



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

MODELO DE RUTEO PARA MAXIMIZAR LA CANTIDAD DE PRECIOS RECOPIRADOS
POR EL PROGRAMA “QUIÉN ES QUIÉN EN LOS PRECIOS”

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

PRESENTA:
VICTOR HUGO BALDERRAMA TELLEZ

TUTORA PRINCIPAL
DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS

MÉXICO, D. F. 26 DE MAYO DE 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Flores de la Mota Idalia
Secretario: Dr. Guillén Burguete Servio Tulio
Vocal: Dra. Elizondo Cortés Mayra
1^{er}. Suplente: Dra. Lárraga Ramírez María Elena
2^{d o}. Suplente: Dra. Monroy León Cozumel Allanec

Lugar donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, México Distrito Federal, 26 de Mayo de 2013

TUTORA DE TESIS:

Dra. Elizondo Cortés Mayra

FIRMA

Contenido

Introducción	1
<i>Problemática</i>	1
<i>Objetivo</i>	2
<i>Metodología</i>	2
Capítulo I Antecedentes e historia del programa	
“Quién es Quién en los Precios”	4
<i>I.1 Caracterización organizacional y fundamentos jurídicos</i>	4
<i>I.2 Acerca del programa Quién es Quién en los Precios</i>	6
<i>I.3 Directorio de establecimientos incluidos en el programa Quién es Quién en los Precios</i>	7
<i>I.4 Catálogos de productos monitoreados por el programa Quién es Quién en los Precios</i>	10
<i>I.5 Impacto del programa Quién es Quién en los Precios</i>	12
<i>I.6 Problema que se resuelve en este estudio</i>	13
<i>I.7 Recursos con los que opera el programa</i>	14
Capítulo II Elementos Teóricos.....	18
<i>II.1 Estado del arte</i>	19
<i>II.2 Marco teórico</i>	22
II.2.1 Optimización Combinatoria.....	24
II.2.2 El Ciclo Hamiltoniano	24

II.2.3 Problema del Agente Viajero (TSP)	27
II.2.3.1 Formulación del TSP	27
II.2.4 Métodos de solución más comunes	29
II.2.5 Métodos exactos	29
II.2.6 Complejidad computacional.....	30
II.2.7 Clases de complejidad	30
II.2.8 Métodos heurísticos	32
II.2.9 Algunas aplicaciones del TSP	35
Capítulo III Metodología de la investigación.....	37
<i>III.1 Planteamiento de la investigación.....</i>	<i>38</i>
<i>III.2 Metodología.....</i>	<i>39</i>
<i>III.3 Participantes en el estudio.....</i>	<i>46</i>
<i>III.4 Procesamiento de la información.....</i>	<i>47</i>
Capítulo IV Modelación matemática	50
<i>IV.1 Modelos de investigación de operaciones explorados durante el estudio.....</i>	<i>50</i>
<i>IV.2 Modelo matemático.....</i>	<i>52</i>
IV.2.1 Definición de variables	52
IV.2.2 Formulación del modelo matemático	55
<i>IV.3 Validación del modelo programado.....</i>	<i>59</i>
<i>IV.4 Resultados.....</i>	<i>61</i>
<i>IV.5 Análisis de resultados.....</i>	<i>63</i>
Conclusiones y extensiones	66
<i>Conclusiones.....</i>	<i>66</i>
<i>Extensiones posibles al estudio.....</i>	<i>67</i>
Anexo A: Estrategia de Implementación del Proyecto.....	68

<i>Actualización de matrices de información para caracterizar al modelo.</i>	<i>70</i>
<i>Corridas del modelo para determinar rutas actualizadas.....</i>	<i>70</i>
<i>Establecimiento de Indicadores para monitoreo del desempeño del programa</i>	<i>70</i>
<i>Sensibilización al personal sobre la importancia del proyecto</i>	<i>71</i>
Anexo B: Datos recabados para la caracterización del modelo.....	74
<i>Tablas de tiempos por día y tamaño de grupo.....</i>	<i>74</i>
Tablas de cantidad de precios recopilados por día y tamaño de grupo.....	81
Referencias.....	84

Las necesidades de transporte son un tema que ha propiciado una amplia variedad de estudios de distintos casos y con muy variados enfoques. En esta tesis se trata un caso en el que se transporta un grupo de encuestadores a través de distintos establecimientos donde recopilan electrónicamente información de precios de artículos, para después regresar al punto de partida y descargar en bases de datos los precios recabados durante el día.

