones de habitabilidad de la zona, fortalecer el arraigo de las familias que lo habitan, así como solucionar los problemas de comercio en la vía pública, la inseguridad, la pobreza y el deterioro de la calidad de vida.

El la fecha del 12 de octubre de 2007 el centro histórico al fin quedó libre de ambulantes y en diciembre del mismo año cambiaron de sentido algunas calles a fin de contrarrestar el tráfico en esa zona por motivo de la creciente demanda de servicios, productos y compras en esa zona.

Las calles que cambiaron de sentido son (<http://vivirmexico.com>):

- Avenida Venustiano Carranza, de Oriente a Poniente, desde la avenida 20 de Noviembre para convertirse en su continuación hasta el Eje Lázaro Cárdenas, como salida del Centro Histórico.
- Calle 16 de Septiembre, de Poniente a Oriente, desde el Eje Lázaro Cárdenas hasta Palma y esta última a su vez con una circulación de sur a norte, de Venustiano Carranza a Belisario Domínguez, para funcionar como ingreso al primer cuadro y conducir el tránsito hacia el norte de la zona.
- Calle de Corregidora, doble sentido, únicamente de Correo Mayor a Pino Suárez, con la finalidad de facilitar la salida de vehículos del Centro Histórico hacia el sur y hacia el oriente.

Estos cambios se hicieron para la época navideña, luego regresaron a la normalidad.

1.2. Problemática del Centro Histórico de la Ciudad de México

El Centro de la Ciudad de México es un complejo urbano cuyo trazo puede considerarse antiguo, por la limitada capacidad de las calles que fueron diseñadas para el paso de carruajes y divisiones de infantería de siglos pasados, por lo que está lejos soportar el tránsito vehicular de una gran ciudad contemporánea. Con la poca capacidad de las calles se afecta la funcionalidad, la eficiencia y la distribución logística de mercancías, en un volumen que rebasa las necesidades de cualquier urbe del siglo pasado.

Conflicto Vehicular

El flujo vehicular de la zona se encuentra limitado por la traza general y la plaza de la constitución o Zócalo, que interrumpe el pasó directo de los vehículos que necesitan cruzar el CHCM, como se muestra en la Figura 1.

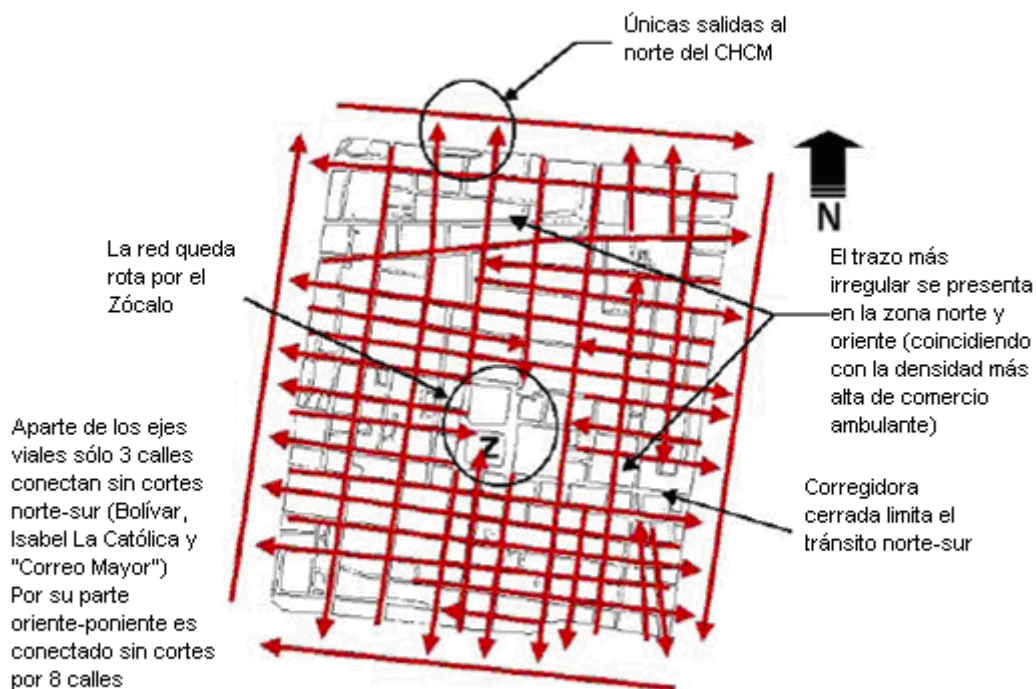


Figura 1: Circulación del CHCM

Fuente: Hernández (2002)

A la situación anterior debe añadirse una de las principales problemáticas del tránsito vehicular en toda la Ciudad de México y en particular en el CHCM, que es el transporte público concesionado, el cual representa un obstáculo en la vialidad. Primero sus unidades de grandes dimensiones ocasionan que sus movimientos se compliquen de manera significativa, y segundo, las paradas continuas, por el ascenso y descenso de pasajeros que se realizan en el momento en que el usuario lo solicita, incrementan el caos vehicular.

Por otro lado, la semaforización tiene una secuencia de avance difícil de programar debido a la complejidad de las intersecciones y los fenómenos particulares de cada zona. Además, la proximidad que existe entre calles paralelas hace que cualquier retraso en el avance rompa con la secuencia, generando la aglomeración de vehículos. Esto se aprecia con claridad en las zonas cercanas a los ejes viales, donde el ciclo de estos semáforos otorgan un tiempo mayor de avance a dichas vías por cuestiones de prioridad, generando un punto de aglomeración que rompe con el encadenamiento de los anteriores semáforos (Torres, 2002).

Las actividades comerciales de la zona son muy altas y variadas lo que lleva a proveedores y clientes a realizar el movimiento de entrada y salida de mercancías a todas horas. Los clientes buscan estacionar su vehículo lo más próximo a los diferentes comercios, y los proveedores de cada establecimiento buscan llegar hasta las puertas de éste, lo que provoca una demora por la búsqueda de estacionamiento o por las maniobras para estacionarse en el lugar deseado, y para la carga y descarga en vía pública. Esto afecta el flujo vehicular de manera importante.

Otras obstrucciones al tráfico vehicular

El Centro Histórico de la Ciudad de México y en especial el zócalo, por ser un centro cultural, tiene una circulación indiscriminada de personas (peatones);

además de los diableros que vienen de tepito a las calles principales con mercancías para vender (<http://www.cnnexpansion.com>). Todo ello dificulta el ya de por sí lento flujo vehicular.

A lo anterior debe agregarse la transformación que ha sufrido el uso de suelo del CHCM que viene desde los sesentas. Se han sustituido los usos habitacionales por comercios, servicios, oficinas, talleres, etc., para después ser éstos transformados en bodegas, giros negros o estacionamientos en predios baldíos. Esto junto con la falta de mantenimiento, el vandalismo y el hundimiento de la zona ha producido un rezago estructural de sus calles, plazas y espacios públicos con respecto a los nuevos desarrollos urbanos que crecen a la par del desarrollo tecnológico (Torres, 2002).

Por otra parte, la intervención de dos delegaciones políticas (Hernández, 2002), sobre las que recae la responsabilidad de una administración del lugar, facilita la existencia de las mafias, los pleitos de poder y porros que luchan por sus distintos territorios; también se había permitido la existencia de prostitución, vandalismo, venta de armas, distribución y consumo de drogas, y que la indigencia fuera en aumento. Esto terminó por expulsar a los últimos ciudadanos que se aferraban a un centro lleno de nostalgia y belleza.

La Fundación del Centro Histórico de la Ciudad de México A. C., desde 2002, ha realizado un conjunto de programas socioeconómicos, educativos y culturales destinados a mejorar la calidad de vida de quienes habitan esta zona y atraer a nuevos pobladores (<http://www.carlosslim.com>). Por ejemplo, el complejo, la Plaza Juárez está convirtiendo a los edificios cercanos en lofts residenciales (<http://www.latrinchera.org>).

Todavía existe, en ciertas partes, el comercio informal, lo que disminuye los espacios en las calles. Esto provoca que las maniobras de los vehículos particulares se compliquen, situación que interrumpe el paso de vehículos.

También la tolerancia y muchas veces la corrupción han permitido que el mercado inmobiliario se desarrolle de manera incontrolada. Lo anterior se agrava porque se tiene la invasión de predios, azoteas, patios, garajes y bodegas donde se manifiestan focos de pobreza, delincuencia y otros trastornos sociales. Por esta razón, a partir de mayo de 2002, la Secretaría de Seguridad Pública del Distrito Federal (SSPDF) puso en operación el Programa de Seguridad Pública del Centro Histórico de la Ciudad de México, con la finalidad de reducir el índice delictivo y lograr un bienestar en lo que respecta a la integridad física de las personas y su patrimonio. Entre las acciones decisivas de combate a la delincuencia está la creación del Puesto de Mando del Centro Histórico (PMCH) que cuenta con (<http://portal.ssp.df.gob.mx>):

- Centro de Atención Inmediata al Público (CAIP), información turística, cultural, social, de servicios y transportación, orientación psicológica y legal de manera gratuita.
- CAIP Móvil, dos unidades
- 100 cámaras de video de circuito cerrado, ubicadas de manera estratégica en las zonas con mayor afluencia de personas
- Centinela, electrónicos de observación
- Central de Alarmas, es gratuito y está dirigida a comercios, oficinas y viviendas
- 066 Centro Histórico, número telefónico gratuito de emergencias
- Denuncias Ciudadanas Anónimas, número telefónico para realizar todo tipo de denuncias.
- Denuncias de Delitos, número telefónico para realizar denuncias de tipo federal.

Por las anteriores razones, el Centro Histórico se ha transformado en un eje comercial, sobretodo en la zona nororiente, lo que constituye un elemento característico de la zona. Sin embargo, hay escasez de estacionamientos para operaciones de carga y descarga de mercancías, a lo que se suma la descarga

de mercancías en horas de gran afluencia vehicular, obstaculizando aún más el flujo de vehículos.

El Centro histórico también es considerado centro político del país, lo que provoca marchas y plantones que a su vez generan demoras en el flujo vehicular y retrasos en la distribución de mercancías.

Dada la gran cantidad de problemas viales en esta zona, no es raro que se considere que la infraestructura urbana del CHCM está rebasada, como lo menciona Torres (2002):

“El Centro Histórico cuenta hoy, con una infraestructura incapaz de dar respuesta adecuada a la demanda de flujo vehicular. Los niveles de actividad comercial y política de la misma, atraen diariamente a más de un millón de personas de las cuales el 17% llega por medio de automóviles particulares, que se enfrentan día con día a calles con una infraestructura insuficiente para alojarlos en número y tamaño. La traza debido a su mala utilización, ha roto con todos los esquemas de fluidez y distribución vial.”

Con la expulsión de los comerciantes informales se ha mejorado el paso de los vehículos, sobretodo en la zona poniente, además, ahora se castiga a los conductores que dejen mal estacionado su auto o en zonas prohibidas, con los inmovilizadores en vehículos mejor conocidos como *arañas*. Esta disposición comenzó a operar en junio del 2003 desde la zona de la Alameda Central hasta el Zócalo; según el entonces Secretario de Seguridad Pública local, el 66 por ciento de las vialidades estaban inutilizadas debido a automóviles mal estacionados y comerciantes ambulantes. En la actualidad se han recuperado.

Además desde el 16 de marzo del 2009 se sustituyeron los bicitaxis por los nuevos “ciclotaxis” que cuentan con motor eléctrico para ayudar al conductor en el arranque y en las subidas. Se definió un cuadrante para su circulación que va de República de Perú a avenida Izazaga y de Anillo de Circunvalación al Paseo de la Reforma. Esta renovación ayudara a su regularización y mitiga el tráfico que se genera en la zona.

<http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/94492.html>

Así, con el uso de inmovilizadores en vehículos estacionados en calles específicas del Centro Histórico, el establecimiento de horarios nocturnos para los vehículos de carga, los nuevos bicitaxis eléctricos, y la renovación y construcción de estacionamientos públicos se estima que se ha podido recuperar en más del 90 por ciento de la capacidad de rodamiento en la zona (<http://portal.ssp.df.gob.mx/>).

Cuando uno menciona al CHCM se está refiriendo a un lugar de atracción para los habitantes de la ciudad (y no sólo), por sus zonas culturales y comerciales, lo cual hace que tenga una demanda de mercancías considerable; se suele decir que: “Lo que necesites lo puedes encontrar en el centro.” Además, el CHCM cuenta con una gran cantidad de servicios para los que trabajan y viven en éste y para los que lo visitan. Uno de estos servicios es la comida; los restaurantes y fondas del CHDM demandan una gran cantidad de alimentos.

Así, con base en los antecedentes mencionados, la distribución de alimentos precederos de manera oportuna y a bajo costo en el CHCM, es un reto interesante.

2. Distribución de verduras a restaurantes del CHCM

En este capítulo se explica el problema de distribución de mercancías a resolver, el cual se ubica en el CHCM y considera a un conjunto de restaurantes (clientes) a los que se les podría dar el servicio de distribución de verduras precortadas. Además se examina la forma actual en la que se realiza la obtención de verduras por parte de los clientes elegidos y la forma de esta elección. Otro punto tratado es el tipo de vehículo elegido para la distribución que se desea realizar; éste es una camioneta pick-up, acorde a las “nuevas” restricciones de circulación en el área.

Con el fin de hacer más realista el estudio, fue realizado un trabajo de campo para conocer las necesidades de los clientes, a través de entrevistas cara a cara. Con base en el análisis de las respuestas a estos cuestionarios, fue determinado el producto a distribuir.

Otro punto que plantea el capítulo es la definición y las características de un Centro Logístico. El cual serviría para juntar la materia prima, crear el nuevo producto y de ahí distribuirlo al CHCM.

2.1. Descripción del Problema

Lo que se busca en este trabajo es obtener las rutas que optimicen tiempo o distancia, para uno o varios vehículos que salgan de un Centro Logístico (que se encuentre entre la Central de Abastos y el CHCM), y recorran el conjunto de restaurantes cliente.

Se busca distribuir un producto nuevo. Este producto es una ensalada de vegetales, a la cual se le dará un valor agregado en el Centro Logístico (CL). Los procesos por los cuales pasarán los vegetales en el CL son lavado, desinfección, pelado, cortado y empaquetado, quedando listos para la cocinar o para servir en la mesa.

El vehículo asignado distribuirá el producto según la demanda solicitada por cada restaurante, siguiendo la ruta que sea obtenida para realizar la distribución de la mejor manera. Con esto se busca no sólo realizar una rápida entrega del producto sino también reducir el número de viajes que hacen hoy en día los restaurantes o los proveedores de verduras. Así se contribuirá a la reducción del tráfico de la zona y de la emisión de contaminantes.

2.2. *La situación actual*

Actualmente, la distribución de vegetales a los restaurantes gourmet del CHCM, presenta dos alternativas:

1. Existen proveedores externos que proveen a los restaurantes de los vegetales necesarios.
2. Los restaurantes compran directamente sus productos en la Central de Abastos (ver Figura 2).

En la primera alternativa, los distribuidores entregan a los restaurantes las verduras demandadas previamente lavadas y cortadas. Sin embargo, es usual que los propios operarios de los restaurantes les apliquen una nueva revisión y limpieza, para asegurar la calidad del producto.

En el caso de que el propio establecimiento haga las compras (segunda alternativa), entonces los productos llegan en bruto al restaurante y ahí los limpian y cortan.

En ambos casos, los horarios que se dispone para la entrega de estos productos son abiertos, es decir, varían para cada lugar.



Figura 2: Central de Abastos

Cuando los representantes de los restaurantes van directamente a la Central de Abastos, emplean de 4 a 6 horas en elegir sus verduras y llegar a su establecimiento. Más tarde utilizan hasta 30 minutos en la preparación de los vegetales, ocupando al personal del restaurante y horas de trabajo que van fuera de las labores de cocina.

Todos los encargados de restaurantes entrevistados estarían dispuestos a cambiar el sistema de distribución, si se les ofreciera algo más cómodo por el mismo o menor precio. Esto se puede constatar en el análisis de respuestas de la Sección 2.5 de este trabajo.

La Central de Abastos (CA) es el mercado mayorista por excelencia de la ciudad de México, por tanto es un punto de concentración de la oferta y la demanda de productos alimentarios para el Valle de México y buena parte de la República Mexicana; es en este mercado donde se realiza la parte fundamental de los procesos de formación de precios y la distribución de alimentos.

En otras palabras, la CA es el eje del sistema de abasto alimentario del país, y por ello contribuye a la regulación del mercado, al ofrecer al consumidor calidad y precio. Es por ello que la mayoría de los distribuidores de verduras se dirige a este sitio para hacer las compras al mayoreo. La localización exacta de este lugar es:

Canal de Río Churubusco S/N

Esq. Canal de Apatlaco

Col. Central de Abastos.

C.P. 09040

Delegación Iztapalapa.

México Distrito Federal.

Su ubicación geográfica se muestra en la Figura 3.

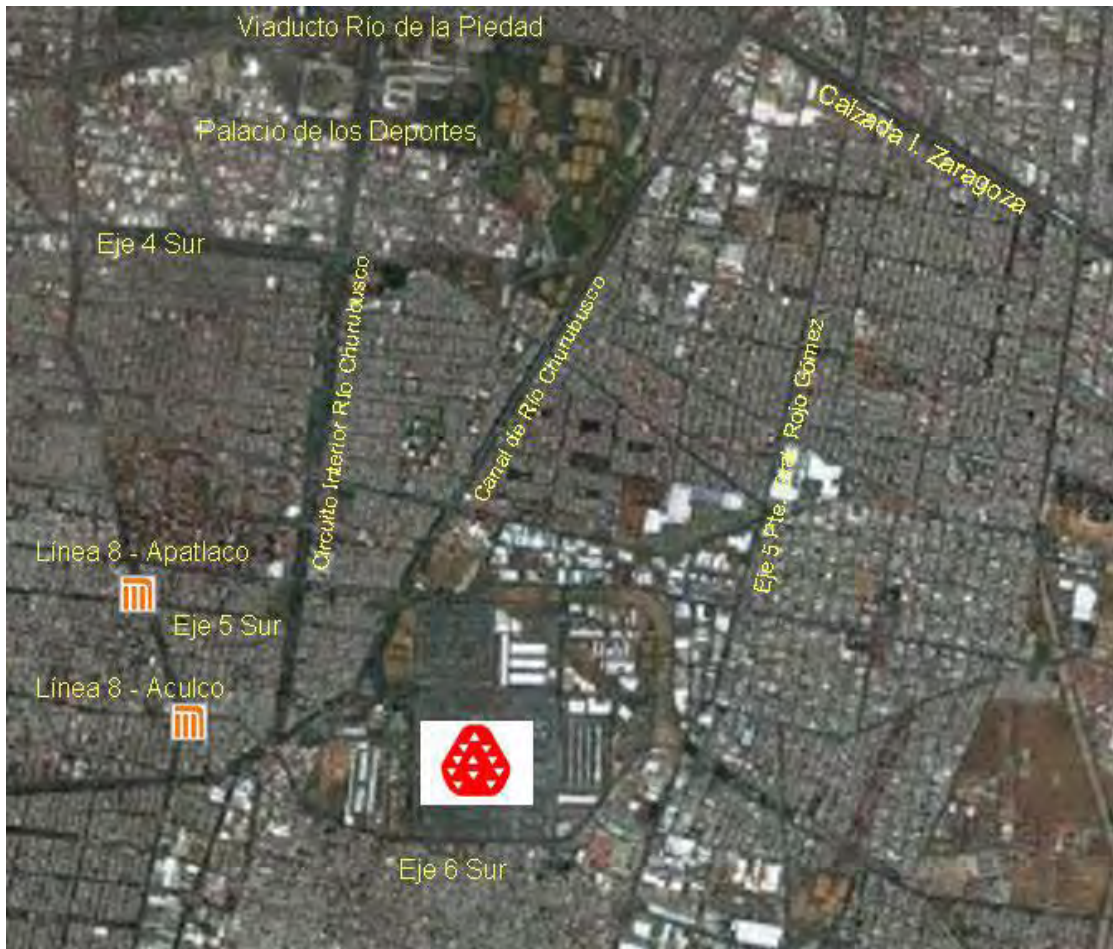


Figura 3: Localización de la Central de Abastos.

Fuente: <http://www.ficeda.com.mx>

2.3. Restaurantes gourmet en el CHCM

Para el estudio de la distribución de verduras en la actualidad, fueron seleccionados los restaurantes calificados de alta calidad y que se encuentran instalados en el CHCM. Esta selección fue realizada mediante la consulta de diferentes sitios de Internet como son:

- <http://www.queremoscomer.com>
- <http://es.viajes.yahoo.com>
- <http://www.restaurantesdemexico.com.mx>
- <http://www.chilango.com/restaurantes>

También fue tomada en cuenta la fama con la que algunos de ellos ya cuentan. Es posible decir que los restaurantes fueron elegidos por su alta calidad y prestigio (ver Tabla 1).

	Nombre	Dirección
1	Bar Alfonso	Motolinía 18
2	Centro Castellano	Uruguay 16
3	Gante	Gante y Madero
4	Azulejos	Madero y Paseo Condesa
5	Mesón Andaluz	Marconi 3
6	Café Tacuba	Tacuba 28
7	México Viejo	Tacuba 87
8	Bar Balcón del Zócalo	5 Mayo 61
9	El Cardenal	Palma 23
10	Hostería Sto. Domingo	Belisario Domínguez
11	Danubio	Salvador 23
12	vértigo Café	Francisco I Madero 66

Tabla 1: Restaurantes elegidos para la investigación

Fuente: Elaboración propia

Estos restaurantes fueron ubicados geográficamente como se muestra en la Figura 4. Los restaurantes seleccionados se encuentran en una zona muy reducida del mismo centro histórico, debido a que esta zona se considera la más “bonita” y elegante.