Este problema se puede abordar desde distintos enfoques, por ejemplo: minimización de tiempos, de costos de traslado, o bien, desde el punto de vista de la maximización de la información recabada.

En esta tesis se desarrolló un algoritmo que busca dar alternativas para generar las rutas que seguirá un grupo de encuestadores, recopilando la máxima cantidad de información por el grupo, con la consideración de que el directorio de establecimientos es dinámico y por tanto las rutas son vigentes durante un periodo de tiempo limitado a la vida de los distintos establecimientos dentro del mencionado directorio.

Las rutas que se determinen deberán generar la mayor cantidad de precios posible, para lo cual se tomó como base la información histórica de tiempos de traslado y cantidad de precios recolectados en los distintos establecimientos.

Problemática

La operación de cualquier sistema siempre está sujeta a restricciones presupuestales, lo común es trabajar en condiciones de escasez, sin embargo hay ocasiones en las que se tiene un caso aún más preocupante, la operación bajo condiciones de reducción constante de recursos.

Este es el contexto en el que se han desarrollado las actividades del programa “Quién es Quién en los Precios” (QQP) durante los años recientes, recopilando información de precios de diversos artículos para ponerlos a disposición de la población y que ésta tenga más herramientas de decisión para un consumo más informado.

Estas reducciones presupuestales, hacen urgente la revisión de la forma de operación en la búsqueda de alternativas que permitan mantener los resultados que se han obtenido en ejercicios anteriores pero con menos recursos, manteniendo el control del proceso buscando distintas formas de hacer las cosas optimizando los recursos disponibles.

Objetivo

Determinar las rutas para el levantamiento de precios de un grupo de encuestadores del programa QQP, que maximice la cantidad de precios recopilados utilizando un modelo adaptado del Problema del Agente Viajero.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto se siguieron las siguientes etapas:

- ▶ *Descripción del sistema actual y diagnóstico de la operación.* Esta etapa se basa principalmente en documentos de trabajo del QQP y de la dirección a la cual que se encuentra adscrito;
- ▶ *Establecimiento de los niveles de desempeño del sistema,* para esto se tomó como indicador base la cantidad de precios recopilada por el grupo de trabajo seleccionado para el desarrollo del proyecto;
- ▶ *Diseño de una estrategia de recolección de información* para después caracterizar al modelo matemático. Para esto se determinaron rutas alternas a las seguidas de manera cotidiana por el grupo de encuestadores en el que se basa el estudio, obteniendo así una cantidad importante de información acerca de los tiempos de traslado, de recolección de precios y cantidad de precios;
- ▶ *Procesamiento de la información recabada.* Durante esta etapa se analizó la información generada durante el paso anterior para convertirla en datos útiles en la caracterización del modelo matemático;
- ▶ *Propuesta de un modelo matemático* que ofrezca soluciones exactas al problema planteado. Con base en el estudio del sistema y de los distintos modelos teóricos comúnmente usados en Investigación de operaciones, se desarrolló un modelo adecuado al problema del que se ocupa el estudio;
- ▶ *Validación de los resultados* obtenidos a partir del modelo matemático y ajuste de los parámetros del modelo matemático. En esta etapa se experimentó buscando que el modelo replique aceptablemente el comportamiento real del sistema para que sea confiable su aplicación en la determinación de las rutas de trabajo del grupo;
- ▶ *Obtención de resultados.* A partir del modelo validado se obtuvieron los resultados definitivos del estudio;
- ▶ *Análisis de los resultados y discusión* de los mismos. Durante esta etapa se estudiaron los resultados obtenidos a partir del trabajo desarrollado y se discutió su proximidad con el comportamiento del sistema real; y

- ▶ *Planteamiento de conclusiones.* En este apartado se contrastaron los resultados obtenidos con los objetivos planteados y se establecieron los desarrollos que podrían complementar el estudio.

Estas etapas se desarrollan a lo largo de 4 capítulos, en el primero se plantea el estado actual del sistema, describiendo los distintos aspectos que lo componen así como su contexto histórico, organizacional y los recursos con los que opera.

En el segundo capítulo se desarrolló el marco teórico que sirve de base junto con el estudio del sistema actual para el planteamiento del modelo matemático.

En el capítulo tres se planteó la metodología seguida para el desarrollo del proyecto, en el capítulo cuatro se aplicó dicha metodología y se obtuvieron los resultados, se discutieron y finalmente se plantearon las conclusiones del trabajo desarrollado, además del anexo acerca de los datos recopilados para caracterizar al modelo matemático y referencias bibliográficas que detallan las fuentes utilizadas en distintas secciones del presente estudio.

Capítulo I Antecedentes e historia del programa

“Quién es Quién en los Precios”

1.1 Caracterización organizacional y fundamentos jurídicos

La Procuraduría Federal del Consumidor (Profeco) es una institución pública para la defensa de los derechos del consumidor en México, cuya misión es “Promover y proteger los derechos del consumidor, fomentar el consumo inteligente y procurar la equidad y seguridad jurídica en las relaciones entre proveedores y consumidores”. Entre sus líneas estratégicas institucionales está la de “Fortalecer el poder de los consumidores brindándoles información y asesoría”.¹

Profeco está conformado por tres subprocuradurías y dos coordinaciones generales. Una de ellas es la Coordinación General de Educación y Divulgación (CGED), misma que tiene entre sus atribuciones “Proponer nuevos o mejores sistemas y mecanismos que faciliten a los consumidores el acceso a bienes y servicios en mejores condiciones de mercado”². Para desarrollar todas sus atribuciones y funciones, cuenta con tres direcciones generales, una de ellas, es la Dirección General de Estudios sobre Consumo (DGEC), en la que se encuadra este estudio.