Figura 4: Ubicación de restaurantes

Fuente: Elaboración propia

A los encargados de los establecimientos seleccionados les aplicó un cuestionario (ver Anexo) para conocer cuáles son las verduras con las que más trabajan; la cantidad que compran de cada una de ellas; cada cuánto las compran y sobretodo cómo se llevan a cabo estas compras.

2.4. Selección del vehículo para la distribución de vegetales

Para elegir los vehículos de distribución de los vegetales se tomó en cuenta la “nueva” restricción para transporte pesado en el centro histórico, donde los camiones de transporte de carga de más de 3.5 toneladas de peso o 7.5 metros de largo no podrán entrar a la zona de las 7:00 a las 22:00 horas.

Debido a esta restricción, se decidió que los vehículos que se utilizarían serían camionetas pequeñas, llamadas “pick up” con caja cerrada, las que pueden circular en cualquier horario, y así facilitar la entrega de mercancías en las distintas ventanas de tiempo de cada establecimiento. Los vehículos, se prevé, estarán equipados con refrigeración para asegurar la frescura y la calidad de los alimentos. Las fotos de la Figura 5 y la Figura 6 dan un ejemplo del tipo de vehículo.



Figura 5: Vehículo para la distribución.

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.mx>



Figura 6: Vehículo para la distribución.

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.mx>

2.5. Investigación del mercado de vegetales

Algunas de las características reales del problema fueron obtenidas mediante trabajo de campo, el cual fue realizado en tres etapas:

- La primera tuvo por objeto comprobar el número de carriles y los sentidos de las calles del CHCM.
- La segunda etapa consistió en desarrollar una investigación del mercado de vegetales en los restaurantes seleccionados.
- La tercera etapa consistió en verificar que las calles a las que se les asignaron las entradas a los locales (restaurantes), concordaran con la realidad.

A continuación se describe la segunda etapa. Con el objeto de conocer la demanda efectiva de los productos vegetales en los restaurantes gourmet del CHCM, se decidió realizar una encuesta.

Esta etapa tuvo que ver con dos aspectos importantes para un proyecto de investigación de operaciones. Por un lado, se trataron de superar las meras aproximaciones teóricas e introducir una problemática lo más cercana al “mundo real”. Por otro lado, las técnicas de solución del problema principal se vincularon con la aplicación de una encuesta. Ambos aspectos incrementan las habilidades profesionales de un maestro en Investigación de Operaciones.

El objetivo principal de la realización de la encuesta fue poder contestar a la pregunta:

¿Cuáles son los aspectos más importantes relacionados con la demanda de verduras de los restaurantes seleccionados?

Plan para aplicar la entrevista

La forma de selección de los establecimientos (restaurantes) sujetos de estudio, fue descrito en la Sección 2.3.

Al tratar de aplicar el cuestionario sobre el consumo de verduras en los establecimientos, se encontró que algunos de los restaurantes elegidos no desearon proporcionar este tipo de información. Las razones para la negativa fueron dos: unos adujeron que se debía a las reglas del lugar y otros a que el personal que efectúa las compras no frecuenta el restaurante. Este inconveniente se superó al sustituirlos por nuevos restaurantes. El criterio para escoger a estos nuevos establecimientos fueron los mismos que los usados para seleccionar los anteriores, es decir, se cotejó que cumplieran con las normas de alta calidad para que siguieran siendo clasificados como “gourmets”.

Debe reconocerse que en algunos casos los encuestados no respondieron con gran interés el cuestionario y fue posible apreciar que los compradores de las verduras estimaban cada vez de manera diferente la cantidad de éstas, por lo que las cantidades registradas son una aproximación a la realidad.

En esta segunda etapa fue necesario hacer dos recorridos pues se notó que se lograba mayor interés en las preguntas cuando la entrevista se efectuaba en horarios distintos a los de comida (2:00pm a 4:00pm), por lo que se prefirió no llevarlos a cabo en estos horarios.

Descripción del cuestionario

El cuestionario aplicado para conocer las características del mercado tiene las siguientes nueve preguntas:

- ¿Cuáles son las principales verduras que compran para el restaurante?

Se diseñó con el objeto de conocer cuáles son las verduras que más se solicitan en los restaurantes gourmets del centro. Las respuestas esperadas contenían ocho (8) espacios para contestar.

- ¿Cuántos kilos de cada verdura compran a la semana?

La pregunta permite precisar la calidad de la verdura mencionada en la primera pregunta, y proporciona una aproximación a las cantidades que demanda cada restaurante.

- ¿Cada cuándo compran verduras?

Esta pregunta busca conocer la frecuencia con la que compran las verduras en los restaurantes, y permite tener una idea de su capacidad de inventario y el espacio en refrigeración que pueden manejar. También permite determinar las necesidades de los viajes que se deberán efectuar para atender la demanda.

- ¿Cómo preparan las verduras?

Esta pregunta busca verificar si hay un proceso básico para elaborar las verduras.

- ¿Cuánto se tardan en alistar las verduras?

Permite determinar si se puede mejorar este proceso.

- ¿Dónde las compran?

Tiene el objetivo de identificar el sistema de compra que tiene el mercado.

- ¿A qué hora se hacen las compras de las verduras?

Esta pregunta tiene la finalidad de identificar los horarios de trabajo para realizar las compras de la mercancía.

- Si van a comprarlas, ¿cuánto se tardan en ir por ellas?

La pregunta se efectúa solamente a aquellos compradores que por cuenta propia van a la central de abastos, y su finalidad es conocer el tiempo que se invierte en este proceso.

- Si les ofrecieran el servicio de entrega de verduras limpias, peladas y cortadas ¿lo aceptarían? SI () NO ()
¿Por qué?

Esta pregunta busca determinar si existe alguna ventaja competitiva que se pudiera explotar por parte de alguna empresa que deseara introducirse en este mercado. El cuestionario se muestra en el Anexo.

Análisis de respuestas

Es muy importante conocer las necesidades de aprovisionamiento de cada uno de los restaurantes, en cuanto a los vegetales, para lo cual se toma en cuenta la cantidad de materia prima que requieren en un periodo de tiempo determinado y la capacidad de almacenamiento de los restaurantes. Con esto se tiene una idea de los pedidos que se podrían llevar a cabo, lo que permitiría entregar la cantidad exacta del producto a mejor precio, con más alta calidad por su frescura, además de que se reducirían desperdicios de los vegetales.

También se busca que el abastecimiento del producto sea constante, es decir, que la distribución se realice desde la inauguración del Centro Logístico y se mantenga a largo plazo para que sea rentable y que la empresa distribuidora de verduras se convierta en un proveedor competente en la zona.

Para conseguir la rentabilidad del Centro Logístico se tienen que tomar en cuenta las necesidades de los clientes, el mercado de vegetales en la Central de Abastos y los costos propios de la distribución.

Respuestas a las preguntas 1 y 2.													
Pregunta 1. ¿Cuáles son las principales verduras que compra el restaurante?													
Pregunta 2. ¿Cuántos kilos de cada verdura compran a la semana?													
Respuestas tabuladas por rangos													
Restaurantes	Azulero	Alonso	Tacuba	Castellano	Danubio	Gante	Domingo	Andaluz	M. Viejo	Zocalo	Cardenal	Total	Rango Final
Vegetales													
Jitomate	1	2	2	2	2	2	1	1	3	2	2	20	1
Papa	5	1	1	4	3	1	3	4	1	1	1	25	2
Tomate	1	3	2	2	5	3	1	1	4	4	2	28	3
Cebolla	3	3	4	1	1	3	6	3	1	5	2	32	4
Zanahoria	4	9	5	5	3	9	4	5	6	9	5	64	5
Aguacate	9	9	9	9	9	7	9	9	3	5	9	87	7
Calabaza	9	9	9	5	6	5	9	9	9	9	5	84	6
Lechuga	9	5	7	9	9	9	7	9	9	9	9	91	8

Nota: La suma de las filas de cada vegetal da un total. El que obtenga la suma menor se sitúa como el vegetal que tuvo más demanda y así sucesivamente.

La combinación de las dos preguntas permite determinar la demanda de cada producto. Pero para fines de esta investigación, se transforman en rangos para establecer solamente su importancia relativa.

Tabla 2: Rango de importancia de vegetales.

Fuente: Elaboración propia

Los encargados de recibir las provisiones de los restaurantes entrevistados afirmaron que los vegetales que más demandan son, en orden de importancia: el jitomate rojo, la papa, el tomate verde y la cebolla; le siguen la zanahoria, el aguacate, la calabaza y la lechuga (ver Tabla 2).

Respuesta a la pregunta 2				
Pregunta 2. ¿Cuánto consume a la semana (verduras)?				
Nombre	Kilos			
	Jitomate	Cebolla	Tomate	Papa
Bar Alfonso	50	50	100	50
Centro Castellano	90	200	40	50
Gante	35	15	35	30
Azulejos	200	150	200	80
Mesón Andaluz	150	50	50	50
Café Tacuba	100	150	100	100
México Viejo	150	20	30	100
Bar Balcón del Zócalo	120	80	80	60
El Cardenal	90	90	90	150
Sto. Domingo	120	100	120	80
Danubio	100	80	80	120
Vértigo café	40	30	40	50
Total	1,245	1,015	965	920
Promedio	103.8	84.6	80.4	76.7
Desviación Estándar	48.8	57.7	35.2	35.2

Tabla 3: Demanda de las principales verduras.

Fuente: Elaboración propia

Las respuestas de los encargados de atender la demanda de verduras de los restaurantes visitados destacaron que el jitomate es el producto que más se demanda (1,245 kilos por semana o 104 kilos en promedio por restaurante). La

cebolla, el tomate y la papa tienen una demanda casi similar; un promedio de 80 kilos por vegetal; unos 950 kilos en total por cada verdura (ver Tabla 3).

Respuesta a la pregunta 2 ¿Cuánto consume a la semana (verduras)?		
Restaurantes	Kilos	Rango
Bar Alfonso	250	10
Centro Castellano	380	5
Gante	115	12
Azulejos	630	1
Mesón Andaluz	300	8
Café Tacuba	450	2
México Viejo	300	8
Bar Balcón del Zócalo	340	7
El Cardenal	420	3
Sto. Domingo	420	3
Danubio	380	5
Vértigo café	160	11
Total	4,145	
Promedio	345	
desviación estándar	137	

Tabla 4: Demanda total de vegetales.

Fuente: Elaboración propia

El restaurante que demanda más verduras es “Azulejos”. Le siguen en importancia “Café Tacuba”, “El cardenal” y “La Hostería de Sto. Domingo”, con una demanda 30% menor aproximadamente. En un tercer plano destacan los restaurantes “Bar Balcón Zócalo”, “Centro Castellano” y “Danubio”. Estos últimos tienen una demanda 40% menor que “Azulejos” aproximadamente (ver Tabla 4).

Respuestas a las pregunta 1														
Pregunta 1. ¿Cuáles son las principales verduras que compra el restaurante?														
Restaurante que mencionó que demanda la verdura seleccionada = 1; no = 0														
Restaurante vegetales	Azulejos	Alonso	Vértigo	Tacuba	Castellano	Danubio	Gante	Domingo	Andaluz	M. Viejo	Zócalo	Cardenal	Demanda restaurante x	Porcentaje
Jitomate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100%
Papa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100%
Tomate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100%
Cebolla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100%
Zanahoria	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	9	75%
Aguacate	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	25%
Calabaza	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	33%
Lechuga	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	33%

Tabla 5: Restaurantes que consumen los vegetales.

Fuente: Elaboración propia

Todos los responsables de los restaurantes entrevistados (12) afirmaron que compran regularmente jitomate, papa, tomate verde y cebolla. El 75% de ellos reconoció que también compran zanahoria; una cuarta parte de los entrevistados dijo comprar aguacate y una tercera parte de ellos aceptaron que también compran calabaza y lechuga (ver Tabla 5).

Respuesta a la pregunta 3	
Pregunta 3. ¿Cada cuanto compran su verdura?	
Frecuencia de entrega	
Por semana	Respuestas
1	75%
2	8%
3	17%
Total	100%
Restaurantes	12

Tabla 6: Frecuencia de entrega de verduras.

Fuente: Elaboración propia

El 75% (nueve) de los encuestados dijo que las entregas de verduras a los restaurantes se hacen una vez por semana. Uno de los responsables dijo que recibe los pedidos de verduras dos veces por semana y otros dos dijeron recibirlas tres veces por semana (ver Tabla 6).

Respecto a la pregunta de cómo preparan las verduras, todos concordaron en que el proceso para preparar las verduras es desinfectar, lavar, pelar y cortar.

En cuanto al tiempo que tardan en alistar las verduras, contestaron que el proceso varía de 10 minutos a 30 minutos.

Respuesta a la pregunta 6		
Pregunta 6. ¿Dónde compran los vegetales?		
Nombre	Proveedor externo	En la central de abastos
Bar Alfonso		1
Centro Castellano		1
Gante	1	
Azulejos	1	
Mesón Andaluz		1
Café Tacaba	1	
México Viejo	1	
Bar Balcón del Zócalo	1	
El Cardenal	1	
Sto. Domingo	1	
Danubio		1
Vértigo café		1
Total	7	5
Porcentaje	58%	42%

Tabla 7: Restaurantes que hacen sus compras en la Central de Abastos.

Fuente: Elaboración propia

Siete (58%) de los doce responsables de recibir las verduras en los restaurantes visitados aseguró tener un proveedor que les suministra las verduras, el resto de los encargados hacen las compras con su propio personal, en la central de Abastos (ver Tabla 7).

Le pregunta ¿Cuánto se tardan en ir por ellas?, se refiere al tiempo en conseguir las verduras en la Central de Abastos. Esta pregunta se le hizo solamente a los que por cuenta propia van a la Central de Abastos, y la respuesta fue que se emplean seis horas aproximadamente en cada viaje.

Para saber cómo responderían los encargados de los restaurantes a la nueva forma de distribución, se les preguntó si aceptarían el servicio de entrega de verduras limpias, peladas y cortadas. La respuesta de los encargados de los restaurantes y cuyo personal va a la Central de Abastos fue afirmativa. Las razones que dieron tenían que ver con ahorrar en personal y tiempo.

Aquellos que dependen de los proveedores también respondieron afirmativamente, siempre y cuando se mejoraran los costos.

Respuesta a la pregunta 10				
Pregunta 10 ¿Cuál es el horario de preferencia para recibir las verduras procesadas?				
Restaurantes	Hora inicial	Hora final	Promedio tiempo (horas)	Forma decimal
Bar Alfonso	14:00	14:30	0:30	0.5
Castellano	6:00	10:00	4:00	4
Gante	8:00	10:00	2:00	2
Azulejos	5:00	6:30	1:30	1.5
Andaluz	6:00	12:00	4:00	4
Café Tacaba	8:00	8:30	0:30	0.5
México Viejo	8:00	8:30	0:30	0.5
Bar Zócalo	8:00	10:00	2:00	2
El Cardenal	10:00	11:00	1:00	1
Sto. Domingo	10:00	11:00	1:00	1
Danubio	8:00	10:00	2:00	2
Vértigo café	9:00	9:30	0:30	0.5
			1:45	1.72

Tabla 8: Horario de entrega de verduras.

Fuente: Elaboración propia

Los entrevistados aseguraron que la entrega de provisiones se inicia entre las 6a.m. y las 10a.m., aunque hay un restaurante que abre a las 5a.m. y otro que lo hace a las 2p.m.

Los encuestados afirmaron que el último horario para aceptar las provisiones varía entre las 8:30 y las 11a.m., sin embargo uno de ellos afirmó que el horario de cierre es a las 6:30a.m.

El promedio de tiempo entre la hora inicial y final para el aprovisionamiento del restaurante es alrededor de una hora y tres cuartos, pero hay cuatro casos donde el horario está limitado a media hora. La información de horarios de entrega se muestra en la Tabla 8.

Respuesta a la pregunta 10		
¿Cuál es el horario de preferencia para recibir las verduras procesadas?		
Respuesta al horario inicial		
Horario inicial	Restaurantes	Porcentajes
5a.m.	1	8%
6a.m.	2	17%
8a.m.	5	42%
9a.m.	1	8%
10a.m.	2	17%
14p.m.	1	8%
Total	12	100%

Tabla 9: horario inicial de entrega de verduras procesadas.

Fuente: Elaboración propia

Más del 40% de los restaurantes al parecer inician sus operaciones de aprovisionamiento a las 8a.m. (cinco); otro 25% (tres) lo hace antes de esa hora y el resto (cuatro) lo hace después de las 9a.m. (ver Tabla 9).

Respuesta a la pregunta 10		
¿Cuál es el horario de preferencia para recibir las verduras procesadas?		
Respuesta al horario final		
Horario final	Restaurantes	Porcentajes
6:30	1	8%
8:30	2	17%
9:30	1	8%
10:00	4	34%
11:00	2	17%
12:00	1	8%
Otros	1	8%
Total	12	100%

Tabla 10: horario final de entrega de verduras.

Fuente: Elaboración propia

Cinco de los restaurantes (42%) cierra su horario de aprovisionamiento entre las 9.30 y las 10a.m.; tres lo hacen antes de las 8.30a.m. y el resto (4) lo hace después de las 11a.m. (ver Tabla 10).

2.6. Situación con Centro Logístico

Un Centro Logístico (CL) se puede definir como un territorio equipado para desarrollar actividades logísticas. Éste puede de constar con naves logísticas, espacios para el movimiento eficiente de vehículos de transporte, andenes, estacionamiento para vehículos de transporte, oficinas para operadores logísticos, y servicios complementarios para los vehículos de transporte y sus

operadores, etc. Esto facilita las actividades de logística y permite una gestión adecuada del flujo de carga. Así los CL son puntos de concentración y distribución de carga. (Antún et al., 2008)

Los CL mejoran la productividad de las operaciones de transporte ya que permiten una eficiente organización para la distribución de mercancías. Para el análisis en las redes modales de transporte son vistas como un nodo de encuentro entre modos de transporte. (Antún et al., 2008)

Los CL facilitan: i) la *ruptura de tracción*, es decir el cambio de unidad tractora de transporte modal, y ii) la *ruptura de carga* en vistas de una nueva consolidación, y pueden aprovecharse para realizar diferentes operaciones para procesos logísticos como las denominadas *actividades de valor agregado*, que añaden valor a la mercancía mediante una adaptación y/o finalización del producto según la demanda de los clientes finales. (Antún et al., 2008)

Otras ventajas relacionadas de los CL es la reducción del número de vehículos de carga por la disminución de recorridos, atenuación de la congestión en redes viales urbanas, mitigación de las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero, derivada de la operación de un CL en una región, un área metropolitana y/o un área urbana. Finalmente, Un CL es, también, un negocio de desarrollo inmobiliario. (Antún et al., 2008)

Con la creación de un CL localizado entre la Central de Abastos y el CHCM se recibirían los camiones con la materia prima (verduras) que vienen de la Central de Abastos. Luego se descargarían los camiones, y a la materia prima se le daría un valor agregado mediante el lavado, desinfectación, pelado, etc. para después hacer el envasado y la presentación del nuevo producto que se entregaría a los clientes finales (restaurantes). Después el producto final sería cargado en vehículos más pequeños (camionetas) para poder distribuir en el CHCM sin problemas de tamaño o restricciones legales a los vehículos.

Este proceso crea una nueva situación, referente a la forma de distribución de alimentos perecederos en el CHCM, que reduce el número de recorridos totales de la Central de abastos al CHCM, lo cual contribuye a reducir la congestión en la red vial del CHCM y las emisiones contaminantes. Con estas ventajas se puede buscar un incentivo del Gobierno para la creación de este negocio. Así, se reducirían más los costos y más restaurantes aceptarían esta nueva forma de distribución, lo que ayudaría a mejorar la calidad de vida de la zona.

Además, esta nueva forma de distribución ayudaría a cada restaurante a reducir sus costos, ya que no necesitarían personal para comprar las verduras, aunado a la reducción de tiempo y dinero por conceptos como transporte, elección de las verduras y la limpieza que éstas necesitan.

Producto

Con base en los resultados de la encuesta, se determinó el tipo de producto con el que se va a trabajar en el centro logístico; éste se forma a partir de los siguientes vegetales:

- Tomate
- Cebolla
- Papa
- Jitomate

Estos vegetales van a pasar por el proceso de limpieza, desinfección, pelado y cortado, finamente dándole valor agregado al producto final que se desea distribuir.



Figura 7: Central de Abastos

Para repartir este producto en grandes cantidades a los diferentes restaurantes de la zona, se necesita empaquetarlo de manera que se pueda apreciar la frescura de los alimentos y su alta higiene, y así inspirar confianza en el producto. Se decidió que la mejor manera de ponerlo a la venta es en bolsas de plástico con una capacidad de 50 kilogramos, para facilitar la entrega según la demanda de cada restaurante.

Además se podrían manejar otros vegetales (Figura 7) para aprovechar la distribución, como la lechuga que se venden por pieza, o bien zanahoria, calabaza, chile, apio, brócoli, etc., que son demandadas con menos regularidad.

2.7. Problema-modelo

Para solucionar problemas de distribución de mercancías existen distintos modelos matemáticos con el objetivo de encontrar la ruta mínima en costo, tiempo o distancia, para hacer el recorrido. También existen modelos que

consideran diferentes restricciones para hacer que el problema se parezca más a la realidad, como tomar en cuenta:

- La demanda de cada uno de los restaurantes o la oferta del Centro Logístico.
- La capacidad de los vehículos que llevan a cabo la distribución.
- La cantidad de vehículos que se va a usar para la distribución y la capacidad de carga de estos vehículos.
- El horario de entrega del producto a los diferentes clientes.
- La posibilidad de hacer recolección y entregas de productos.

También existe diferente software que tiene programado algunos de los algoritmos exactos y heurísticos para resolver estos modelos.