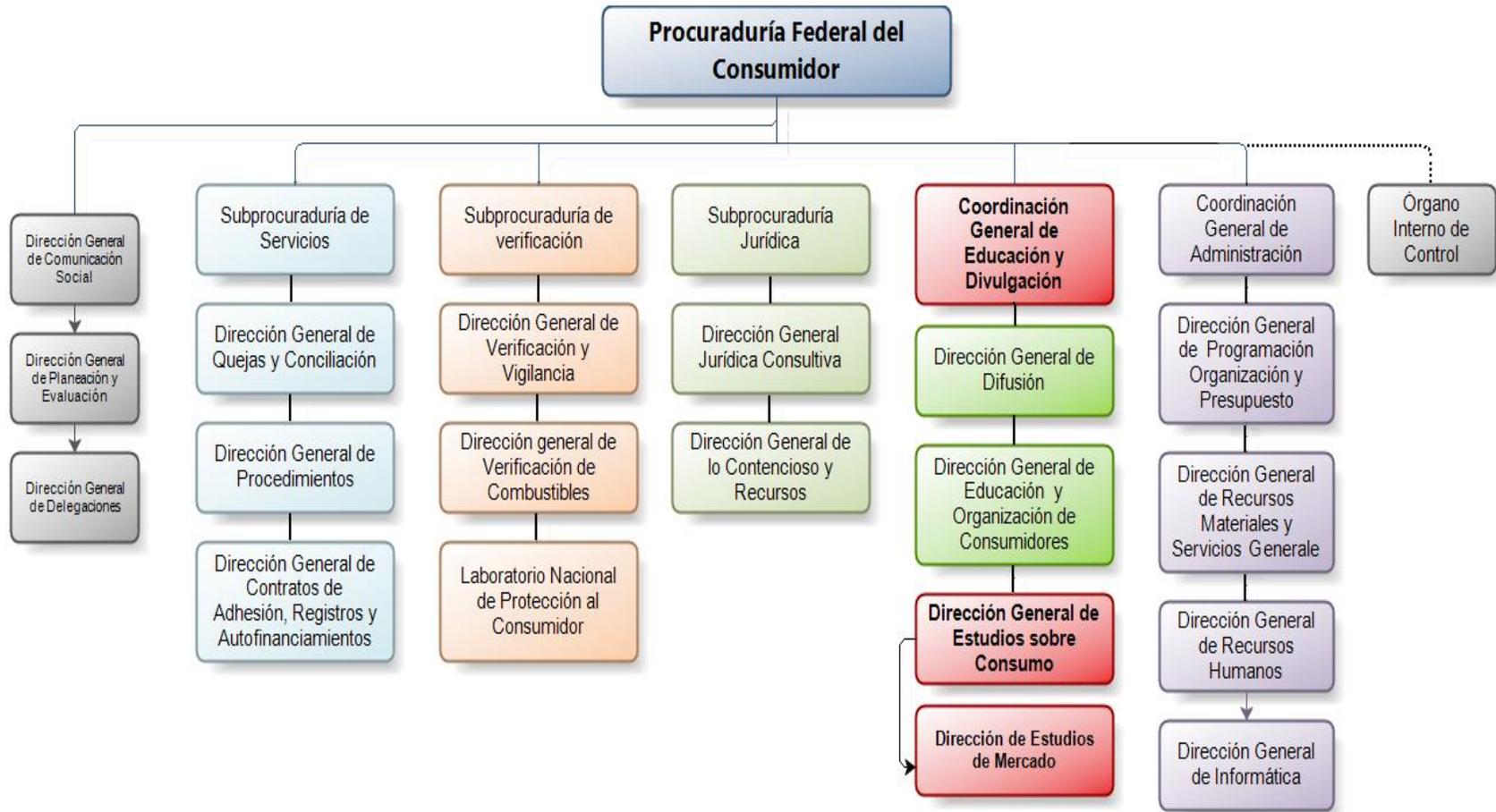
La DGEC tiene como parte de sus atribuciones “Formular y dirigir estudios, investigaciones y encuestas sobre las condiciones de compra de los productos y servicios que se comercializan en el mercado nacional, así como de las prácticas de consumo y relaciones de mercado entre proveedores y consumidores” y “Realizar las investigaciones que permitan conocer al consumidor los precios de bienes, productos y servicios de consumo, así como mantener las bases de datos correspondientes, y coordinar (...) las acciones relacionadas con el levantamiento de precios en los establecimientos comerciales”³.

¹ Objetivos de Profeco <http://www.profeco.gob.mx> (28 nov. 2010)

² Reglamento de la Procuraduría Federal del Consumidor, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 16 de julio de 2004

³ Artículo 16 del Estatuto Orgánico de la Procuraduría Federal del Consumidor; publicado en el DOF el 10 de julio de 2006 y a la Nota aclaratoria al Estatuto Orgánico de la Procuraduría Federal del Consumidor, publicado el 10 de julio de 2006, publicada en el DOF el 11 de agosto de 2006

Figura I.1 Organigrama de la Procuraduría Federal del Consumidor⁴



⁴ <http://www.profeco.gob.mx/organigrama/organigrama.asp#> (26 de marzo de 2010)

Para ilustrar lo descrito en los párrafos previos, se muestra el organigrama general de Profeco en la Figura I.1, y marcamos tanto a la CGED como la DGEC con recuadros rojos.

Por otro lado, Profeco a través de la DGEC establece que “la educación para el consumo es un proceso personal y colectivo por el que adquirimos valores, conocimientos y habilidades que nos permiten detectar nuestras necesidades y decidir de manera consciente y responsable frente al consumo para mejorar nuestra calidad de vida”⁵.

En particular el programa Quién es Quién en los Precios (QQP) es operado por la Dirección de Estudios de Mercado, que es donde hemos trabajado para el desarrollo de esta investigación.