Estos modelos se mencionan en el capítulo siguiente, ya que son los modelos en los que se basa esta investigación.

3. El Problema Teórico de Rutas de Distribución

El objetivo general de este capítulo es mostrar los modelos teóricos que se encuentran en la literatura sobre la distribución de mercancías, los cuales se usan como base para esta investigación.

Estos modelos parten de que los clientes interesados en optimizar la recepción de productos se encuentran ubicados en lugares fijos, dado que son establecimientos formales y registrados.

En el caso de los problemas de distribución, éstos se pueden analizar bajo diferentes modalidades, por ejemplo, con uno o varios vehículos, según si se entrega y recoge mercancía o si solamente se entregan artículos.

Un problema que se asemeja al de distribución de mercancías, pero de una manera sencilla es el problema del Agente viajero. Este problema al considerar diferentes restricciones, se transforma en problemas más complejos como el de rutas de vehículos. Es por esto que en esta tesis se estudian los siguientes modelos:

- Problema del Agente Viajero (TSP)
- Problema de rutas de Vehículos (VRP)
- Problema de rutas de Vehículos con restricciones de Capacidad (CVRP)
- VRP con ventanas de tiempo

3.1. Problema Agente Viajero

El problema del agente viajero, también llamado TSP (por sus siglas en Inglés) en la literatura, trata de que un agente de ventas, el cual tiene que hacer un recorrido que inicia en una ciudad y se traslada a “n” ciudades, pasando por cada una de éstas sólo una vez. El trayecto debe terminar en la ciudad de la cual inicio. Se busca el mínimo costo del recorrido, ya sea en tiempo, distancia, gasolina, etc. Está es un problema NP-hard por su complejidad algorítmica. (Martí, 2003)

Este problema se puede analizar mediante la teoría de redes, donde las ciudades se representan por nodos y los caminos son los arcos, éstos tienen asignado un costo según lo que se busque optimizar.

Una aplicación de este problema es a la distribución de productos, ya que un camión con productos sale de un “Depósito”, visita diferentes clientes (ciudades) y regresa al depósito de donde salió. A este problema se le pueden agregar restricciones como: tiempos de entrega, capacidad de carga, etc.

Si se quiere representar en un modelo matemático de programación lineal con variables binarias, éste queda como expone Martí (2003):

Las variables de decisión:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el agente va de la ciudad } i \text{ a la ciudad } j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$z = \min \sum_{i < j} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{i > j} x_{ij} + \sum_{j > i} x_{ij} = 2 \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in \gamma(s)} x_{ij} \geq 2 \quad \forall S \subseteq \{1, 2, \dots, n\} \quad 3 \leq |S| \leq \lfloor n/2 \rfloor \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad \forall i < j$$

La ecuación 1 es la función objetivo que busca contestar la pregunta:

¿Cuál es el mínimo costo de mandar los productos a todas las ciudades?

Donde c_{ij} son los costos de transportar el producto por los diferentes arcos (que pueden ser segmentos de calles). Los costos se establecen según el criterio que se quiera minimizar.

La ecuación 2 es la primera restricción del modelo la cual hace que si se llega a una ciudad también se salga de ella.

La tercera ecuación garantiza que la ruta elegida sea un *tour*, es decir que sea un recorrido que salga de la ciudad origen y termine en la misma ciudad, sin recorrer dos veces la misma ciudad.

Este modelo se utilizaría para repartir verduras a los diferentes restaurantes (ciudades), si no se tuvieran problemas de capacidad ni ventanas de tiempo.

Una variante del TSP es el problema múltiple del agente viajero (M-TSP), el cual busca el sistema de rutas mínimas para M agentes viajeros que salen, hacen el *tour* y regresan a la misma ciudad base, cumpliendo que cada cliente sea visitado exactamente una vez por un agente.

Cuando a un M-TSP tiene restricciones de capacidad de los vehículos o de longitud de las rutas se le llama Problema de rutas de vehículos.

3.2. Problema de Rutas de Vehículos (VRP)

Este problema se trata de diseñar rutas óptimas de distribución y/o recolección para atender clientes geográficamente dispersos. Las rutas inician y terminan en un depósito.

La formulación del problema mediante programación matemática es como sigue:

Sea $G=(N,A)$ un grafo donde $N= 0,1,\dots,n$ es el conjunto de nodos y $A= 0,1,\dots,m$ el conjunto de arcos. El nodo cero es el almacén o depósito.

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

s.a.

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = k \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j} = k \quad (8)$$

$$\sum_{i \notin S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq \gamma(S) \forall S \subset V \mid |S| \geq 2 \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V$$

$$\forall j \in V \mid \{ \}$$

$$\forall i \in V \mid \{ \}$$

La función objetivo minimiza el costo total de enviar las mercancías a sus clientes.

Las variables de decisión son:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se va a pasar del nodo } i \text{ (cliente origen) al nodo } j \text{ (cliente destino)} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

También se utiliza:

- $S \subseteq N$ Conjunto de clientes visitados
- $c_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A$ (Costo del recorrido de i a j)
- k Vehículos idénticos donde $k \in 1, \dots, K$

- $\gamma(S)$ Mínimo número de vehículos

Así la primera restricción indica que cada cliente va a ser visitado por un vehículo; y la siguiente que cada vehículo va a dejar al cliente que visitó.

La ecuación 7 se refiere a que todos los vehículos van a llegar al depósito y la ecuación 8 que van a salir de éste.

La ecuación 9 vuelve a referirse a no formar ciclos sin contar el depósito.

A este modelo se le pueden aumentar diversas restricciones como las de capacidad de los vehículos (CVRP).

3.3. Problema de Rutas de Vehículos con Restricciones de Capacidad (CVRP)

Este problema busca minimizar el costo del viaje y toma en cuenta que los vehículos son idénticos y tiene capacidad limitada (en el caso de los vehículos de distribución de verduras, la capacidad es de 3.5 toneladas). Además la demanda es conocida y no puede ser dividida, es decir, que se maneja con enteros (por paquete). Se debe recordar que cada cliente va a ser visitado una vez por un solo vehículo. En programación lineal queda escrito como:

Variables de decisión:

- $x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si el vehículo } k \text{ viaja directamente del cliente } i \text{ al } j \forall ij \in N \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$

Parámetros:

- $d_j \geq 0 \quad \forall j \neq 0$ (Demanda del cliente j)

- $d_0 = 0$ (Depósito)
- K Número de vehículos idénticos con capacidad Q , donde $k \in 1, \dots, K$
- Q_k es la capacidad del vehículo k ,
- S_i es el tiempo de servicio del cliente i
- T^k la máxima ruta en distancia para el vehículo k

$$\text{Min} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^k \quad (10)$$

SA

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N x_{ij}^k d_i \leq Q^k \quad 1 \leq k \leq K \quad (11)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N x_{ij}^k (c_{ij} + s_i) \leq T^k \quad 1 \leq k \leq K \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij}^k = \sum_{j=1}^N x_{ji}^k \leq 1 \quad \text{para } i=0 \text{ y } k \in \{1, \dots, k\} \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{ij}^k \leq K \quad \text{para } i=0 \quad (14)$$

Este modelo fue tomado del artículo de Lin *et al.* (2007). La función objetivo (10) da el costo total de la ruta que se elija; la desigualdad 11 es la restricción de capacidad para cada vehículo; la siguiente restricción (12) se refiere a la máxima distancia para cada vehículo; la restricción (13) asegura que cada ruta empieza y termina en el depósito y la última ecuación (14) especifica que a lo más se pueden hacer K viajes.

Para el caso de distribución de esta tesis, se debe tomar en cuenta la cantidad de producto que puede transportar cada una de las camionetas. A esto se le conoce como restricciones de capacidad.

Además de la capacidad de los vehículo se desea tomar en cuenta las horas en las que cada cliente, restaurante, quiere o prefiere que se le entregue el pedido, por lo que se trata de un problema VPR con ventanas de tiempo.

3.4. VRP con Ventanas de Tiempo

Las restricciones de ventana temporal permiten modelar la realidad mejorando el servicio, ya que, se pueden hacer las entregas del producto en horarios establecidos para la mayor satisfacción del cliente. Esto ayuda a las empresas a tener más competitividad sobre otras compañías.

El modelo con ventanas de tiempo (Chi-Bin, 2008) que toma en cuenta una función de penalizaciones por costos de los vehículos y los costos de las demoras es como sigue:

Variables de decisión:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si el vehículo } k \text{ viaja del nodo } i \text{ al nodo } j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si el vehículo } k \text{ atiende al cliente } i \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Parámetros:

c_{ij} El costo de viajar del nodo i al nodo j

K El conjunto de vehículos, $K = 1, \dots, m$

N El conjunto de clientes $N = 1, \dots, n$

$N' = N \cup 0$ Donde el nodo "0" denota el centro de distribución

N_k El conjunto de clientes atendidos por el vehículo k

q_i La demanda del cliente i

Q_k La capacidad del vehículo k

s_i El tiempo de servicio para el cliente i

t_{ij} El tiempo requerido para viajar del nodo i al nodo j

d_k El tiempo de partida del vehículo k al centro de distribución

r_k El tiempo requerido para regresar el vehículo k al centro de distribución

M Escalar grande

a_i El momento más temprano en que puede ser atendido el cliente i (si llega antes el vehículo tiene que esperar)

b_i El último momento en que el cliente i puede ser atendido

En este modelo se utiliza una función ϕ mostrada en la Figura 8 para las penalizaciones, si el vehículo llega fuera del intervalo a_i, b_i

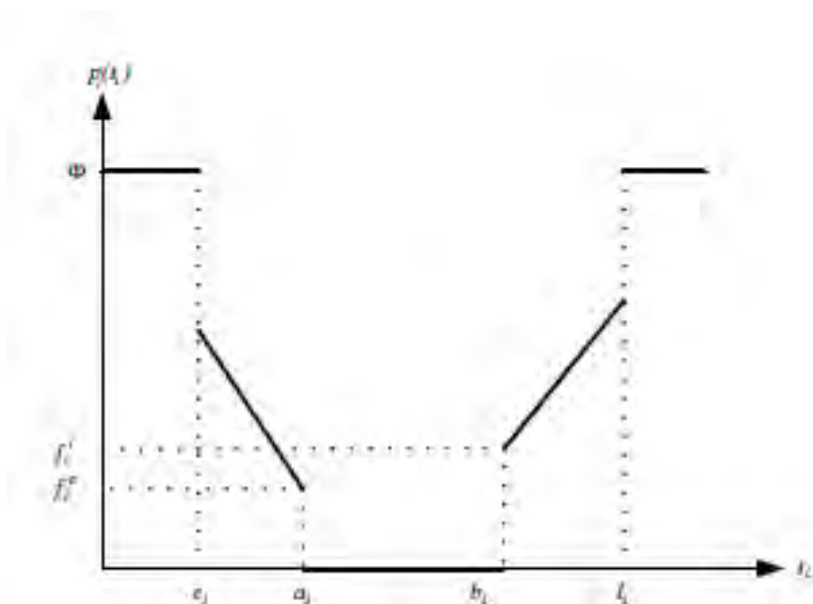


Figura 8: función de penalizaciones

Fuente: Chi-Bin Cheng, 2008

$$\text{Min} \sum_{i \in N'} \sum_{j \in N' j \neq i} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} + \sum_{i \in N} p_i(t_i) \quad (15)$$

sujeto a:

$$\sum_{i \in N} q_i y_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (16)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K} y_{0k} \leq m \quad (18)$$

$$\sum_{i \in N'} x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall j \in N', \forall k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{j \in N'} x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall i \in N', \forall k \in K \quad (20)$$

$$t_i \geq \max \{a_i\} s_i + t_{ij} - M(1 - x_{ijk}), \quad \forall ij \in N, \forall k \in K \quad (21)$$

$$d_k + \sum_{i \in N'} \sum_{j \in N' j \neq i} [x_{ijk} \max \{a_j\} s_j] \leq r_k \quad \forall k \in K \quad (22)$$

$$p_i(t_i) = \begin{cases} \phi & \text{si } t_i < e_i \\ f_i^e + u_e(a_i - t_i) & \text{si } e_i \leq t_i < a_i \\ 0 & \text{si } a_i \leq t_i < b_i \\ f_i^l + u_l(t_i - b_i) & \text{si } b_i \leq t_i < l_i \\ \phi & \text{si } t_i > l_i \end{cases} \quad (23)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall ij \in N', \forall k \in K$$

Este modelo tiene como objetivo minimizar los costos de viaje tomando en cuenta las ventanas de tiempo (ecuación 15). La restricción 16 es la capacidad de los vehículos. En la número 17 se especifica que cada cliente (nodo) debe ser visitado por un solo vehículo. Mientras que en la ecuación 18 asegura que el número de vehículos enviados por el centro de distribución debe ser menor o igual que el número de vehículos que se tienen en el centro para la distribución. Las ecuaciones 19 y 20 hacen que el modelo esté balanceado para cada nodo. La relación de precedencia entre dos nodos se da por la desigualdad 21. La

función 23 se refiere a las penalidades según el tiempo de llegada del vehículo, es decir, las ventanas de tiempo de servicio para cada cliente.

Este tipo de modelo es el que puede ser usado para representar el problema de la repartición de verduras en el centro histórico, a partir de un centro logístico.

Para resolver problemas como los presentados anteriormente, se tienen diferentes algoritmos exactos, heurísticos y meta-heurísticos. En el caso que se va a trabajar se utiliza un GIS (Sistema de Información Geográfica) llamado TransCAD®, el cual trabaja con este tipo de modelos pero no especifica el algoritmo a utilizar en cada una de sus aplicaciones.

El horario de entrega es importante de cumplir ya que el cliente (restaurante) necesita del producto para llevar a cabo sus servicios. Además, al asegurar la entrega a tiempo, el consumidor tendría preferencia sobre otros distribuidores ya que no necesitaría de almacenamiento.

La restricción de tiempo según la vida del producto es necesaria, pues no sirve entregar el producto si su tiempo de vida terminó (se echaron a perder).

En esta tesis solamente se considerara como producto a las verduras limpias, peladas y cortadas, las cuales son procesadas en el centro logístico. Sin embargo, estudios similares pueden ser desarrollados para otros alimentos o mercancías con otros procesos.

3.5. Técnicas de Solución

El famoso problema del agente viajero es un problema NP-hard, esto es que no se puede “garantizar el encontrar la mejor solución posible en un tiempo razonable” (Martí, 2003). Como el problema de rutas de vehículos se origina de este problema, se clasifica de igual manera.

En la actualidad, las técnicas de solución para resolver este tipo de problemas son los algoritmos llamados heurísticos o aproximados, éstos son procedimientos eficientes, por duración (número de operaciones) y tamaño (número de caracteres a codificar) que buscan buenas soluciones aunque no sean óptimas.

Algunas de estas heurísticas son:

- Búsqueda Tabú

Esta técnica guía cualquier procedimiento de búsqueda local pero trata de evitar que las soluciones caigan en óptimos locales. Para esto utiliza unas estructuras de memoria a corto plazo, donde se crea una lista tabú con las soluciones recientemente visitadas evitando que la búsqueda se cicle. También utiliza memoria a largo plazo, la cual consiste en guardar un conjunto de soluciones para identificar regiones de búsqueda y generar una mejor exploración (Martí, 2003).

- Recocido Simulado

Basado en el proceso físico de tratamiento térmico de los metales conocido como recocido, donde un metal es llevado al punto de fusión y luego es enfriado gradualmente hasta alcanzar su equilibrio térmico. En la simulación se genera una perturbación y se calcula el cambio resultante en la energía. Si ésta decrece, el sistema se mueve al nuevo estado, en caso contrario se acepta el nuevo estado con una probabilidad dependiendo de la temperatura. Así todo movimiento de mejora en una búsqueda local es aceptada y se permiten movimientos de no mejora con una cierta probabilidad que va disminuyendo conforme se va iterando. Cuando no existen movimientos de mejora el algoritmo finaliza (Martí, 2003).

- Colonia de Hormigas

Basado en el comportamiento de búsqueda de alimento de las hormigas.

Las hormigas empiezan buscando su alimento de forma aleatoria y en su camino segregan una feromona susceptible para otras hormigas, las que encuentran primero el alimento regresan más rápido al hormiguero dejando una mayor concentración de feromona en el camino, el cual, las otras hormigas pueden seguir.

En el algoritmo cada hormiga es un vehículo y se definen parámetros en los arcos, como niveles de feromona, para ir de un nodo a otro. Además se actualizan los niveles de feromona como si ésta se evaporará para evitar caer en óptimos locales (Martí, 2003).

- Computación Evolutiva

Está basada en la evolución de los seres vivos

Evolución de las especies	Computación evolutiva
Las especies se crean	Se da una población inicial factible
Se adaptan, sobreviven los mejores	Se evalúan y se eligen los mejores
Se reproducen	Se mezclan con buenas características
Se crean nuevas especies	Se crean nuevas soluciones

Tabla 1: Computación Evolutiva

Los Algoritmos Genéticos son una técnica de solución de este tipo de problemas.

En el caso de TransCAD© no se sabe qué tipo de algoritmos utiliza para dar sus soluciones pero, por la velocidad se puede suponer que son heurísticas de estos tipos.

4. Generación de un Sistema de Información Geográfica para Transporte (SIG-T)

Para establecer las rutas que deberán emplearse y realizar el análisis de la viabilidad que permita mejorar la forma de distribuir las verduras en los restaurantes gourmet del CHCM, este estudio recurrió a un Sistema de Información Geográfica (SIG) y más específicamente a un Sistema de Información Geográfica para transporte (SIG-T).

El objetivo de este capítulo es describir el proceso de elaboración de dicho sistema y el de hacer la representación del problema de estudio. La representación incluye mostrar la “red” que se va a utilizar, junto a los diferentes atributos de la base de datos relacionada y sus campos respectivos surgidos de los resultados de la encuesta hecha a los restaurantes de la zona de estudio, presentados en el Capítulo 2.

4.1. Sistema de Información Geográfica (SIG)

El SIG puede definirse como un complejo sistema de hardware y software que tiene como objeto la comprensión y análisis de datos espaciales georreferenciados cuyo fin último es ayudar a las diversas actividades humanas donde los datos espaciales tienen un papel determinante (<http://www2.uca.es>).

La característica principal de un SIG es que la información geográfica (mapas) y alfanumérica se analiza de forma integrada para tomar decisiones. Gracias a estos sistemas es posible visualizar los recorridos a través de mapas. Además, la información se maneja por medio de diferentes bases de datos. Esto le permite al usuario una fácil actualización y acceso a los datos del estudio.

Los componentes de los SIG son:

- Hardware
- Software
- Información
- Personal

Estos cuatro elementos permiten al usuario analizar y mostrar la información geográfica, y por tanto contestar las siguientes preguntas (Tinojo, 2004):

- Localización ¿Qué hay en...?
- Condición ¿Dónde sucede que...?
- Tendencias ¿Qué ha cambiado...?
- Rutas ¿Cuál es el camino óptimo...?
- Pautas ¿Qué pautas existen...?
- Modelos ¿Qué ocurriría si...?

Toda la información que genera un SIG depende del tipo, calidad y vigencia de los datos. La información geográfica puede ser de tipo *raster* o de tipo *vectorial* (Figura 9). El primero funciona a través de una retícula que permite asociar datos a una imagen, es decir, la información se relaciona con cada pixel. En el segundo, la información se almacena con coordenadas x, y.

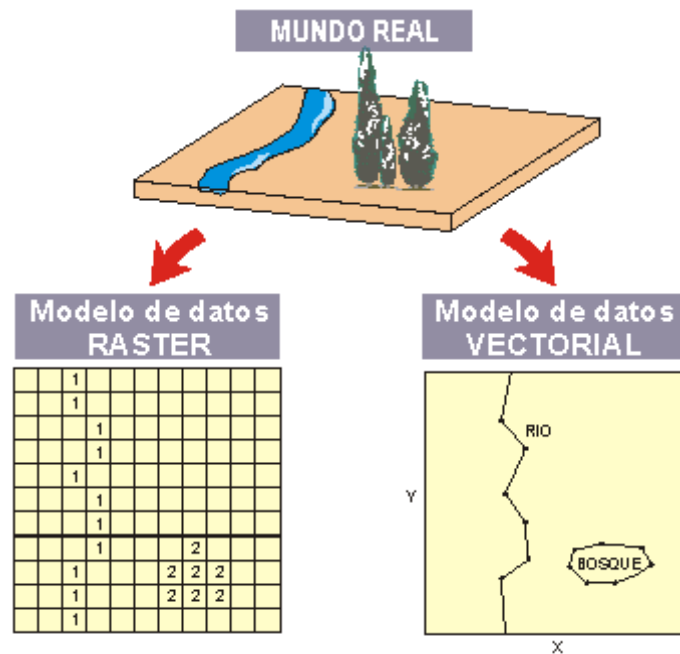


Figura 9: Modelos raster y vectorial

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos14/informageogra/informageogra.shtml>

La estructura de la bases de datos del sistema SIG permite manipular la ubicación geográfica a través de varias capas (Figura 10). Esto permite seleccionar las capas temáticas para facilitar el estudio. Estas capas pueden ser de puntos líneas o polígonos.

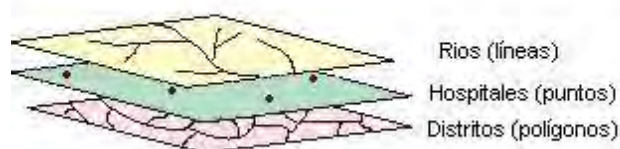


Figura 10: Capas de un SIG

Fuente: Elaboración propia

Los puntos en el mapa permiten la ubicación de lugares específicos como establecimientos, fábricas, centros logísticos o cualquier lugar de interés. Las líneas son usadas para representar calles, caminos, ríos, vías de ferrocarril, etc. Los polígonos se utilizan para marcar áreas específicas dentro del mapa, como regiones, lagos, etc.