1.2 Acerca del programa Quién es Quién en los Precios

En el contexto jurídico delineado anteriormente, y como parte de la estrategia de fortalecimiento del poder de los consumidores a través de la información la DGEC, y en virtud del ejercicio de sus atribuciones, opera el programa Quién es Quién en los Precios (QQP), que genera información sobre precios de productos específicos y la pone a disposición de la ciudadanía para que ésta pueda tomar decisiones de consumo inteligente que redunden en beneficio de la economía familiar.

El programa QQP surgió en 1977 para dotar de información a la población sobre de diversas mercancías y productos con precio controlado; en esa época se recopilaba información únicamente en la Ciudad de México por medio de encuestas en papel.

De esa forma operó hasta 1994, cuando se observó una gran variación de los precios a raíz de su liberación en diversas mercancías, por lo que el QQP redefinió su objetivo y alcance ya que tenía mayor importancia la información de precios para los consumidores.

En septiembre de 2002, a partir de un análisis estadístico realizado por la DGEC, se ajustó el directorio de establecimientos visitado por el QQP en la Ciudad de México, conformándolo con una muestra representativa de establecimientos comerciales calculada por los encargados del programa, en consecuencia se reestructuraron por zonas las rutas establecidas para el levantamiento de precios en la Ciudad de México.

⁵ <http://www.profeco.gob.mx> (28 de nov. de 2010)

Una nueva etapa del QQP se destaca en 2007 a raíz de los cambios en la estructura de recursos humanos de Profeco, convirtiendo al personal hasta ese momento contratado bajo un esquema de honorarios, en personal con contrato eventual; afectando al 79% de los recursos operativos del programa QQP, por lo que nuevamente se reestructuró el directorio de establecimientos en varias ciudades incluyendo Ciudad de México, con el fin de ajustarlo a la nueva disponibilidad.

Desde entonces, el directorio de establecimientos incluidos en el monitoreo del programa se ha visto modificado continuamente y por distintos motivos de acuerdo con los recursos disponibles en la DGEC.

1.3 Directorio de establecimientos incluidos en el programa Quién es Quién en los Precios

Como ya se mencionó, para el levantamiento de precios el programa QQP se basa en un directorio de establecimientos que incluye establecimientos de autoservicio o departamentales de las principales cadenas, tiendas especializadas en aparatos electrodomésticos y de línea blanca, papelerías líderes en el mercado y de importancia local, farmacias de las principales cadenas, además de algunas de menor tamaño, así como algunos mercados públicos y centrales de abasto.

Para conformar el directorio de establecimientos que monitorea el programa, los encargados consideran:

- ▶ Los principales puntos de venta;
- ▶ La concentración comercial de la zona;
- ▶ Los establecimientos que concentran la mayoría de los productos, de la marca y presentación, marcados en los catálogos; y
- ▶ La posibilidad técnica y presupuestal para hacer el levantamiento.

Con el objeto de obtener una muestra representativa en cuanto al número de establecimientos visitados por el QQP en la Ciudad de México, en septiembre de 2010 los encargados del programa plantearon el análisis muestral que se detalla en la Tabla I.1⁶ donde la columna “Tiendas” enlista los principales establecimientos incluidos en el directorio. Para facilidad en su manejo a cada una de ellas, se le asigna un código mostrado en la segunda columna “Codificación de la Tienda”.

⁶ Realización propia con datos tomados del Plan estratégico del programa Quién es Quién en los Precios (2010), Profeco

En la tercer columna “Muestra Representativa Calculada” se detalla la cantidad de establecimientos que fueron calculados por los encargados del QQP para obtener una muestra representativa según sus propias consideraciones estadísticas, la columna “Cobertura del QQP” expone la cantidad de establecimientos de cada tipo que realmente cubre el programa y en la última columna se realiza el cálculo de la diferencia aritmética entre la muestra calculada y la que se realiza realmente, de acuerdo a los recursos de los que se dispone.