SIG-T y TransCAD©

Una de las áreas de aplicación más importante para la tecnología de los SIG son los problemas de transporte, para esto se crearon los SIG-T. La formación de los SIG-T se genera al incorporar algoritmos de problemas de transporte a los SIG. Los softwares como TransCAD© y Arc/Info© son ejemplos de ellos, aunque este último está muy limitado en los modelos de redes que incluye.

Un SIG-T trabaja por medio de matrices, redes, rutas, sistemas de rutas y datos con referencias lineales. Así algunos SIG-T como TransCAD© pueden crear, modificar y analizar los datos y sus resultados permiten modelar:

1. Ruta mínima
2. Diseño de rutas alternativas
3. Flujo en redes
4. Partición, agrupación y regionalización
5. Ubicación-asignación
6. Planeación de transporte (generación-atracción de viajes, distribución de viajes, elección modal y asignación)

Esta investigación recurrió al software TransCAD©, el cual integra un Sistema de Información Geográfica (SIG) con las herramientas de análisis de Transporte diseñado con el objeto de almacenar, mostrar, analizar y presentar los datos de transporte.

El programa requiere que se le incorporen los siguientes datos:

- Redes de transporte. Lo que permite manejar los flujos sobre la red y establecer restricciones o penalizaciones.
- Matrices. Contienen datos como flujos de Origen-Destino, distancias, costos, etc. Su información permite realizar comparaciones entre diferentes opciones.
- Rutas y sistema de rutas. Indican los caminos utilizados por los diferentes medios de transportes. Esta información permite modificar y crear nuevas rutas.
- Datos con referencias lineales. Identifica diferentes rasgos de transporte como la distancia que hay entre puntos o a lo largo de una ruta.

Una vez que el programa TransCAD© recibe dicha información es capaz de proporcionar:

- Herramientas de análisis diseñadas para el transporte, mapeo y visualización.
- Aplicaciones para módulos de creación de rutas, previsión de la demanda de viajes, transporte público, logística y gestión del territorio.
- Agrupación de datos en una capa y cálculo de estadísticas.

Estas nuevas aportaciones se deben a la inclusión de algoritmos como:

- Análisis de redes: Ruta más corta, "Partitioning" de redes, Problema del Agente Viajero
- Análisis de transporte de pasajeros: Modelos de Generación – Producción de Viajes, Modelos de Atracción de Viajes, Algoritmos de Ajuste de Viajes, Modelos de Distribución de Viajes, Modelos de Distribución Modal, P-A de O-D y Matrices Horarias, Modelos de Asignación de Tráfico.
- Modelos de demanda y planificación de transporte
- Organización del territorio y modelos de localización

- Rutas de vehículos y logística: Creación de rutas, Arc Routing, Análisis de distribución de flujos en la red.

También es posible crear bandas alrededor de cualquier punto de interés o área de influencia para analizar sus características, como podría ser la población. Sin olvidar que TransCAD© es ideal para construir bases de datos.

TransCAD© se ejecuta en ambiente Microsoft Windows bajo todos los estándares informáticos conocidos en la actualidad (<http://dynatran.org>).

4.2. Representación de la Red vial del CHCM

La red con la que se trabajó está formada por dos capas en TransCAD©. La primera muestra a los “nodos” que son los puntos de cruces entre los “arcos” y otra con los arcos (que representan a las calles). Cada capa genera una base de datos para poder realizar los análisis deseados.

La red vial del Centro Histórico de la Ciudad de México con la que se trabajó va desde el Eje 1 Norte hasta Fray Servando Teresa de Mier y del Eje Central Lázaro Cárdenas hasta Anillo Circunvalación (Figura 11).

Para verificar la red y sus atributos se requirió de otras dos salidas al CHCM y de reconocer las calles con la que se trabajó posteriormente. El primer recorrido se realizó en automóvil particular y se pudo constatar que no en todas las calles es posible pasar con la clase de vehículo que el estudio propone. El segundo recorrido se hizo a pie para abarcar y asociar las calles con los arcos de la red. De esta manera la red se formó con datos reales para que el modelo proporcione resultados lo más semejantes a lo que sucede en la realidad.

La red tiene una base de datos relacionada con particularidades de cada arco (calle) en la cual se tiene información necesaria para permitir utilizarlas en otro tipo de problemas relacionados con el CHCM.

La red diseñada tiene diferentes atributos referenciados, los cuales se describen a continuación:

- Nombre. Lleva el nombre de las calle por cada arco de la red.
- Tipo. Se refiere al tipo de vía, que puede ser: secundaria, primaria, local y peatonal (Figura 12).

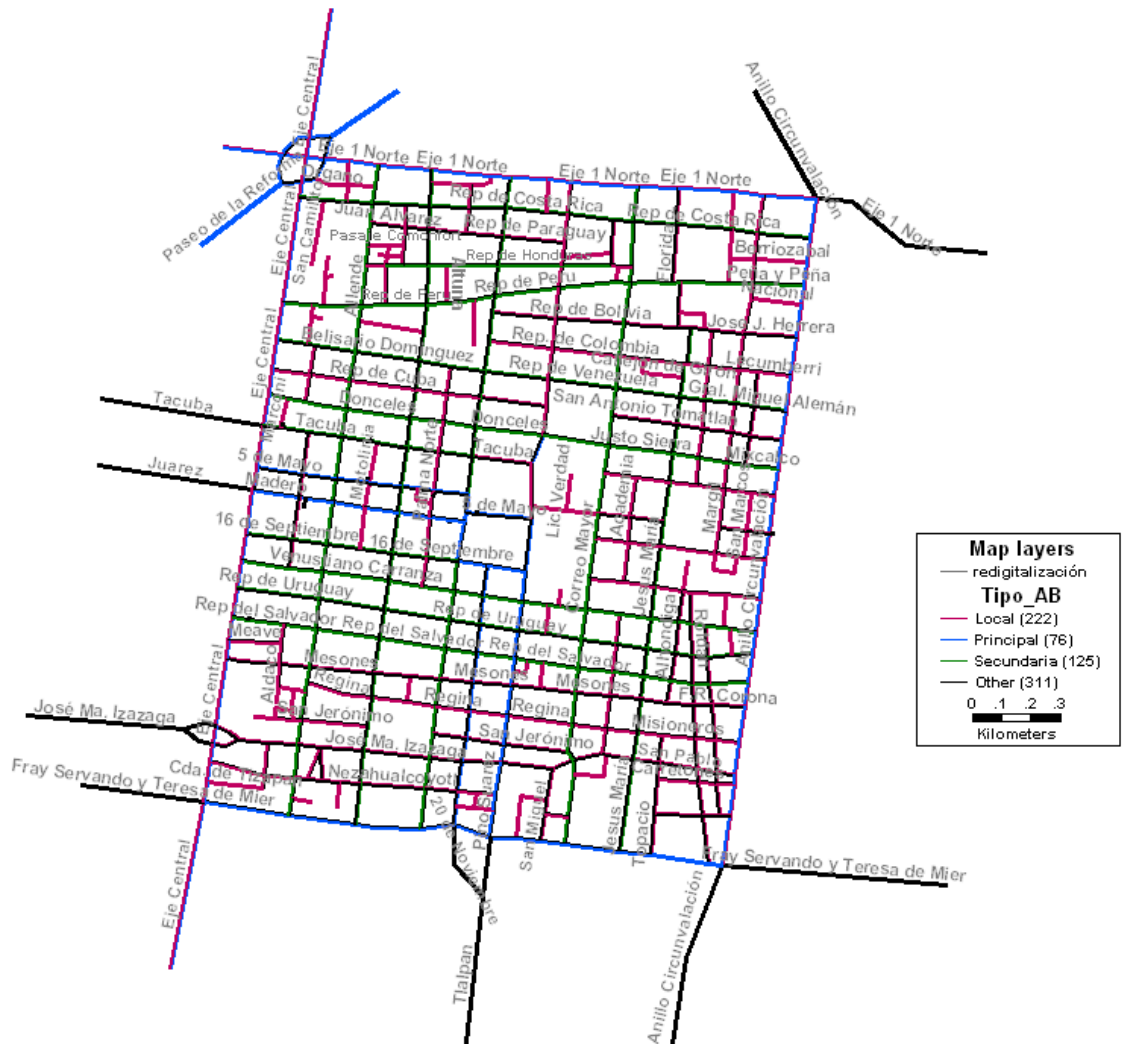


Figura 12: Tipo_AB

Fuente: LTST- Instituto de Ingeniería, UNAM

- Carriles. Desde uno hasta seis carriles por calle (Figura 13).



Figura 13: CarrilesP_AB

Fuente: LTST- Instituto de Ingeniería, UNAM

- Zona. Se refiere a las zonas que forman el CHCM: uno, dos, tres, cuatro (Figura 14).



Figura 14: Zona

Fuente: LTST- Instituto de Ingeniería, UNAM

- Sentidos de circulación. Si el arco de la red fue dibujado en dirección de los flujos de los automóviles lleva el número de uno, si fue dibujado en sentido contrario es -1 y cero cuando es de doble sentido (ver Figura 15).



Figura 15: Sentidos

Fuente: LTST - Instituto de Ingeniería, UNAM

- Distancia. Indica la longitud del arco en kilómetros (Figura 16).



Figura 16: distancias

Fuente: LTST - Instituto de Ingeniería, UNAM

Estos son los principales atributos de la red, pero no se debe de olvidar que se pueden agregar otros campos para facilitar el estudio de la zona.

4.3. Representación de los Restaurantes Gourmets

Otra capa creada en el SIG-T para este estudio permite localizar, por medio de puntos, a los restaurantes a los cuales se les aplicó la entrevista como en la Figura 17. Así las bases de datos de los diferentes restaurantes tienen en sus campos los siguientes atributos:

- Nombre. Lleva el nombre del restaurante.
- Dirección. Es la calle y el número donde se encuentra (algunas no tienen número)



Figura 17: localización de restaurantes

Fuente: Elaboración propia

- Ventanas de tiempo (inicio y fin). Las ventanas representan a los períodos de tiempo donde cada restaurante acepta la mercancía (ver Figura 18 y Figura 19). Estos horarios fueron identificados mediante los cuestionarios que se aplicaron y cuyos resultados pueden apreciarse en el Capítulo 2.



Figura 18: Inicio de la ventana de tiempo

Fuente: Elaboración propia



Figura 19: Fin de la ventana de tiempo

Fuente: Elaboración propia

- Demanda. Se refiere a la cantidad de verduras (medida en kilos) que demanda cada establecimiento encuestado. Como se muestra en la Figura 20.



Figura 20: Demanda
Fuente: Elaboración propia

Al SIG-T se le añadió otra capa para representar la localización del centro Logístico con respecto al CHCM (Figura 21).



Figura 21: Capa del depósito
Fuente: Elaboración propia

Finalmente el SIG-T en TransCAD© quedó diseñado con su capa de calles (arcos), restaurantes (puntos) y depósito (punto).

Para relacionar las capas, TransCAD© permite conectar cada punto con el punto más cercano por medio de un pequeño arco que se puede dibujar de manera perpendicular al arco correspondiente. En la base de datos estos arcos (calles) reciben el nombre de conectores.

Para que el modelo se asemeje a la realidad se debe tomar en cuenta que los restaurantes son una capa que contienen exclusivamente puntos, donde no se manejan las áreas reales de cada establecimiento. Cabe agregar que algunos restaurantes poseen dos entradas: una para los clientes y otra para los proveedores. Estos detalles provocaron varias diferencias en la ubicación de estos restaurantes, pero son mínimas a la hora de trabajar con los resultados.

5. Rutas Óptimas de Distribución de Verduras Precortadas en el CHCM

El presente capítulo explica cómo se logró identificar la localización óptima del Centro Logístico o de acopio para la distribución y corte de verduras, entre la Central de Abastos y el CHCM. También describe las diferentes opciones de rutas para transportar y distribuir la carga del Centro Logístico a los diferentes clientes ubicados en el CHCM.

El programa que se utilizó para cumplir con los propósitos enunciados arriba se llama TransCAD©, y permite la optimización o suboptimización de rutas. Esta suboptimización se logra al aplicar diferentes algoritmos, los cuales dependen del tipo de problema que se desea resolver. El algoritmo utilizado fue aquél que resuelve Problemas de Rutas de Vehículos con Ventanas de Tiempo.

A TransCAD© se le integró la información que previamente se recogió a través de la encuesta realizada a los clientes potenciales. Ahí quedó registrada la demanda y los horarios de recepción, entre otros. A partir de esta información, el programa trazó las rutas que tratan de minimizar el tiempo o la distancia, de acuerdo a las restricciones impuestas por los clientes, de esta manera, identificar la que mejor convenga para cumplir los objetivos de esta investigación.

5.1. La Selección de la Ubicación del Centro Logístico

La selección de la ubicación óptima del Centro Logístico debió tomar en cuenta los lugares geográficos donde se encuentran el CHCM y la Central de Abastos de la CM. Por tanto, la primera condición para instalar el CL fue que se

localizara entre la Central de Abasto y los potenciales restaurantes ubicados en el CHCM.

El lugar escogido para instalar un Centro Logístico con las capacidades necesarias para ser usado como punto de distribución al CHCM, debió contemplar otra restricción. El CL debía instalarse en un local con permiso de uso de suelo industrial, es decir, donde se permite la instalación de todo tipo de industria, ya sea mediana o ligera, siempre y cuando cumplan con la autorización en materia ambiental, por lo que se excluyeron todas aquellas zonas de uso de suelo habitacional exclusivamente.

La última restricción establecía que el local contara con el espacio suficiente para llevar a cabo el valor agregado, es decir, los servicios adicionales que la empresa proporciona para la distribución de dichas mercancías. Esto es que hubiera espacio para el lavado, el cortado y el empaquetado de las verduras. También tomó en cuenta otro pequeño espacio para el almacenamiento y el control de inventarios, así como el espacio para el estacionamiento de los vehículos asignados para la distribución.

Dadas las características de las mercancías involucradas –vegetales perecederos- los vehículos que se usan para su traslado no tienen limitación para circular, de manera que pueden entrar a la zona seleccionada a cualquier hora del día. Gracias a esta ventaja no se necesita recurrir a ninguna restricción de tiempo con respecto a la nueva restricción a la circulación para camiones de carga en el CHCM. Dado que es posible hacer el recorrido a cualquier hora del día se pueden elegir horarios de recorrido que contribuyan a reducir la congestión vial y las emisiones dentro de la zona.

La Figura 22 muestra el mapa de la zona de estudio, es decir, el área que hay entre el CHCM (círculo color azul intenso) y la Central de Abasto (Círculo color azul pálido). Después de una búsqueda cuidadosa se concluyó que sólo existía

un lugar que tenía las características exigidas para desarrollar el centro logístico planeado. Marcada con una circunferencia de color morado, se encuentra el área seleccionada.



Figura 22: Localización geográfica

Fuente: Google Earth

La zona seleccionada se encuentra ubicada en la Delegación Iztacalco. Sus límites son: el Viaducto Río de la Piedad, al Norte; el Eje 4 Sur, al Sur; el Circuito Interior Río Churubusco al Este y la Avenida Azúcar, al Oeste. El resto del territorio entre la central de Abastos y CHCM tiene uso de suelo habitacional. La Figura 23 muestra el espacio geográfico seleccionado.



Figura 23: Zona industrial

Fuente: Google Earth

Una vez escogida la zona para instalar el Centro Logístico, se procedió a medir la distancia y los caminos potenciales entre la Central de Abastos y el Centro logístico. Después se tomó en cuenta la restricción de que el traslado desde la Central de Abastos al Centro Logístico se haría en camiones de carga. El programa de TransCAD© sirvió para el cálculo de estas distancias.

Esta operación dio como resultado la ruta en vías por donde los camiones de carga pueden circular, la cual puede observarse en la Figura 24. Este camino sale de la Central de Abastos por Apatlaco, dobla hacia el norte por el Eje 3 Oriente (Azúcar) hasta llegar a la zona industrial y de ahí da vuelta a la izquierda por la calle de Cafetal o Añil o la lateral del Viaducto Río de la Piedad, de acuerdo la ubicación exacta del centro de acopio.



Figura 24. Ruta mínima desde la Central de Abastos al Centro Logístico
Fuente: Red para camiones de carga de la zona metropolitana (LTST-II-UNAM)

La distancia calculada entre la Central de Abastos y el Centro de Acopio es de aproximadamente 3.637 Km. Si se supone una velocidad promedio de 60 km/h (<http://www.luchemos.org>), entonces se tiene un tiempo aproximado de 3.637 minutos entre ambos puntos, a velocidad de flujo libre.

Una operación similar se hizo para calcular el viaje de regreso, es decir, del Centro Logístico a la Central de Abastos. La ruta puede observarse en la Figura 25. El tiempo de este trayecto sería de 4.7 minutos a flujo libre. Esta vez el vehículo sale al Viaducto Río de la Piedad rumbo al oriente y da vuelta a la derecha en la Avenida Javier Rojo Gómez hasta llegar a la avenida Leyes de Reforma, a la cual se incorpora rumbo al poniente, hasta llegar a la entrada de la Central de Abastos por Apatlaco.

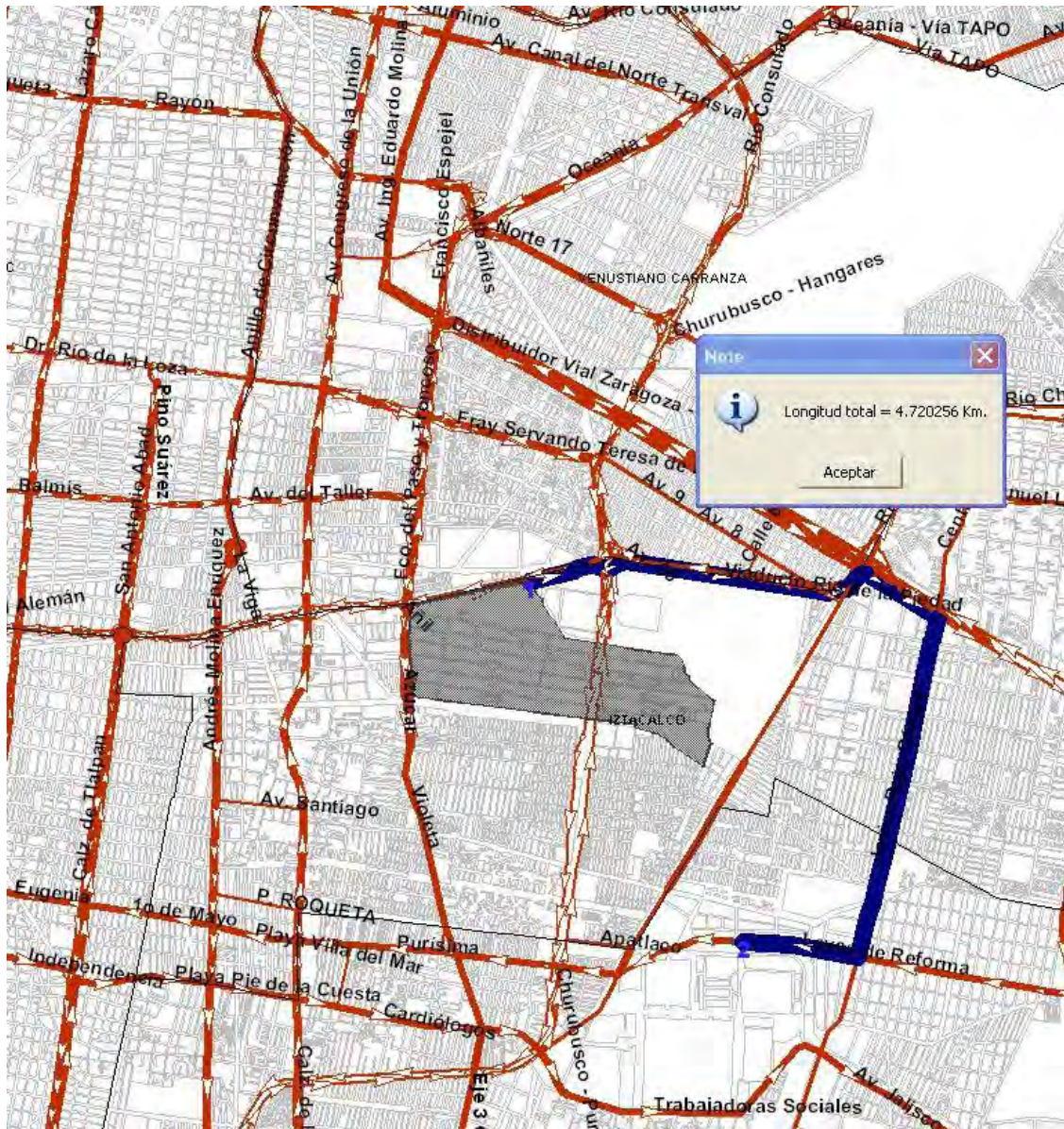


Figura 25: Ruta mínima desde el Centro Logístico a la Central de Abastos
Fuente: Red para camiones de carga de la zona metropolitana (LTST-II-UNAM)

El siguiente paso de este proceso consistió en calcular la ruta óptima del Centro logístico o de acopio al CHCM. El trayecto tomaría 5.53 minutos a flujo libre (80km/h)), si se toma en cuenta que la distancia calculada es de 7.384507 Km, pues se trata de una camioneta (<http://www.luchemos.org>).

La ruta obtenida estipula que el vehículo se incorpore al Viaducto Río de la Piedad rumbo al oriente, doble en Circuito Interior Río Churubusco hacia el

norte, por la lateral, hasta llegar a la avenida Fray Servando y dé una vuelta en “U para regresar por el Circuito Interior, esta vez rumbo al sur, y posteriormente dar vuelta sobre el Viaducto rumbo al poniente, hasta llegar al eje Central Lázaro Cárdenas, al cual se incorpore rumbo al norte. Dicha vía lleva directamente a la zona del CHCM donde se encuentra el área de restaurantes seleccionados, Véase la Figura 26.

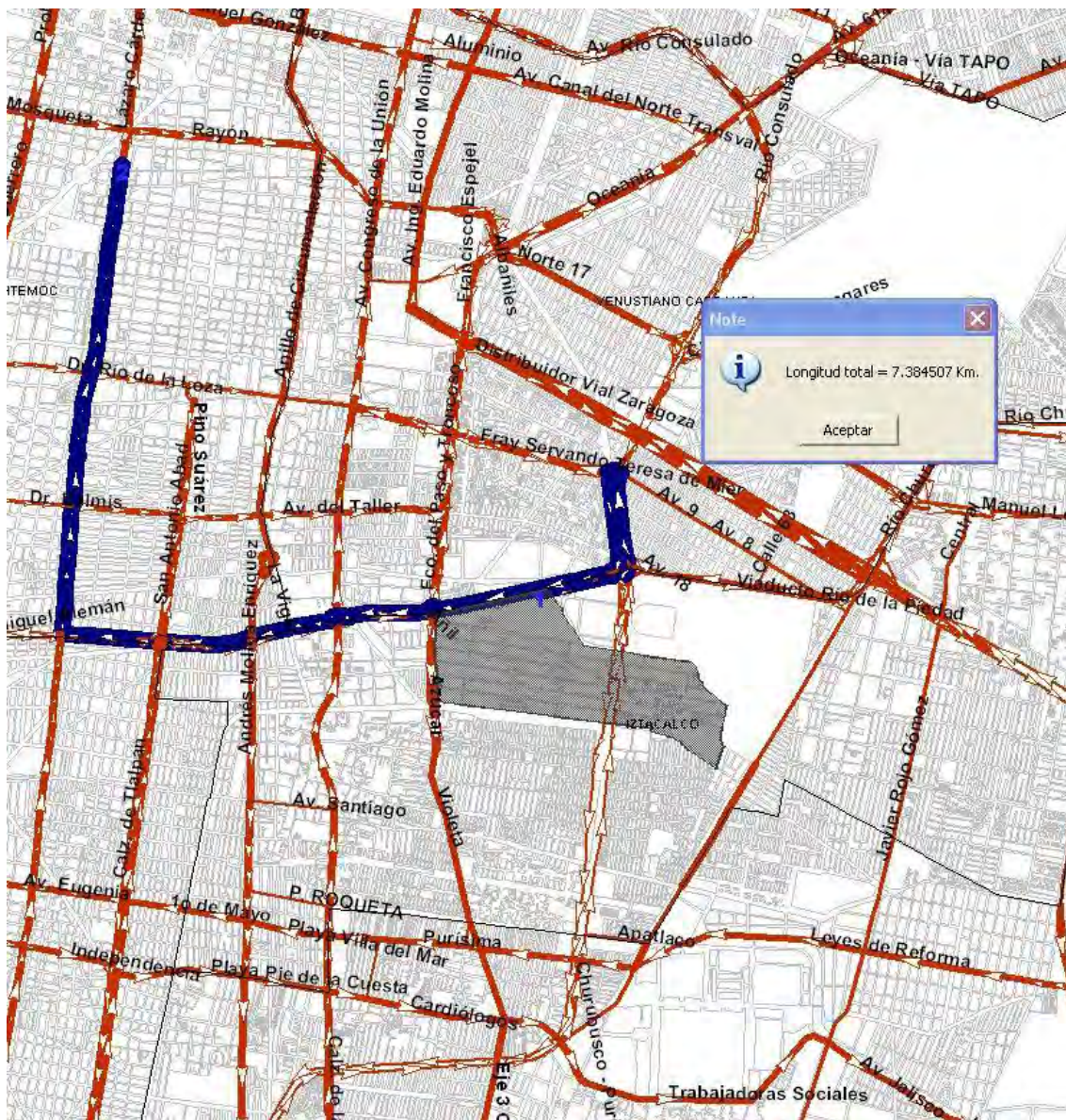


Figura 26: Ruta más corta del Centro Logístico al CHCM
Fuente: LTST-II-UNAM

La ruta más corta para el regreso del transporte al Centro Logístico propone salir de nuevo al eje Central Lázaro Cárdenas y dirigirse al norte hasta el Eje 1 Norte Rayón con el objeto de rodear el CHCM e incorporarse al Circuito Interior rumbo al sur. Esta vía lleva directamente a la zona industrial de Iztacalco y tiene una distancia de 5.5 km, y el tiempo de recorrido se calcula en 4.14 minutos a flujo libre. Véase la Figura 27.

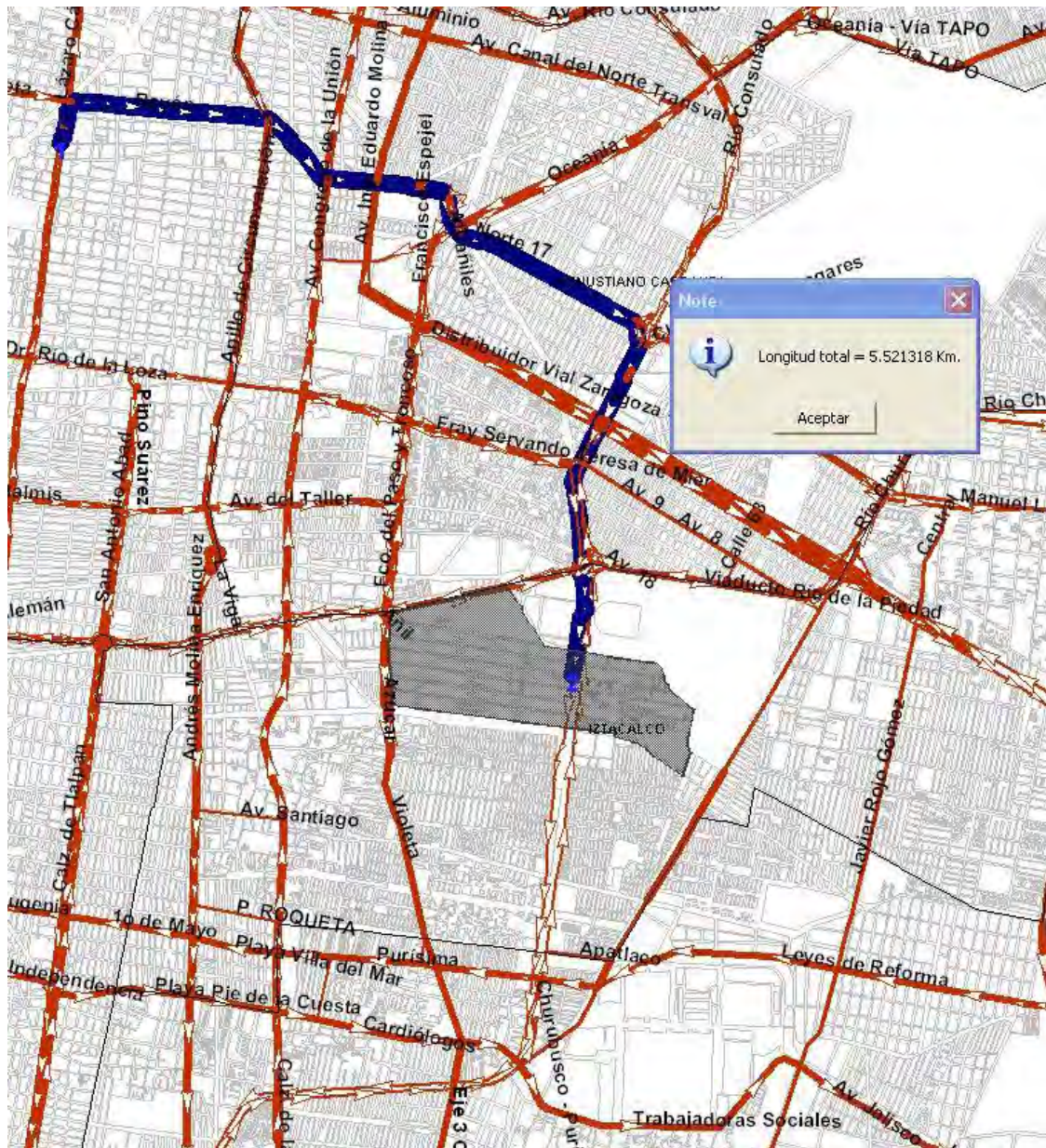


Figura 27: Ruta mínima del CHCM al Centro Logístico
Fuente: LTST-II-UNAM

Otra ruta de salida del CHCM consiste en salir por el sur, esto es por la calle de Pino Suárez, hasta la calle Fray Servando Teresa de Mier e incorporarse al Anillo circunvalación, después tomar el Viaducto hasta llegar a su destino. Como el transporte es una camioneta no tiene restricción para circular por esta vía. De esta manera la camioneta regresa al Centro Logístico. La distancia recorrida es de 3.66 km, por lo que la camioneta a 80km/h tardará 2.745 minutos en regresar al Centro Logístico (ver Figura 28).

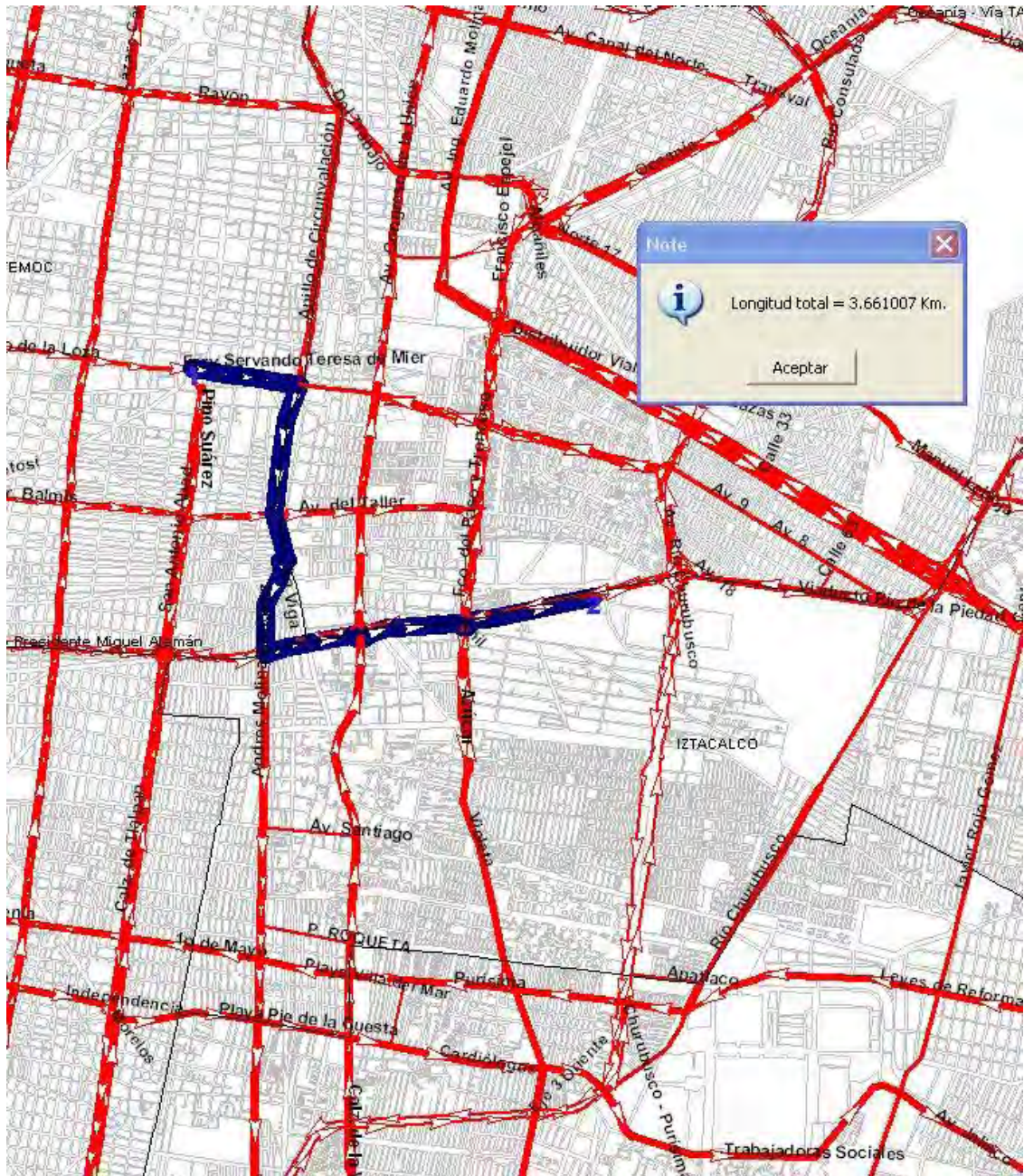


Figura 28: Ruta mínima del CHCM al Centro Logístico por el sur

Fuente: LTST-II-UNAM

Los tiempos de recorrido que se tomaron en cuenta fueron con flujo libre, esto quiere decir que un vehículo puede circular a las velocidades antes mencionadas de forma continua, sin interrupciones por tráfico. Ahora bien, si se toma en cuenta el tráfico vehicular, sobre todo en horas pico, pueden incrementarse los tiempos de viaje calculados, 20 minutos o más según las condiciones que afecten la zona. Estos factores aumentan un tiempo considerable los trayectos. Dada la escasa distancia no hay alternativas para hacer el recorrido más rápido.

5.2. Rutas para Distribuir del Centro de Logístico a los Restaurantes

Al generar un escenario con los horarios de entrega de alimentos con los cuales los restaurantes trabajan actualmente, se descubrió que debido a su diversidad se necesitarían muchas rutas para complacer a todos los clientes. Esto exigiría una gran cantidad de viajes y vehículos, con lo cual el objetivo de reducir la cantidad de vehículos que entran el CHCM no se cumpliría.

Las ventanas de tiempo (horarios de recepción de materias primas) que reportaron los restaurantes mostraron una gran variación, según las respuestas que dieron los encargados de las compras de los restaurantes entrevistados. En el caso de aquellos que realizan sus compras directamente en la central de abastos, la “ventana de tiempo” iría desde que salen a comprar las verduras hasta que regresan al establecimiento. Para los que reciben su materia prima por medio de un proveedor, se tomó en cuenta la ventana de tiempo de una hora a partir de la hora en la que actualmente reciben los vegetales. El problema que se detectó con este escenario es que el vehículo necesitaba hacer varios recorridos.

Como la zona donde se encuentran los restaurantes es muy pequeña y los tiempos para la recepción de pedidos son muy variados, el resultado es que la camioneta debe regresar al centro logístico una y otra vez. Bajo estas restricciones no se logra una reducción del costo de distribución de las verduras en el CHCM. Sin embargo, si existiera una política para el CHCM que impulsara una cooperación entre los restaurantes para abrir sus depósitos de acuerdo a las exigencias del Centro Logístico, ya sea porque los costos sean menores o porque fueran acatadas las políticas del gobierno de la ciudad, entonces, la distribución de alimentos podría optimizarse dramáticamente. Cuatro son los escenarios diseñados para representar esta condición.

1. Dos rutas, en la mañana y en la tarde
2. Dos rutas, en la mañana y en la tarde, con tráfico.
3. Una ruta
4. Una ruta con tráfico

En las secciones siguientes se presentan estos escenarios, según si se busca minimizar el tiempo o la distancia, y además se hacen comparaciones entre ellos.

5.3. Distribución a los Restaurantes mediante Dos Rutas

Este diseño contempla dos rutas de entrega de productos, una en la mañana y otra en la tarde. La ruta para la distribución de la mañana abarca un horario de las 8 a las 10 horas. Para la ruta de la tarde el horario va de las 17 horas hasta alrededor de las 20 horas. Ambos horarios se seleccionaron de acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta.

Para crear esta alternativa se utilizaron las “ventanas de tiempo” ya capturadas en el programa de TransCAD®, de la base de datos creada según los resultados de la encuesta. Ahí se seleccionaron los restaurantes según recibían su mercancía en la realidad, fuera en la mañana o en la tarde. Esta

selección fue como sigue: para la entrega de la mañana, aquellos restaurantes que aceptaban recibir productos hasta antes de las 11 am; y el resto de los restaurantes se agruparon en la tarde para la segunda ruta.

Para probar esta situación se hizo la suposición de ocupar 5 minutos de descarga por cada kilo de mercancías que es entregada. Por otra parte, no se necesitó recurrir a restricciones en la capacidad de los vehículos, pues la capacidad de las camionetas propuestas para la operación alcanzaba para satisfacer la demanda de los restaurantes en las rutas.

5.3.1. Minimización del tiempo de recorrido con dos rutas, una en la mañana y otra en la tarde

La ruta de la mañana que minimiza el tiempo de recorrido sin tomar en cuenta el tráfico, inicia a partir del Centro Logístico y sigue la ruta previamente obtenida hasta llegar al Eje Central Lázaro Cárdenas; después dobla hacia la derecha en la calle Venustiano Carranza, hasta la calle de Bolívar y vuelve a doblar en República de Uruguay. Ahí atiende al restaurante Centro Castellano. Luego entra de nuevo al Eje Lázaro Cárdenas para tomar la calle de Francisco I. Madero, y entregar los pedidos al Bar Gante. Luego se sigue hasta la calle Isabel la Católica para después subir por la calle de Tacuba y distribuir al restaurante México Viejo. Posteriormente se sigue hasta la calle Marconi donde descarga los productos en el Mesón Andaluz. A continuación, el vehículo toma la calle de Donceles y baja por la calle Allende para regresar a la calle de Madero y así dejar la carga al restaurante Vértigo Café. Después, la camioneta rodea la plaza de la Constitución para llegar al restaurante Balcón del Zócalo.

Para salir del Centro Histórico, el vehículo tiene que volver a dar media vuelta a la plaza y se incorpora a Pino Suárez para salir por el sur del CHCM. De esta manera regresa al depósito (centro logístico). La ruta de la mañana puede

visualizarse en la Figura 29, con la línea naranja. El orden de entrega, con los tiempos de la entrega matutina, puede verse en la primera parte de la Figura 30.

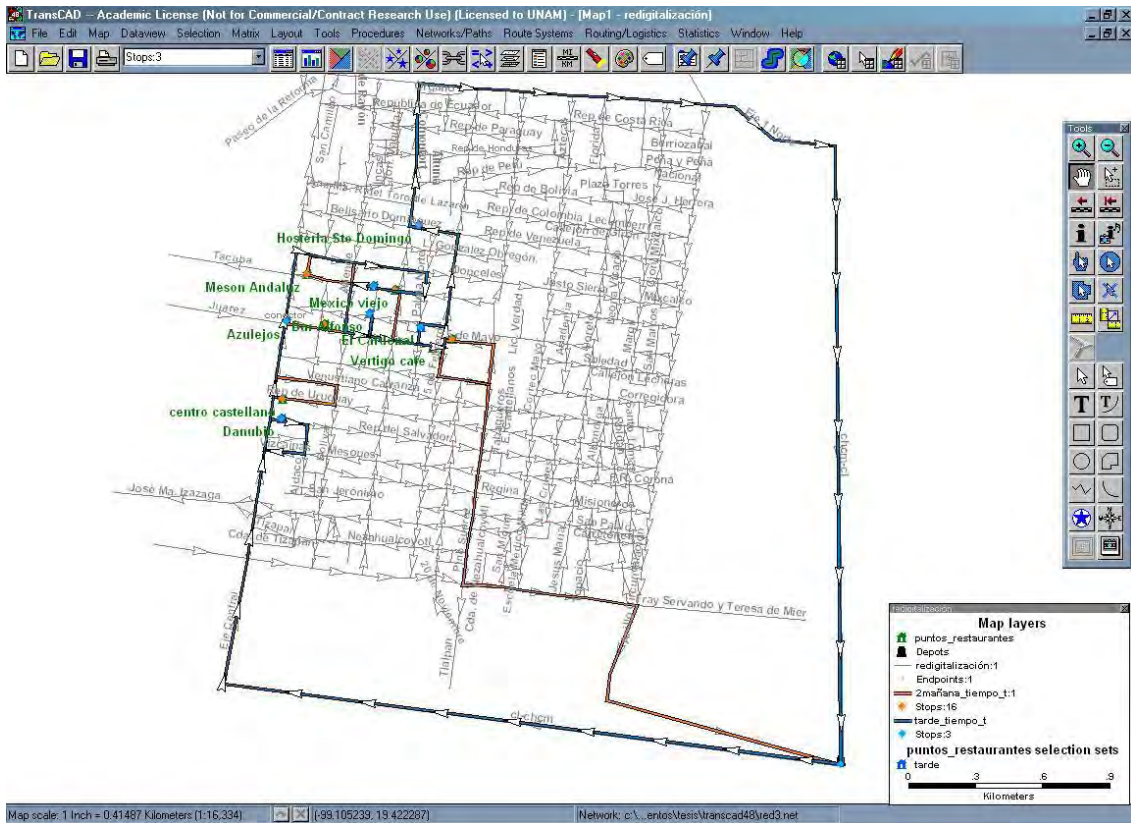


Figura 29: Dos rutas con tiempo de recorrido mínimo, una en la mañana y otra en la tarde.