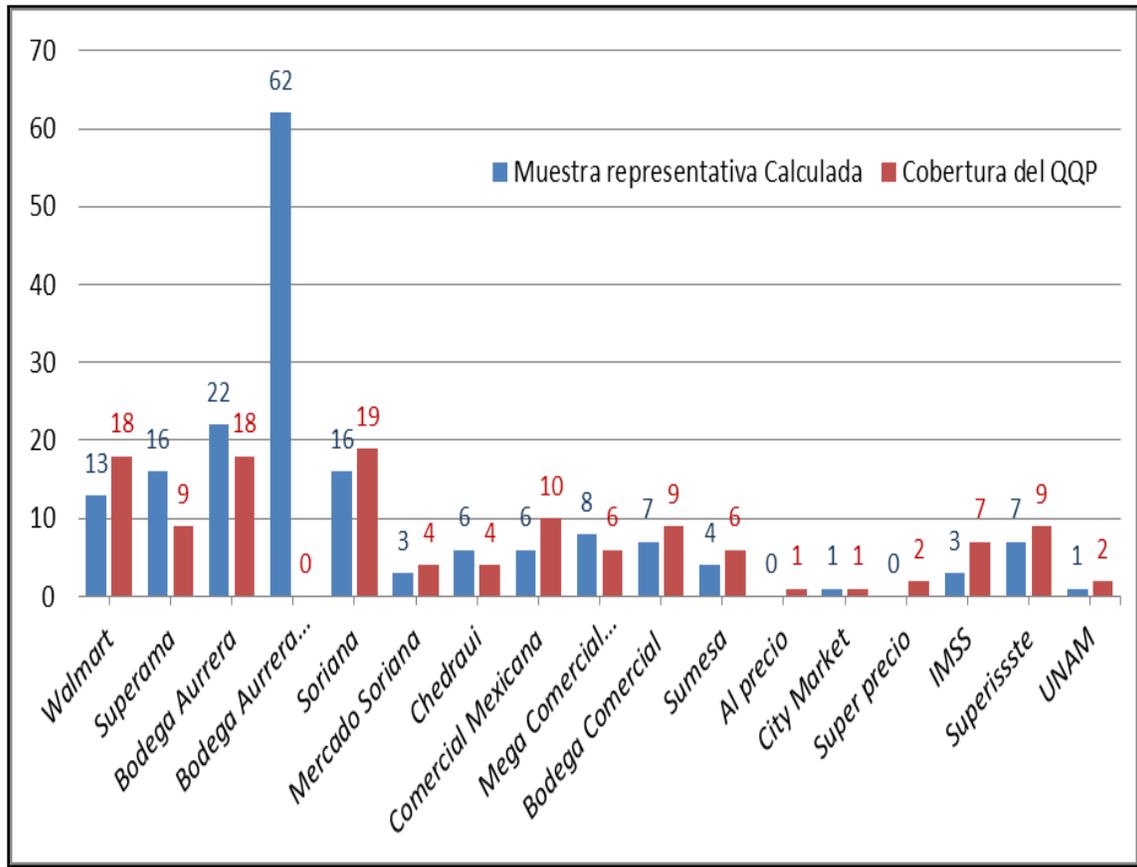
La tabla se resume gráficamente en la Figura I.2, también de realización propia datos tomados del Plan estratégico del programa Quién es Quién en los Precios 2010, donde se contrasta la cantidad establecimientos visitados semanalmente por el QQP contra la muestra representativa calculada de 175 establecimientos con 90% de confianza y 5% de error, según lo reportado por los responsables del QQP.

Tabla I.1 Información calculada de establecimientos representativos para el levantamiento de precios vs. establecimientos monitoreados por el programa.

Tiendas	Codificación de tienda	Muestra representativa Calculada	Cobertura del QQP	Diferencia
Walmart	W	13	18	-5
Superama	S	16	9	7
Bodega Aurrera	BA	22	18	4
Bodega Aurrera Express	BAE	62	0	62
Soriana	So	16	19	-3
Mercado Soriana	MS	3	4	-1
Chedraui	Ch	6	4	2
Comercial Mexicana	CM	6	10	-4
Mega Comercial Mexicana	MCM	8	6	2
Bodega Comercial	BC	7	9	-2
Sumesa	Su	4	6	-2
Al precio	Ap	0	1	-1
City Market	CiMa	1	1	0
Super precio	SP	0	2	-2
IMSS	IMSS	3	7	-4
Superisste	SISSSTE	7	9	-2
UNAM	UNAM	1	2	-1
Total		175	125	50

La Tabla I.1 se ve ilustrada en la Gráfica I.1, que muestra dos series de datos, la que presenta la columna más alta corresponde a la muestra representativa calculada por los encargados del QQP y la otra serie corresponde a los establecimientos realmente cubiertos por el programa.