Fuente: Elaboración propia

vrptw_it_mt_tiempo_t - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 1:45 Capacity : 100000.0
Veh. Type: 1 Tot Dist: 13.1 Depart Load: 1730.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	centro castellano	8:05am- 8:24am	4.7	380.0
2	Bar gante	8:25am- 8:38am	0.5	250.0
3	Mexico viejo	8:39am- 8:54am	0.5	300.0
4	Meson Andaluz	8:55am- 9:11am	0.4	300.0
5	Vertigo cafe	9:13am- 9:21am	1.0	160.0
6	balcon del zocalo	9:22am- 9:40am	0.7	340.0
	END deposito	9:45am	4.9	
Total			13.1	1730.0

Route # : 2 Tot Time: 2:49 Capacity : 100000.0
Veh. Type: 1 Tot Dist: 13.8 Depart Load: 2930.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	4:55pm		
1	Danubio	5:00pm- 5:20pm	4.0	380.0
2	Azulejos	5:21pm- 5:53pm	1.0	630.0
3	Cafe tacuba	5:56pm- 6:19pm	1.2	450.0
4	Bar Alfonso	6:20pm- 6:52pm	0.5	630.0
5	El Cardenal	6:54pm- 7:15pm	0.6	420.0
6	Hosteria sto Domingo	7:17pm- 7:38pm	0.8	420.0
	END deposito	7:45pm	5.4	
Total			13.8	2930.0

Figura 30: Itinerario de las rutas con tiempo de recorrido mínimo, mañana y tarde.
Fuente: Elaboración propia

La ruta de la tarde tiene un rango de tiempo que va de las 16:55 a las 20 horas. En este caso, la camioneta llega al Eje Central Lázaro Cárdenas. Una vez ahí da vuelta en la calle República del Salvador y hace su entrega al restaurante Danubio. Luego da la vuelta a la cuadra hasta la calle de Vizcaínas y vuelve a

entrar al eje Lázaro Cárdenas, hasta el restaurante de los Azulejos y hacer su entrega. Una vez cubierto ese pedido se sigue por el Eje Central hasta la calle de Donceles, dobla por la calle de Palma, y se incorpora a Tacuba para entregar su pedido al Café Tacuba. Luego, da vuelta en la calle de Allende para llegar a la calle Madero y entregar el pedido al Bar Alfonso, para ello es necesario entrar a pie. Para terminar el recorrido, la camioneta da una vuelta a la cuadra en República de Brasil y así entrega su pedido al restaurante El Cardenal. De ahí aprovecha para tomar la calle de República de Brasil y entrar a la calle Belisario Domínguez y hacer su entrega a la Hostería de Santo Domingo y terminar sus entregas.

La salida del CHCM se hace por la calle República de Chile que se convierte en Comonfort hasta llegar al Eje 1 Norte, y de ahí incorporarse al Circuito Interior, véase la Figura 29, la línea azul. El horario de entrega para cada restaurante asignado a esta sección se puede ver en la parte de abajo de la Figura 30.

5.3.2. Minimización del tiempo de recorrido con dos rutas y considerando tráfico

Para lograr resultados que se apeguen con mayor fidelidad a la realidad del tráfico, se obtuvieron los datos de velocidad promedio en la zona, mediante un sondeo realizado en el LTST del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Con esta nueva información se volvió a buscar la mejor ruta, por medio del programa de TransCAD©. Los resultados permiten observar algunos cambios en las rutas seguidas, así como el aumentó en el tiempo de recorrido final (véase Figura 31).

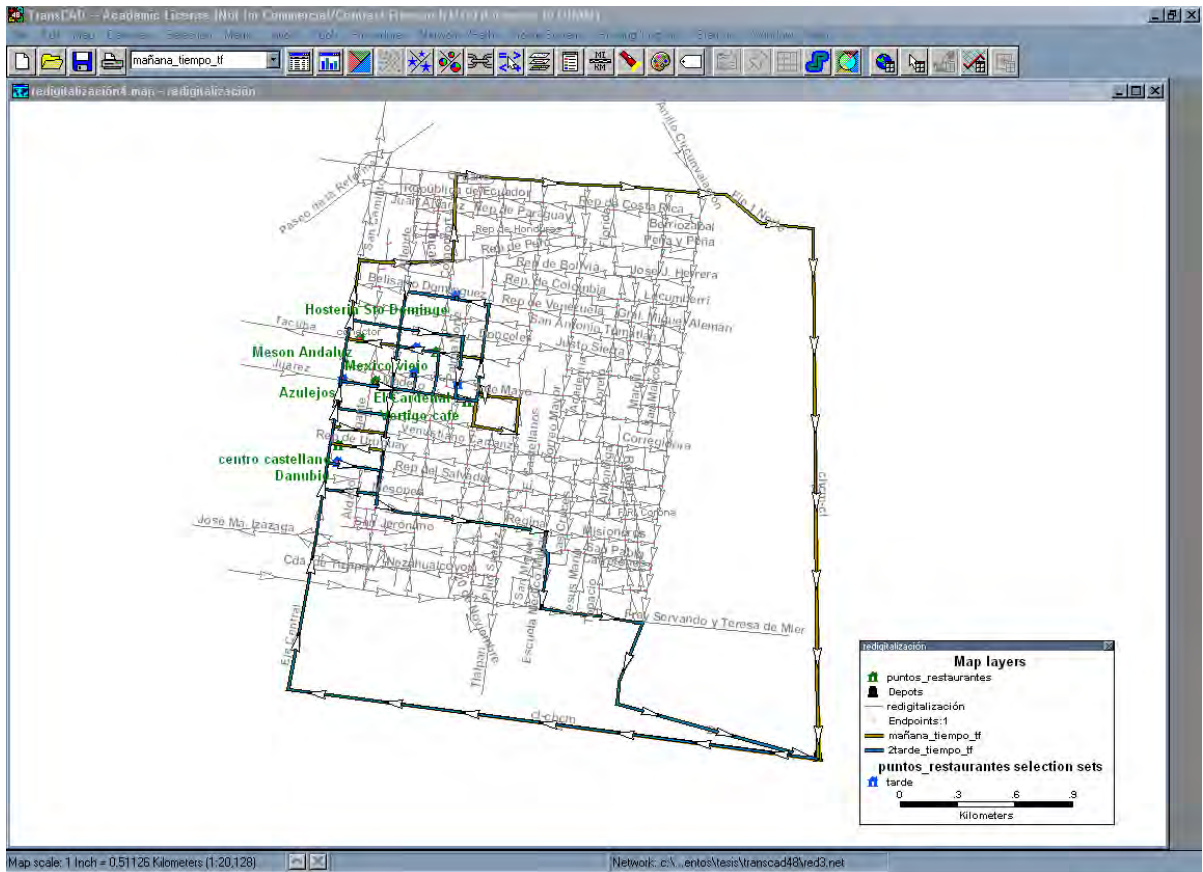


Figura 31: Dos rutas (mañana y tarde) con tiempo de recorrido mínimo, considerando tráfico.

Fuente: Elaboración propia

vrplw_it_mañana_tiempo_tf - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 1:50 Capacity : 100000.0
Veh. Type: 1 Tot Dist: 13.7 Depart Load: 1730.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	centro castellano	8:05am- 8:24am	4.7	380.0
2	Bar gante	8:25am- 8:38am	0.5	250.0
3	vertigo cafe	8:40am- 8:48am	0.5	160.0
4	balcon del zocalo	8:50am- 9:08am	0.7	340.0
5	Mexico viejo	9:09am- 9:24am	0.4	300.0
6	Meson Andaluz	9:25am- 9:41am	0.4	300.0
	END deposito	9:50am	6.2	
Total			13.7	1730.0

Route # : 2 Tot Time: 3:10 Capacity : 100000.0
Veh. Type: 1 Tot Dist: 14.9 Depart Load: 2930.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	4:55pm		
1	Bar Alfonso	5:00pm- 5:32pm	4.8	630.0
2	Cafe tacuba	5:42pm- 6:05pm	0.1	450.0
3	Azulejos	6:07pm- 6:39pm	0.9	630.0
4	El Cardenal	6:42pm- 7:03pm	1.1	420.0
5	Hosteria Sto Domingo	7:05pm- 7:27pm	0.8	420.0
6	Danubio	7:32pm- 7:51pm	1.8	380.0
	END deposito	8:06pm	5.1	
Total			14.9	2930.0

Figura 32: Itinerario de las rutas (mañana y tarde) con tiempo de recorrido mínimo, considerando tráfico.

Fuente: Elaboración propia

En las rutas seleccionadas por horarios en donde se toma en cuenta el tráfico, se notaron cambios en el orden de entrega de los restaurantes. En la mañana, en lugar de repartir al restaurante México Viejo y después dirigirse al Bar Gante, el transporte se sigue por Madero para descargar en Vértigo Café. Luego da la vuelta a la plaza de la Constitución para llegar al restaurante

Balcón del Zócalo, para después subir por la calle República de Brasil y girar en la calle de Tacuba para hacer la entrega a los restaurantes México Viejo y Mesón Andaluz. Para terminar retoma el Eje Central y desvía por la calle República de Perú para incorporarse a la calle de Comonfort y hacer el regreso al depósito por la parte norte del CHCM, igual que en la ruta que no considera el tráfico.

La ruta de la tarde, en cambio, cambia el orden de entrega. El vehículo primero pasa por el Bar Alfonso y luego se dirige al Café Tacuba. Luego baja por la calle 16 de septiembre, para regresar a la calle de Madero y descargar en el restaurante los Azulejos. De ahí el transporte entra por la calle de Donceles, y se sigue por la calle de Palma para llegar a restaurante El Cardenal. Después, sube por la República de Brasil para ir a la Hostería de Santo Domingo y descargar, luego se sigue por la calle de Bolívar, da una vuelta a la cuadra en la calle de Vizcaínas para hacer la última entrega al restaurante Danubio.

El vehículo sale por la calle de Regina y toma la calle Escuela Médico Militar, para terminar su salida por el Norte. Véase la Figura 31. El itinerario de las rutas, en el cual se puede apreciar el orden de entrega, se presenta en la Figura 32.

5.3.3. Comparación de las dos rutas con mínimo tiempo de recorrido, con y sin considerar tráfico

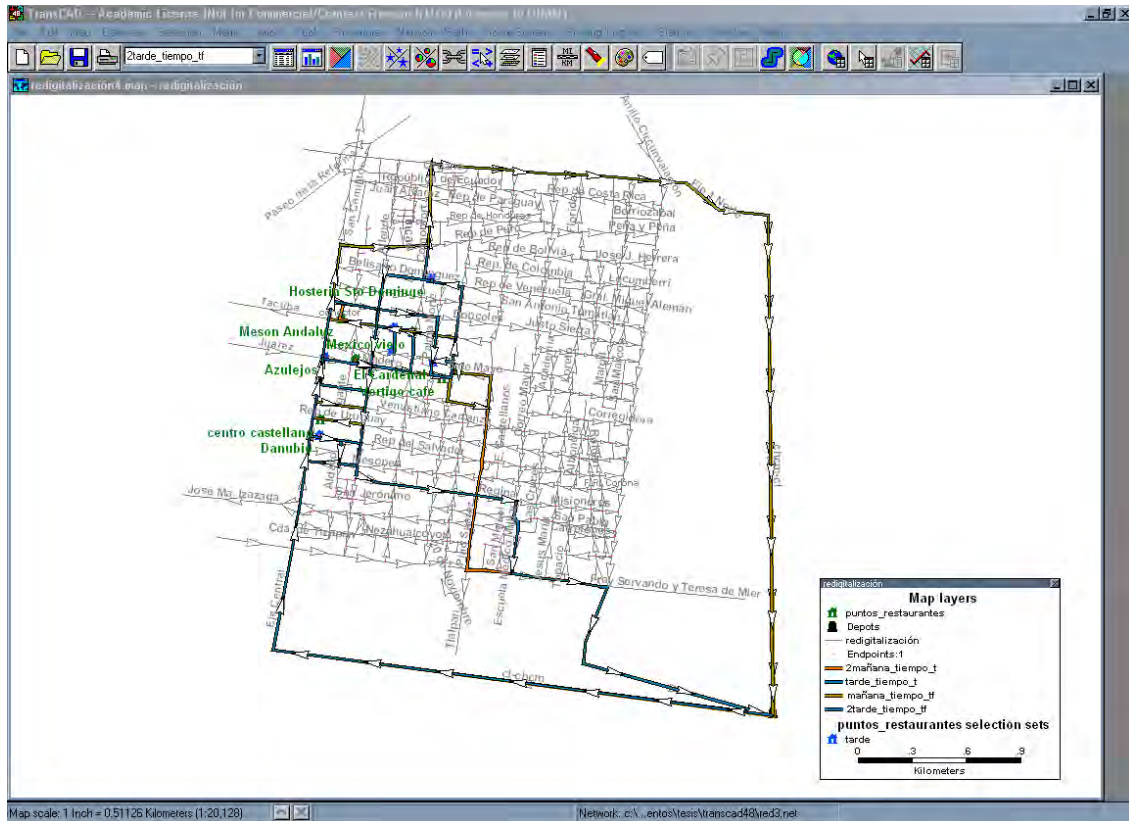


Figura 33: Comparación de las rutas (mañana y tarde) con tiempo de recorrido mínimo, con y sin considerar tráfico.

Fuente: Elaboración propia.

Si se hace la comparación entre la ruta que no toma en cuenta el tráfico en la zona y la que lo considera (Figura 33), puede notarse que el recorrido en la ruta de la mañana aumenta el tiempo de recorrido en casi 5 minutos cuando se considera el tráfico. En el escenario de la tarde se registraron cambios hasta de 21 minutos en los tiempos de traslado. Si se toma en cuenta que es una zona muy pequeña, la diferencia de tiempo es considerable.

Los tiempos y distancias obtenidos de la minimización del tiempo de recorrido en dos rutas, una para la mañana y otra para la tarde, se presentan en la Tabla.

	Sin Tráfico		Con tráfico	
Tiempo	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
horas	1:45	2:49	1:50	3:10
Distancia	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Km	13.1	13.8	13.7	14.9

Tabla 12: Resultados de la minimización del tiempo de recorrido con dos rutas

5.3.4. Minimización de la distancia recorrida con dos rutas, una en la mañana y otra en la tarde

La minimización de la distancia del recorrido también fue realizada mediante el programa TransCAD©. Aunque en este caso de estudio, el área es relativamente pequeña, conocer cuál es el recorrido que mejora la distancia también puede servir para minimizar los costos. Para tratar de minimizar la distancia, se vuelve a correr el programa pero sustentado la matriz de costos sobre la distancia. Los resultados se describen a continuación (ver Figura 34 y Figura 35).

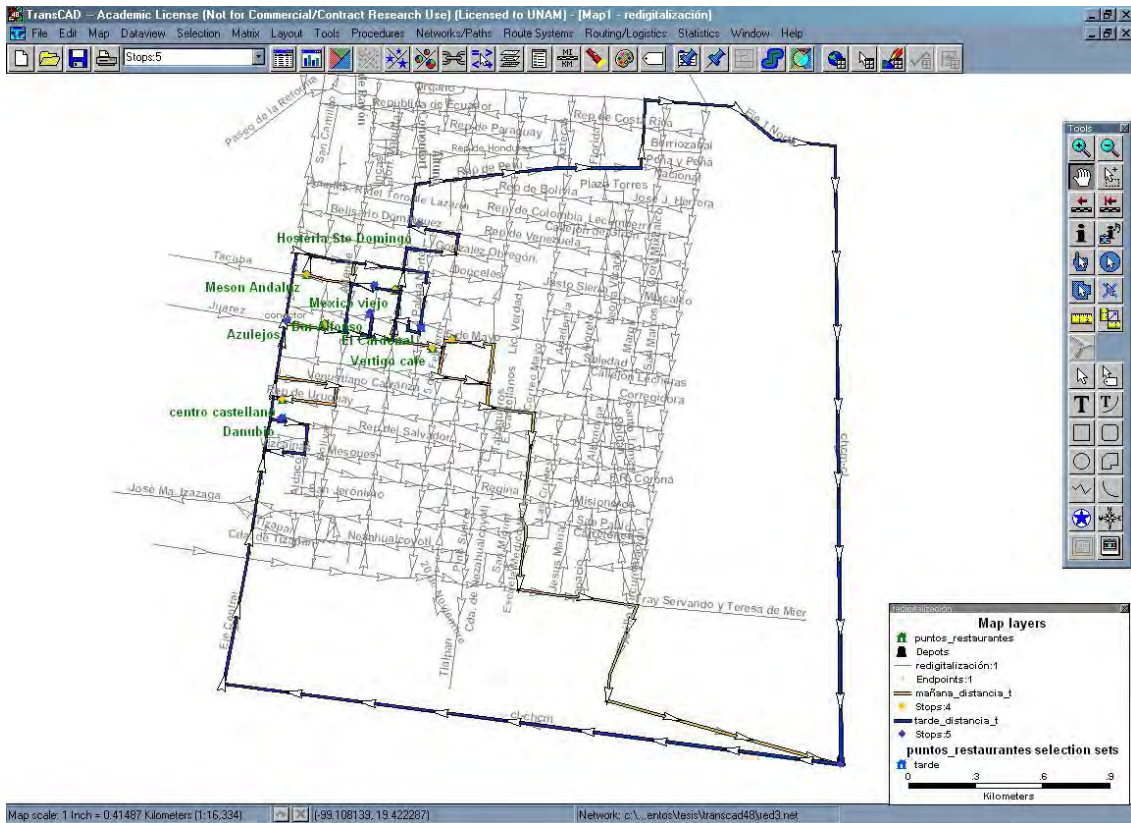


Figura 34: Dos rutas con distancia mínima recorrida, una en la mañana y otra en la tarde.
Fuente: Elaboración propia

vptw_it mañana_distancia_1 - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 1:49 Capacity : 100000.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 13.1 Depart Load: 1730.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	centro castellano	8:08am- 8:28am	4.7	380.0
2	Bar gante	8:29am- 8:42am	0.5	250.0
3	Mexico viejo	8:43am- 8:58am	0.5	300.0
4	Meson Andaluz	8:59am- 9:14am	0.4	300.0
5	vertigo cafe	9:16am- 9:25am	1.0	160.0
6	balcon del zocalo	9:26am- 9:43am	0.7	340.0
	END deposito	9:49am	4.9	
Total			13.1	1730.0

Route # : 2 Tot Time: 2:53 Capacity : 100000.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 13.6 Depart Load: 2930.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	4:52pm		
1	Danubio	5:00pm- 5:20pm	4.0	380.0
2	Azulejos	5:21pm- 5:53pm	1.0	630.0
3	El Cardenal	5:56pm- 6:17pm	1.1	420.0
4	Cafe tacuba	6:18pm- 6:41pm	0.4	450.0
5	Bar Alfonso	6:43pm- 7:15pm	0.5	630.0
6	Hosteria Sto Domingo	7:18pm- 7:39pm	1.1	420.0
	END deposito	7:46pm	5.3	
Total			13.6	2930.0

Figura 35: Itinerario de las rutas con distancia mínima de recorrido, mañana y tarde.
Fuente: Elaboración propia

La ruta de la mañana que minimiza la distancia cambia en comparación con la que minimiza el tiempo, sobre todo en la ruta de salida del CHCM, ya que el vehículo en lugar de utilizar la calle de Pino Suárez utiliza la de Correo Mayor, que luego se convierte en Escuela Medico Militar para salir a la avenida Fray Servando Teresa de Mier. Esta ruta puede verse en la Figura 34 en color amarillo.

Para el caso de la ruta de la tarde (Figura 34, ruta color azul), donde se optimiza la distancia que el vehículo debe recorrer, la ruta inicia en el restaurante Danubio, Y después se dirige a los Azulejos. Continúa su distribución en El Cardenal, y después en el Café Tacuba y El Bar Alfonso. El transporte termina sus entregas en la Hostería de Santo Domingo. Para salir del CHCM, el transporte se dirige por la calle de República de Chile hasta llegar a la calle González Ortega y de ahí al Circuito Interior.

5.3.5. Minimización de la distancia de recorrido con dos rutas y considerando tráfico

La nueva ruta obtenida para los horarios de la mañana, donde se toma en cuenta el tráfico, es igual a la que se obtendría si no hubiera congestión vehicular, pero el recorrido es más lento.

En la tarde cambia el orden de entrega cuando se considera el tráfico. En este escenario, del Eje Central el vehículo entra en la calle de República del Salvador para hacer la entrega al restaurante Danubio, pero en lugar de dar la vuelta a la cuadra se sigue hasta la calle Isabel la Católica, rodea al Zócalo para entregar su pedido al restaurante El Cardenal. La camioneta sigue por la avenida 5 de Mayo, sube por Isabel la Católica y reparte sus productos al Bar Alfonso y después al Café Tacuba. Continúa por la calle de Allende que cambia de nombre a Bolívar, para tomar la calle 16 de Septiembre para volver al eje Lázaro Cárdenas y reparte a los Azulejos. Sigue y luego dobla en la calle de Donceles y luego toma República de Brasil para circular por Belisario Domínguez y entregar el producto a la Hostería de Santo Domingo. El vehículo sale del CHCM por el sur (Ver Figura 36). El resultado del recorrido se encuentra en la Figura 37.