Gráfica I.1 Comparativa de la distribución representativa de establecimientos en la Ciudad de México vs. establecimientos cubiertos por el programa⁷



En la tabla se muestran dos series de datos, la que presenta la columna más grande corresponde a la calculada teóricamente por los encargados del programa y la otra corresponde a la cobertura real del programa. Se observa que la cobertura es bastante cercana al cálculo teórico.

Adicionalmente, como parte de dicho análisis la DGEC consideró tanto el número de establecimientos comerciales como el número de hogares existentes por Delegación o Municipio para determinar la distribución de los establecimientos que deben ser visitados por el programa.

Existen otros establecimientos que no figuran en esta muestra, debido a que la cantidad de precios que se recopila en ellos representa un porcentaje muy reducido en relación con el total, a diferencia de las cadenas incluidas en el análisis mostrado. Estos establecimientos corresponden principalmente a

⁷ Realización propia con datos tomados del Plan estratégico del programa Quién es Quién en los Precios (2010), Profeco

panaderías, tortillerías y farmacias; un ejemplo extremo lo podemos ver en el caso de una tortillería donde se captura sólo un precio, contra cualquiera de las tiendas que forman parte de las cadenas principales en el país en las cuales se capturan cientos de precios en una visita.

Para los fines de esta tesis, no se propondrán cambios al directorio de establecimientos que tiene definido el programa, éste será usado únicamente como fuente de información para la solución del problema.

1.4 Catálogos de productos monitoreados por el programa Quién es Quién en los Precios

En los establecimientos que conforman el directorio descrito en el apartado previo, se realiza el levantamiento de precios de los distintos artículos que se encuentran considerados en catálogos de productos, mismos que se actualizan tomando como base los genéricos que integran la canasta básica del Banco de México (Banxico), así como los que aparecen en las Encuestas de Ingreso Gasto de los Hogares⁸ (ENIGH) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La canasta básica es un subconjunto de la Canasta de Bienes y Servicios del Índice Nacional de Precios al Consumidor, fue integrada por los representantes de los sectores firmantes del Pacto para la Estabilidad y el Crecimiento Económico a finales de 1988, con objeto de conocer el comportamiento de los precios incluidos en dicha canasta, para garantizar el cumplimiento por parte de los participantes del pacto, de los acuerdos establecidos sobre los precios de bienes y servicios del sector público y privado⁹.

En la tabla 1.2 se enlistan los productos genéricos que integran la canasta de Banxico y se encuentran sombreados aquellos que están incluidos en los catálogos de productos cuyos precios son recopilados por el QQP.

⁸ <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?c=16787&s=est> (28 de nov. de 2010)

⁹ <http://www.banxico.org.mx> (28 de nov. de 2010)