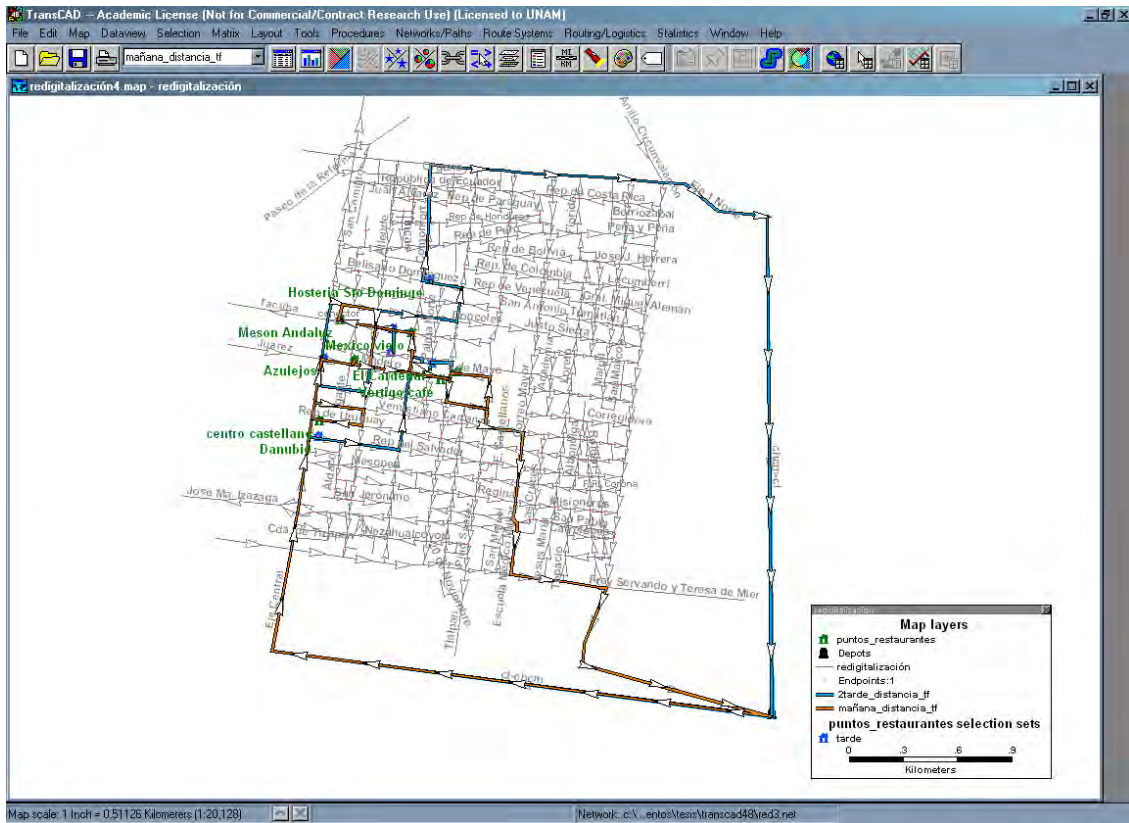


Figura 36: Dos rutas (mañana y tarde) con distancia mínima, considerando tráfico.
Fuente: Elaboración propia

vrptw_it_mañana_distancia_tf - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 2:02 Capacity : 100000.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 13.1 Depart Load: 1730.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	centro castellano	8:10am- 8:29am	4.7	380.0
2	Bar gante	8:30am- 8:43am	0.5	250.0
3	Mexico viejo	8:45am- 9:00am	0.5	300.0
4	Meson Andaluz	9:01am- 9:17am	0.4	300.0
5	vertigo cafe	9:19am- 9:28am	1.0	160.0
6	balcon del zocalo	9:30am- 9:47am	0.7	340.0
	END deposito	10:02am	4.9	
Total			13.1	1730.0

Route # : 2 Tot Time: 3:11 Capacity : 100000.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 13.6 Depart Load: 2930.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	4:55pm		
1	Danubio	5:00pm- 5:20pm	4.0	380.0
2	El Cardenal	5:23pm- 5:45pm	1.3	420.0
3	Bar Alfonso	5:56pm- 6:28pm	0.3	630.0
4	Cafe tacuba	6:38pm- 7:01pm	0.1	450.0
5	Azulejos	7:03pm- 7:35pm	0.9	630.0
6	Hosteria Sto Domingo	7:37pm- 7:59pm	1.4	420.0
	END deposito	8:07pm	5.4	
Total			13.6	2930.0

Figura 37: Itinerario de las rutas (mañana y tarde) con distancia recorrida mínima, considerando tráfico.

Fuente: Elaboración propia

5.3.6. Comparación de las dos rutas con mínima distancia recorrida, con y sin considerar tráfico

En el caso de la minimización de la distancia entre el Centro logístico y los restaurantes del CHCM, para la mañana se obtiene la misma ruta que cuando no se considera el tráfico, pero el tiempo de recorrido aumenta en 13 minutos. En la tarde, el cambio en el orden en que la camioneta hace las entregas a los restaurantes, da una diferencia de 18 minutos (ver Figura 38).

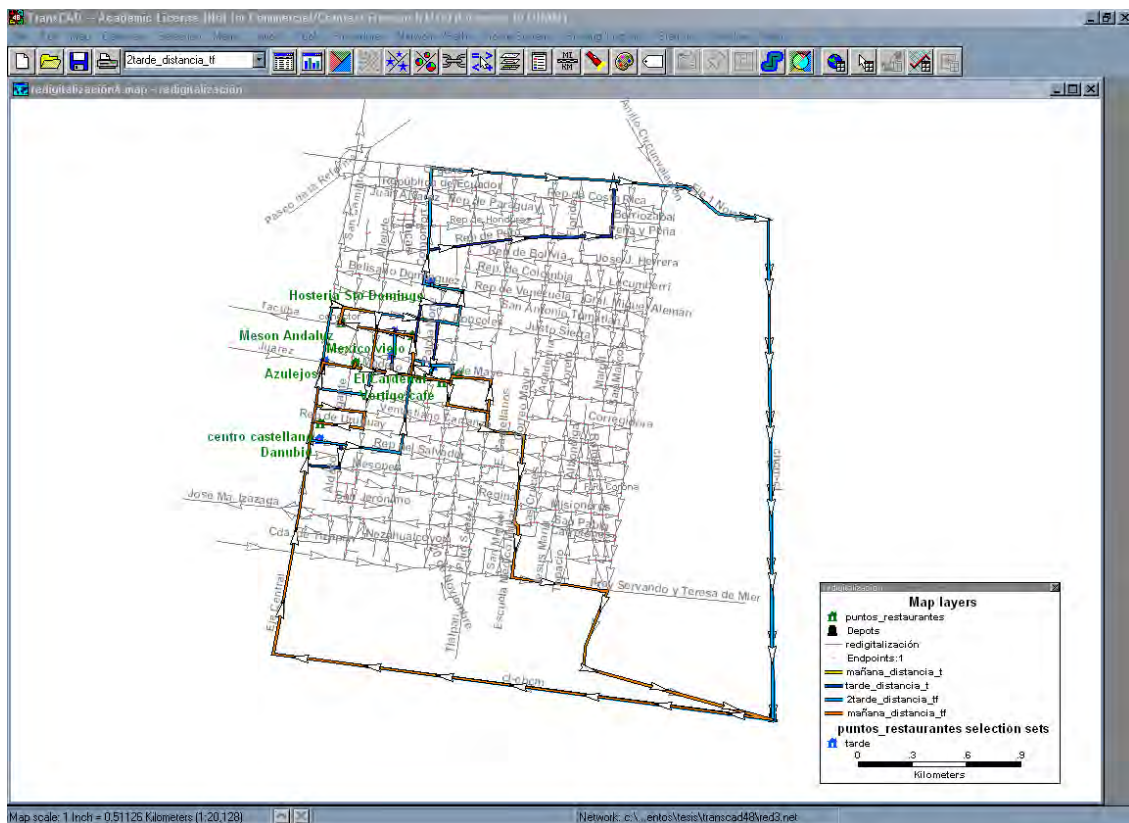


Figura 38: Comparación de las rutas (mañana y tarde) con distancia de recorrido mínima, con y sin considerar tráfico.
Fuente: Elaboración propia

Las diferencias entre las rutas, si se toma en cuenta o no al tráfico no son muchas. Sin embargo, el tiempo dedicado a recorrerlas sí muestra cambios significativos, de una hora aproximadamente para cada ruta, como se puede ver en la Tabla 13.

	Sin Tráfico		Con tráfico	
Tiempo	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Horas	1:49	2:53	2:02	3:11
Distancia	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Km	13.1	13.6	13.1	13.6

Tabla 13: Resultados de la minimización de la distancia de recorrido con dos rutas

5.4. Distribución a los Restaurantes mediante una ruta

Para optimizar la entrega de alimentos perecederos en el CHCM se hace necesario utilizar una sola ruta, donde los horarios no sean una limitante. Esta alternativa permitiría abatir los costos de transportación y se cooperaría en la descongestión del tráfico de la zona. Bajo esta modalidad solamente se necesitaría un chofer y una camioneta para distribuir las verduras al CHCM.

Las soluciones que en este apartado se presentan son las que en realidad el proyecto de investigación busca, principalmente porque permiten una reducción en la cantidad de camionetas de distribución que entran al CHCM (si esta misma medida fuera aplicada a otros tipos de productos distribuidos en el CHCM). El reto es convencer a los encargados de los establecimientos de aceptar un cambio de horario para la entrega de los insumos, que permitiría descongestionar un poco la zona.

El punto que se les debe de explicar a los dueños de restaurantes es que de aceptarse, un vehículo distribuiría los productos a todos los restaurantes de la zona, con la consiguiente reducción de costos del transporte, que se pagarían

en común. De esta manera, si los restaurantes unificaran los horarios de recepción de sus proveedores, inclusive, se podría aumentar el número de restaurantes a los que se podría atender y reducir el tráfico de la zona.

5.4.1. Minimización del tiempo de recorrido con una ruta

La ruta ideal empieza en el Centro Logístico hasta incorporarse al Eje Central, como las rutas modeladas anteriormente. Ahí dobla a la derecha en República del Salvador para dejar la mercancía al restaurante Danubio. Después se sigue hasta la calle de Isabel la Católica e ingresa por la calle República de Uruguay para ahí dejar su carga en el restaurante Centro Castellano. Después, la camioneta se incorpora de nuevo al eje Lázaro Cárdenas y gira a la derecha por la calle Madero para distribuir sus productos al Bar Gante y al Bar Alfonso. Luego sigue por Madero para llegar a Vértigo Café. A continuación, rodea a la plaza de la Constitución para entregar su pedido al restaurante Balcón del zócalo. El transporte se sigue hasta a la avenida 5 de Mayo con el fin de ir al restaurante El Cardenal. Después sube por Isabel la Católica para llegar a la calle de Tacuba y hacer la entrega al restaurante México Viejo y al Café Tacuba. La ruta sigue por la calle de Allende para regresar al Eje Central, por las calles de Bolívar y después 16 de septiembre, para atender al restaurante de los Azulejos y seguir hasta la calle de Donceles y atender al Mesón Andaluz. Después, el transporte da vuelta a la izquierda en República de Brasil y gira en Belisario Domínguez para entregar la carga a la Hostería de Santo Domingo. Por último, toma la calle República de Brasil que más adelante se convierte en Comonfort hasta entroncar con el Eje 1 Norte y después el circuito interior y de esta manera regresar al Centro Logístico (ver Figura 39). El itinerario se puede observar en la Figura 40.

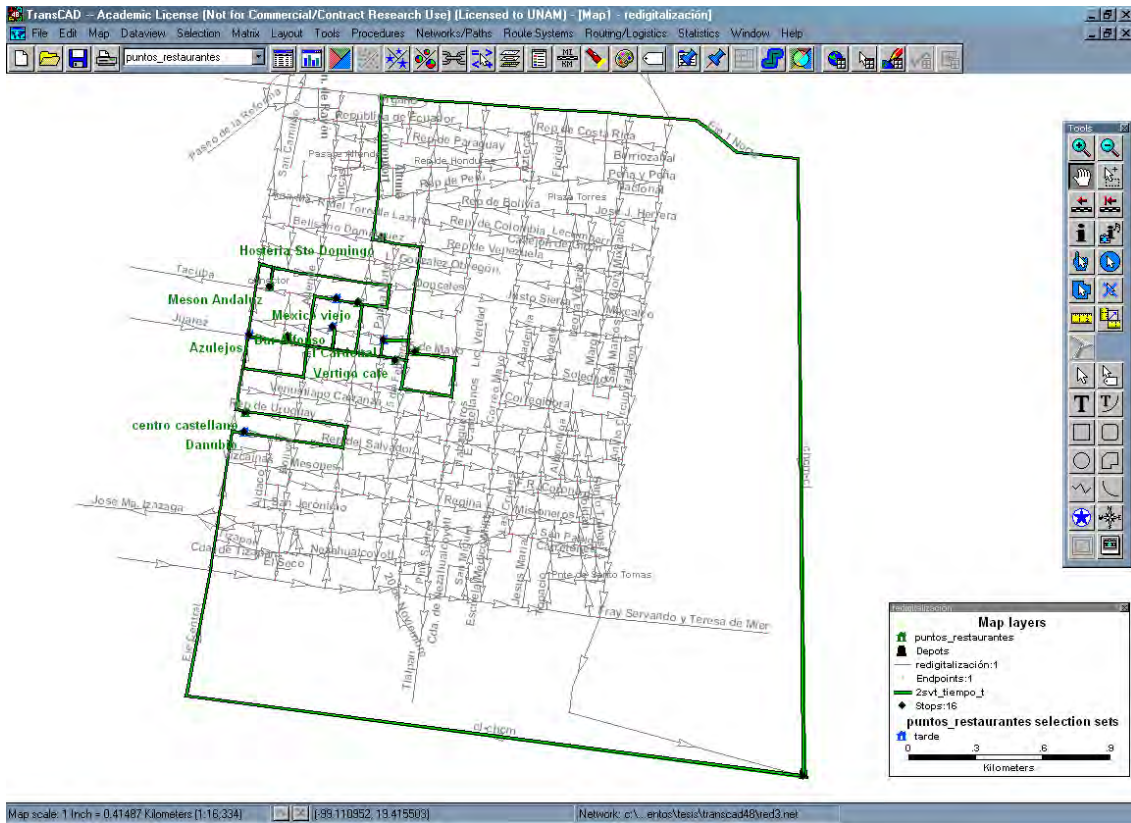


Figura 39: Ruta con tiempo de recorrido mínimo.
Fuente: Elaboración propia

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 4:21 Capacity : 100000.0
Veh. Type: 1 Tot Dist: 15.8 Depart Load: 4660.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	Danubio	8:04am- 8:24am	4.0	380.0
2	centro castellano	8:26am- 8:45am	1.0	380.0
3	Bar gante	8:46am- 8:59am	0.5	250.0
4	Bar Alfonso	9:00am- 9:32am	0.3	630.0
5	Vertigo cafe	9:33am- 9:41am	0.4	160.0
6	balcon del zocalo	9:42am-10:00am	0.7	340.0
7	El Cardenal	10:00am-10:22am	0.2	420.0
8	Mexico viejo	10:22am-10:38am	0.3	300.0
9	Cafe tacuba	10:38am-11:01am	0.1	450.0
10	Azulejos	11:03am-11:35am	0.9	630.0
11	Meson Andaluz	11:35am-11:51am	0.4	300.0
12	Hosteria sto Domingo	11:53am-12:15pm	1.1	420.0
	END deposito	12:21pm	5.4	
Total			15.8	4660.0

Figura 40: Itinerario de la ruta de mínimo tiempo.
Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Minimización del tiempo de recorrido con una ruta y considerando tráfico

Cuando se toma en cuenta al tráfico de la zona, el orden del recorrido de la ruta cambia muy poco (ver Figura 41). Puede verse el itinerario la Figura 42.

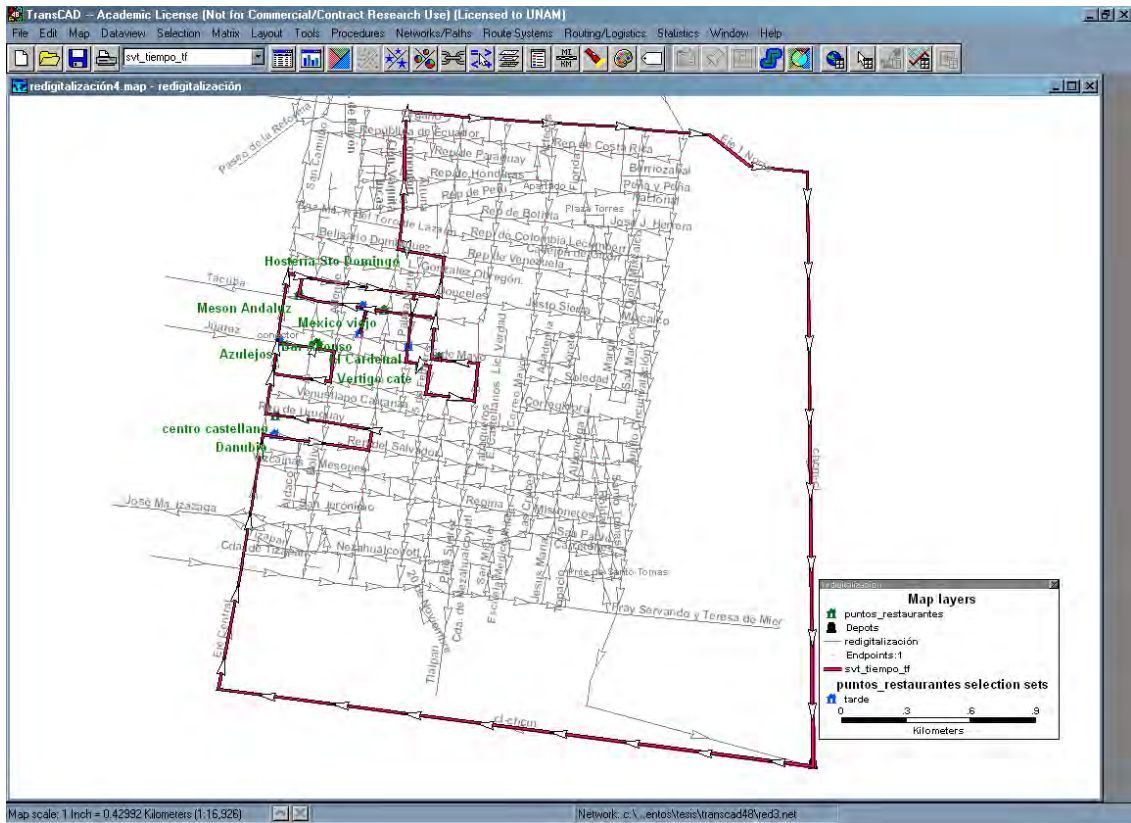


Figura 41: Ruta de mínimo tiempo de recorrido, considerando tráfico.
Fuente: Elaboración propia

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 4:45 Capacity : 100000.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 16.1 Depart Load: 4660.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	Danubio	8:04am- 8:24am	4.0	380.0
2	centro castellano	8:26am- 8:45am	1.0	380.0
3	Bar gante	8:47am- 9:00am	0.5	250.0
4	Azulejos	9:01am- 9:33am	0.6	630.0
5	El Cardenal	9:36am- 9:57am	1.1	420.0
6	Vertigo cafe	9:58am-10:06am	0.1	160.0
7	balcon del zocalo	10:08am-10:26am	0.7	340.0
8	Mexico viejo	10:27am-10:42am	0.4	300.0
9	Bar Alfonso	10:52am-11:24am	0.2	630.0
10	Cafe tacuba	11:35am-11:58am	0.1	450.0
11	Meson Andaluz	11:58am-12:14pm	0.3	300.0
12	Hosteria sto Domingo	12:16pm-12:38pm	1.1	420.0
	END deposito	12:45pm	5.4	
Total			16.1	4660.0

Figura 42: Itinerario de la ruta de mínimo tiempo de recorrido, considerando tráfico.
Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Comparación de las dos rutas con tiempo mínimo de recorrido, con y sin considerar tráfico

Cuando la ruta toma en cuenta el tráfico de la zona, cambia un poco el orden de llegada a los establecimientos y con esto cambia también el trazado de la ruta, pues lo que se busca es optimizar el tiempo del recorrido.

La ruta cambia después de hacer la entrega al Bar Gante, en lugar de ir hacia el Bar Alfonso, da la vuelta para atender al restaurante a los Azulejos y sube

hasta la calle de Donceles y luego baja por las calles de Palma hasta la calle de Madero, para hacer entregas a: El Cardenal, Vértigo Café y Balcón del Zócalo. Después toma la calle de Tacuba para atender a México Viejo, Bar Alfonso, Café Tacuba y seguirse hasta el Mesón Andaluz. Luego, el transporte toma la calle de Donceles para terminar el recorrido de entrega en la Hostería de Santo Domingo. Finalmente se dirige por la calle Comonfort hasta el eje 1 Norte y seguir la ruta de regreso ya conocida. Así termina el recorrido que optimiza el tiempo con los datos del tráfico de la zona. (ver figura 43)

Si se compara la ruta sin restricciones de tiempo con aquella que toma en cuenta a esta variable para hacer la distribución de vegetales en el CHCM, se encuentra que la ruta no cambia, pues recorre casi los mismos arcos (fragmentos de calles) con y sin tráfico, pero tarda más de 10 minutos en la ruta con tráfico. Las diferencias se pueden notar en la Tabla 14.

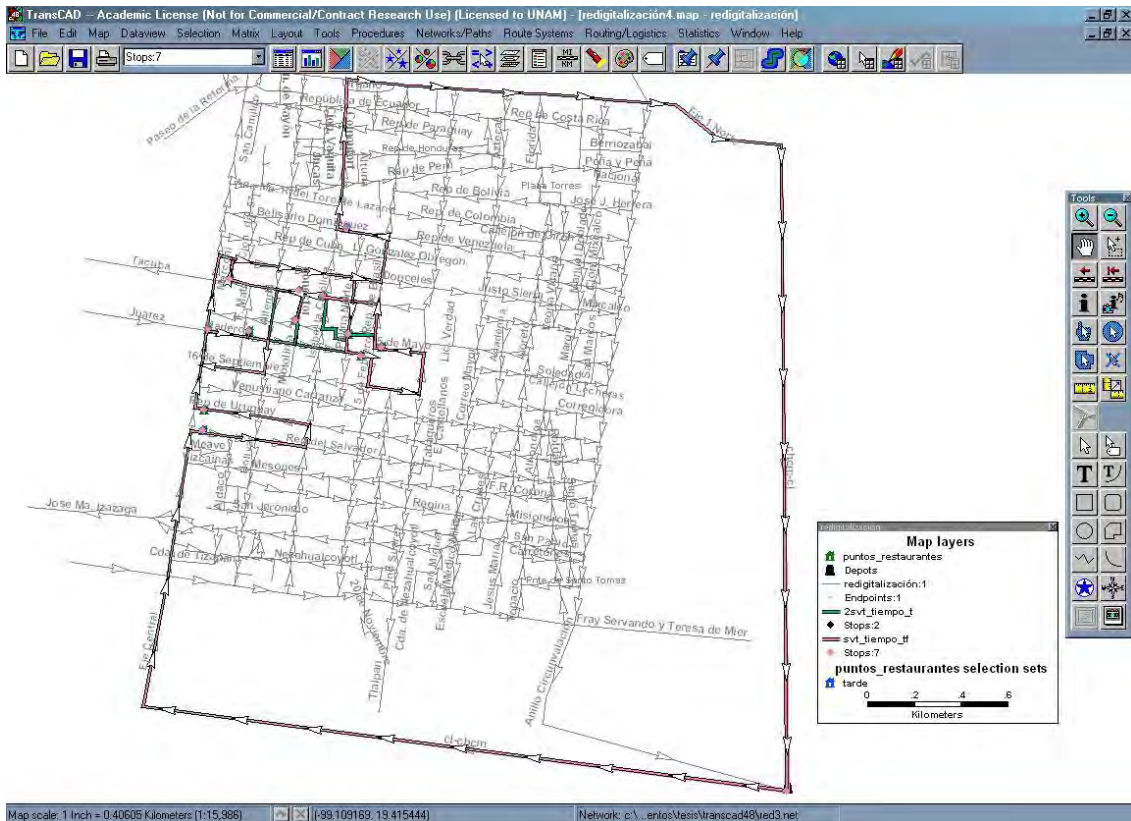


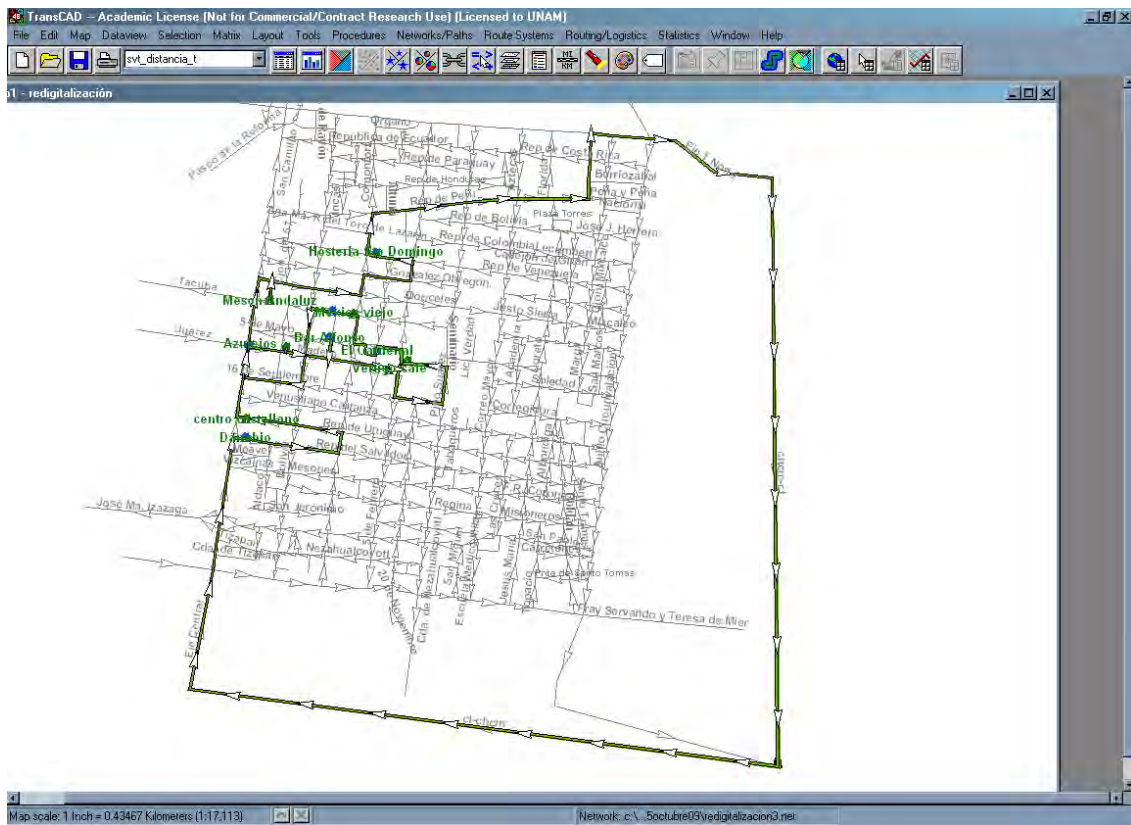
Figura 43: Comparación de las rutas con mínimo tiempo de recorrido, con y sin considerar tráfico

	Sin Tráfico	Con tráfico
Tiempo	4:21	4:45
Horas		
Distancia	15.8	16.1
Kilómetros		

Tabla 14: Resultados al minimizar el tiempo con una ruta

5.4.4. Minimización de la distancia recorrida con una ruta

Cuando se minimiza la distancia recorrida con una sola ruta, sin tomar en cuenta las otras variables como el tráfico (ver Figura 44), se asume que puede permitir un ahorro de combustible (aunque la zona es muy pequeña para notar grandes diferencias).



**Figura 44: Ruta con mínima distancia recorrida.
Fuente: Elaboración propia**

vrptw_it_svt_2distancia_t - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 4:23 Capacity : 100000.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 15.6 Depart Load: 4660.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	Danubio	8:04am- 8:24am	4.0	380.0
2	centro castellano	8:26am- 8:45am	1.0	380.0
3	Bar gante	8:46am- 8:59am	0.5	250.0
4	Bar Alfonso	9:00am- 9:32am	0.3	630.0
5	vertigo cafe	9:33am- 9:41am	0.4	160.0
6	balcon del zocalo	9:42am-10:00am	0.7	340.0
7	El Cardenal	10:00am-10:22am	0.2	420.0
8	Mexico viejo	10:23am-10:39am	0.3	300.0
9	Cafe tacuba	10:39am-11:02am	0.1	450.0
10	Azulejos	11:04am-11:36am	0.8	630.0
11	Meson Andaluz	11:37am-11:53am	0.4	300.0
12	Hosteria Sto Domingo	11:55am-12:17pm	1.1	420.0
	END deposito	12:23pm	5.3	
Total			15.6	4660.0

Figura 45: Itinerario de la ruta de mínima distancia de recorrido.
Fuente: Elaboración propia

El resultado de minimizar la distancia provoca un cambio en la ruta seleccionada (Figura 45), con relación a la ruta que optimiza el tiempo de recorrido. Principalmente se modifica la salida del CHCM, pues ya no es por la calle de Comonfort, sino que toma República de Perú y su continuación la calle González Ortega para salir por el Norte.

5.4.5. Minimización de la distancia de recorrido con una ruta, considerando tráfico

El resultado de la minimización de la distancia recorrida con una sola ruta, tomando en cuenta la congestión vehicular en la zona, resulta igual que la de distancia mínima pero con un tiempo mayor de 21min, como puede visualizarse en la Figura 46. Esta solución también busca establecer un tiempo mínimo, pero toma en cuenta el tráfico.

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 4:45 Capacity : 100000.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 15.6 Depart Load: 4660.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	deposito	8:00am		
1	Danubio	8:06am- 8:26am	4.0	380.0
2	centro castellano	8:28am- 8:47am	1.0	380.0
3	Bar gante	8:48am- 9:01am	0.5	250.0
4	Bar Alfonso	9:02am- 9:34am	0.3	630.0
5	Vertigo cafe	9:35am- 9:43am	0.4	160.0
6	balcon del zocalo	9:45am-10:03am	0.7	340.0
7	El Cardenal	10:03am-10:25am	0.2	420.0
8	Mexico viejo	10:26am-10:42am	0.3	300.0
9	cafe tacuba	10:42am-11:05am	0.1	450.0
10	Azulejos	11:07am-11:39am	0.8	630.0
11	Meson Andaluz	11:40am-11:56am	0.4	300.0
12	Hosteria Sto Domingo	11:58am-12:20pm	1.1	420.0
	END deposito	12:45pm	5.3	
Total			15.6	4660.0

Figura 46: Itinerario de la ruta de mínima distancia, considerando tráfico.
 Fuente: Elaboración propia

La comparación de los resultados numéricos, se presentan en la Tabla 15.

	Sin Tráfico	Con tráfico
Tiempo	4:23	4:45
Horas		
Distancia	15.6	15.6
Kilómetros		

Tabla 15: Resultados de la minimización de la distancia de recorrido con una ruta

Como se puede apreciar, a pesar de que la investigación aborda un problema en una zona pequeña y limitada, como es el CHCM, las rutas óptimas para la distribución de alimentos perecederos (es decir, vegetales precortados), pueden variar mucho en función de las variables que se seleccionan para optimizar el recorrido del vehículo que distribuirá el producto.

5.5. Comparación de las rutas

El recorrido que minimiza el tiempo proporciona muy buenos resultados para el objetivo que se está buscando, pues reducirá el tiempo en que una camioneta recorre el CHCM al distribuir a los restaurantes asignados, contribuyendo a disminuir el tráfico y a reducir la emisión de contaminantes.

Para el caso en que los restaurantes no puedan mover su horario de recepción de la mercancía, se tendrían los recorridos de la mañana y de la tarde resumidos en la Tabla 16.

Para el caso en que se puedan hacer las entregas de en un solo recorrido se tendrían los tiempos y distancias de recorrido resumidos en la Tabla 17.

Tiempo (km)				Distancia (horas)			
Sin tráfico		Con tráfico		Sin trafico		Con trafico	
Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
1:45	2:49	1:50	3:10	1:49	2:53	2:02	3:11

Tabla 16: Resultados de la minimización del tiempo, con dos recorridos

Tiempo (km)		Distancia (horas)	
Sin trafico	Con trafico	Sin trafico	Con trafico
4:21	4:45	4:23	4:45

Tabla 17: Resultados de la minimización del tiempo, con un recorrido

En el caso en el que se busque optimizar los gastos de gasolina para minimizar los gastos totales, se pueden utilizar los recorridos según su distancia esto con el fin de convencer a los usuarios a aceptar este nuevo sistema de distribución dado que los costos se disminuyen.

Para el caso en que se tengan ventanas de tiempo muy dispersas se tienen otra vez las dos rutas (Ver Tabla 18) o una sola ruta para optimizar el proceso (Ver Tabla 19).

Tiempo				Distancia			
Sin tráfico		Con tráfico		Sin trafico		Con trafico	
Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
13.1	13.8	13.7	14.9	13.1	13.6	13.1	3:16

Tabla 18: Resultados de la minimización de la distancia, con dos recorridos

Tiempo		Distancia	
Sin trafico	Con trafico	Sin trafico	Con trafico
15.8	16.1	15.6	15.6

Tabla 19: Resultados de la minimización de la distancia, con un recorrido

Conclusiones

El Centro Histórico de la Ciudad de México ha recibido una atención especial por parte de las autoridades locales, con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes e invitar al resto de la zona metropolitana a convertir al Centro de la Ciudad un lugar digno de visitarse por propios y extraños. En este loable esfuerzo, este estudio contribuye a la propuesta de alternativas que pueden disminuir efectivamente, aunque en una escala pequeña, los problemas del congestionamiento de tránsito y la contaminación ambiental. Las grandes soluciones empiezan con el arreglo de los pequeños problemas cotidianos.

Es de gran importancia que las universidades contribuyan a los procesos de transferencia tecnológica en beneficio de la sociedad, sin embargo, no es suficiente. También es necesario contribuir con nuevos conocimientos pertinentes que den respaldo científico a aquellos procesos que contribuyan al cambio social mediante el enriquecimiento del desarrollo local. En este empeño el objetivo de este estudio fue encontrar rutas óptimas en tiempo y distancia viables que permitieran ofrecer formas más racionales de distribuir mercancías perecederas en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

Los resultados encontrados permitieron precisar que la demanda de mercancías perecederas de los restaurantes del CHCM se centra en cuatro productos principales y otros cinco de menor importancia. También se identificaron las cantidades demandadas por los restaurantes. Gracias a ello, el estudio encontró que sería viable para el sistema utilizar el vehículo propuesto para la distribución de los productos precederos; no sólo los productos principales sino también los secundarios, pues existiría capacidad sobrante en los vehículos; por lo que si se deseara, la distribución podría extenderse a otros restaurantes sin menoscabo del servicio.

También se identificó un obstáculo que impide mejorar el sistema de distribución que se propone. Se trata de los horarios de recepción de materias primas. Estos horarios, en las condiciones actuales, son dictados por circunstancias especiales o por los intereses de cada uno de los restaurantes. Esta variedad de horarios impide optimizar las entregas de mercancías. Se cree que la motivación para cambiar dichos horarios, por uno que disminuya el número de viajes y la distancia recorrida, estaría dada por una baja sensible en los costos de dicha distribución y también por los incentivos que el gobierno de la ciudad de México otorgue para acogerse a un programa de esta naturaleza.

Otro impedimento para introducir un programa de optimización como el que se propone, identificado en el estudio de campo, fue que algunos restaurantes carecen de sistemas de refrigeración adecuados, por lo que tienen que resurtirse constantemente. En este caso, debiera incluirse un programa de modernización de algunos establecimientos, programa que podría ser impulsado por el propio gobierno de la ciudad, a cambio de integrarse al plan que este estudio propone.

Según los resultados del modelo de distribución de rutas óptimas que se utiliza, la distribución de vegetales a los 12 restaurantes gourmets se puede hacer en una sola ruta en una mañana, si los establecimientos tienen ventanas de tiempo amplias para recibir el servicio. Por tanto, un negocio de esta naturaleza (distribución de productos perecederos) podría atender más de 50 restaurantes a lo largo de la semana (en el Centro Histórico hay más de 250 restaurantes), si hace entregas en el horario matutino, y el doble si se recurre al horario vespertino. Esto si se considera una cantidad de demanda semejante a la identificada mediante las encuestas realizadas. Todo ello contribuiría a bajar aún más los costos, y disminuir la contaminación, pues un solo vehículo daría servicio todos los días de la semana.

Por otra parte, las rutas óptimas encontradas por el programa TransCAD utilizado tienen dos variantes, las que optimizan el tiempo y las que optimizan el recorrido. Ambas son esencialmente parecidas. Este resultado se debe a que se trata de un área geográfica relativamente pequeña.

Con respecto a los escenarios con y sin tráfico, pudo notarse que los tiempos de distribución varían, es decir a pesar de que los cambios de ruta son pequeños, el tiempo del recorrido sí cambia. Esto se debe a que cuando es la hora pico todas las calles de la zona estudiada se congestionan, por lo que no se encuentra una ruta que logre circular a una buena velocidad.

Uno de los aspectos más destacados que este estudio permitió vislumbrar fue que esta clase de solución para el Centro Histórico de la ciudad de México puede ser económicamente viable. Lo que se requiere es realizar otras investigaciones que permitan calcular los costos tanto del distribuidor, como los precios que pagarían por este servicio los clientes (restaurantes). Es decir, realizar una investigación de mercado que calcule los costos y la depreciación de los vehículos usados, el precio de la gasolina, también el costo por potenciales retrasos, así como los precios de las verduras. Estos estudios también deberían evaluar el costo de mantener un *centro logístico*, con su planta de servicios y refrigeradores, si fuera el caso, y el costo de la mano de obra. En un palabra, completar la aproximación mediante una evaluación financiera que determine la viabilidad de un negocio de esta naturaleza.

Otra consideración que valdría la pena resaltar es el hecho de que los datos con los que se alimentó el programa de TransCAD fueron recogidos de la realidad, es decir, se recogieron los datos de los responsables de operar los restaurantes del Centro de la Ciudad de México.

Finalmente, uno de los problemas más destacados en el desarrollo de esta investigación fue el hecho de que la vialidad del Centro Histórico de la Ciudad de México está en constante cambio. Calles que cambian de sentido o que se cierran o se abren, es la tónica común. Por tanto, identificar las vías de circulación más adecuadas requiere de una revisión constante y de esta manera facilitar el proceso de entrega de bienes precederos en este lugar.

Referencias

Artículos:

- Antún, JP., Lozano, A., Hernández, R., Alarcón, R., Muñoz, M.A. (2008). *Centros Logísticos*. Instituto de Ingeniería UNAM: Series Docencia. Número SD-50
- Barajas N. (2006) *Estado del Arte del problema de Ruteo de Vehículos (VRP)*, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Chi-Bin Chen, Keng-Pin Wang. (2008) *Solving a vehicle routing problem with time windows by decomposition technique and a genetic algorithm*. Expert System with Applications 36 7758-7763
- Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas, (2007) *Cálculo de rutas de vehículos con ventana temporal (VRPTW)*, Chile
- Lin, Shih-Wei; Lee, Zne-Jung; Ying, Kuo-Ching; Lee, Chou-Yuan; (2007) *Applying hybrid meta-heuristics for capacitated Vehicle routing problem*, Expert System with Applications.
- Ruiz, Rubén; Maroto, Concepción; Alcaraz, Javier;(2003) *A decision support system for a real Vehicle routing problem*, European Journal of Operational Research 153 593-606
- Tinoco, R. (2004) *Definición y algunas aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica*, México: Universidad Iberoamericana.

Libros:

- Daganzo, C., (1995) *Logistics Systems Analysis*. Springer. New York.
- Martí R. (2003) *Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria*. Valencia: Universidad de Valencia. (Rafael.marti@uv.es)

Tesis:

- Hernández R. (2002) *Distribución y Estrategias Logísticas en la distribución física de Mercancías en el Centro Histórico de la Ciudad de México*. Tesis de Maestría en Ingeniería (Transporte), UNAM.

- Torres V. (2002). *Simulación Macroscópica del tráfico vehicular en el centro histórico de la ciudad de México por medio de un SIG*. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil, UNAM.

Páginas Web

- <http://dynatran.org/TransCAD/objetos.htm> (20 noviembre 2008)
- <http://mx.geocities.com/mexicocitadino/zonas/centro.html> (3 de marzo 2008)
- <http://portal.ssp.df.gob.mx/Portal/ProgramasyCampanas/ApoyoCentroHistorico.htm> (20 de marzo 2008)
- <http://portal.ssp.df.gob.mx/Portal/ProgramasyCampanas/CentroHistorico.htm> (20 de marzo 2008)
- <http://www.caliper.com/TransCAD/analisis.htm> (20 noviembre 2008)
- <http://www.carlosslim.com/fch.html> (5 de agosto 2008)
- http://www.centrohistorico.df.gob.mx/fideicomiso/historia_ciudad.html (13 agosto 2009)
- <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/94492.html> (13 agosto 2009)
- <http://www.ficeda.com.mx/automovilistas.php> (14 de mayo de 2008)
- <http://www.geocities.com/nicolasbarajaseminario/Archivos/EstadoDelArteFinal.pdf> (29 de octubre 2008)
- http://www.hotelesdemexico.com.mx/Distrito_Federal/sitios_centro_h.htm (3 de marzo 2008)
- <http://www.latrinchera.org/foros/showthread.php?t=3644> (13 de marzo 2008)
- <http://www.luchemos.org.ar/espa/nley/libro11.htm> (28 noviembre 2008)
- http://www.mercadolibre.com.mx/MLM-20968688-camioneta-chevrolet-con-camara-de-refrigeracion-termo-kin-_JM (14 de mayo de 2008)
- http://www.mexicodesconocido.com.mx/contenidos/conoce_mexico.html?p=nota&idNota=1307 (7 de marzo 2008)
- [http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/1307-AI-rescate-del-Centro-Hist%C3%B3rico-\(Distrito-Federal\).](http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/1307-AI-rescate-del-Centro-Hist%C3%B3rico-(Distrito-Federal).) (7 de marzo 2008)

- <http://www.monografias.com/trabajos17/abastecimiento/abastecimiento.shtml> (5 de junio de 2008)
- <http://www.vivirmexico.com/2007/12/10/cambiara-el-sentido-vehicular-en-el-centro-historico/> (12 de marzo 2008)
- <http://www2.uca.es/dept/filosofia/TEMA%201.pdf> (18 noviembre 2008)

Anexo

CUESTIONARIO PARA OBTENER INFORMACIÓN CON EL FIN DE EVALUAR LA NECESIDAD DE UN CENTRO LOGÍSTICO PARA EL PROCESAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE VERDURAS PRECORTADAS.

Nombre del Restaurante:

Dirección:

Nombre del representante:

- ¿Cuáles son las principales verduras que compran para el restaurante?

Verdura 1) Verdura 2)

Verdura 3) Verdura 4)

Verdura 5) Verdura 6)

Verdura 7) Verdura 8)

- ¿Cuánto kilos de cada verdura compran a la semana?

Verdura 1) Verdura 2)

Verdura 3) Verdura 4)

Verdura 5) Verdura 6)

Verdura 7)

Verdura 8)

- ¿Cada cuándo compran verduras?
 - a. _____ veces por día
 - b. _____ veces por semana
 - c. _____ veces por mes

- ¿Cómo preparan las verduras?

- ¿Cuánto se tardan en alistar las verduras?

- ¿Dónde las compran?

- ¿A qué hora se hacen las compras de las verduras?

- Si van a comprarlas, ¿cuánto se tardan en ir por ellas?

- Si les ofrecieran el servicio de entrega de verduras limpias, peladas y cortadas ¿lo aceptarían? SI NO
¿Por qué?

- ¿horario de preferencia para recibir las verduras procesadas?

- ¿Cuál es el empaque en el que preferiría la entrega de las verduras?
 - a. Bolsas kilos....
 - b. Cajas kilos....
 - c. Otro. ¿cuál? kilos....