Tabla I.2 Productos genéricos de la canasta básica de Banxico¹⁰

Productos genéricos incluidos en la canasta básica del Banxico				
Aceites grasas y vegetales comestibles	Leche evaporada, condensada y maternizada	Leche pasteurizada y fresca	Navajas y máquinas de afeitar	Metro o transporte eléctrico
Cuadernos y carpetas	Masa y harinas de maíz	Suavizantes y limpiadores	Anticonceptivos y hormonales	Otros medicamentos
Concentrados de pollo y sal	Desodorantes personales	Atún y sardina en lata	Reproductores de video	Gasolina de alto octanaje
Agua embotellada	Cerveza	Jabón de tocador	Pasta dental	Cine
Analgésicos	Chiles procesados	Jabón para lavar	Pasta para sopa	Electricidad
Antibióticos	Chocolate	Jamón	Pilas	Gas doméstico
Antigripales	Dermatológicos	Leche en polvo	Retazo	Colectivo
Carne molida de res	Cremas para la piel	Galletas populares	Servilletas de papel	Gasolina de bajo octanaje
Azúcar	Detergentes	Huevo	Televisores	Larga distancia nacional
Bistec de res	Papel higiénico	Licuadoras	Tortilla de maíz	Línea telefónica
Blanqueadores	Gastrointestinales	Arroz	Pan de caja	Material de curación
Café soluble	Gelatina en polvo	Nutricionales	Bicicletas	Cerillos
Café tostado	Harinas de trigo	Otras galletas	Autobús foráneo	Aceites lubricantes
Cardiovasculares	Hígado de res	Pan blanco	Autobús urbano	

Para determinar las marcas y presentaciones de cada genérico incluido en el catálogo de productos, los encargados del programa realizan inventarios en tiendas de las principales cadenas comerciales, seleccionando los que tienen una presencia sobresaliente en las estanterías, así como los que se ofertan en el mayor número de cadenas.

El levantamiento de precios se realiza directamente en los establecimientos comerciales por medio del equipo electrónico que se le proporciona a cada encuestador, con excepción de algunos casos bien identificados, en los que se deja el catálogo de productos a los encargados del establecimiento o departamento para que personalmente anoten los precios en papel.

Un ejemplo de recopilación en papel es el caso de los medicamentos, toda vez que en algunas farmacias no se permite la entrada a los encuestadores, esto debido a la naturaleza del producto que se maneja y las restricciones que implican ciertos productos que comercializan. En ambos casos el dato que se recaba es el precio de venta al consumidor y se registra únicamente cuando se encuentra producto en existencia.

¹⁰ Documento de planeación estratégica del programa Quién es Quién en los Precios (2010), Profeco.

Es importante aclarar que en este estudio se ha tomado como información disponible tanto el catálogo de productos como el directorio de establecimientos, vigentes al 21 de octubre de 2010 de acuerdo con la información proporcionada por los responsables del programa. El método de actualización así como los criterios de selección de los productos, marcas, presentaciones y establecimientos participantes son considerados fuera del alcance de esta investigación por lo que no se enfatiza en su estudio y se toman como datos de entrada para la caracterización del sistema.

1.5 Impacto del programa Quién es Quién en los Precios

La información recopilada por los grupos de encuestadores del QQP se publica en distintos medios tanto impresos como electrónicos, entre ellos podemos mencionar:

- ▶ Herramienta Quién es quién en los precios, dentro de la página Web de Profeco (<http://www.profeco.gob.mx/precios/canasta/default.aspx>) donde se tenían registrados para consulta de información hasta el 8 de febrero de 2011 un total de 43,282 usuarios;
- ▶ Revista del Consumidor, publicación mensual de Profeco donde se incluyen distintos estudios realizados por el Laboratorio Nacional de Protección al consumidor y en donde apoya el programa con los precios de los distintos productos analizados para la edición correspondiente de la revista;
- ▶ Publicaciones electrónicas quincenales de distribución gratuita editadas por Profeco, entre ellas: el boletín electrónico “*Brújula de compra*”, donde se realiza un comparativo de precios relacionados con una temática distinta en cada edición;
- ▶ Folletos impresos de temporada, editados para proporcionar información a la población acerca de algunos de los productos de mayor demanda durante las temporadas de regreso a clases (útiles escolares y uniformes), fin de año (juguetes) y semana santa (pescados y mariscos), respectivamente.

Adicionalmente, la DGEC aporta contenidos a distintos medios de comunicación cuando éstos lo solicitan y siempre con el interés de divulgar la información recabada a la mayor cantidad de personas posibles, entre estas contribuciones se encuentran:

- ▶ Publímetro, principalmente información generada por la herramienta “*Brújula de compra*”, derivada del análisis de precios disponibles en la base de datos del programa;

- ▶ Programa de radio “Sólo para la mujer” donde se aporta información específica de interés de los temas propios del programa radiofónico.

Por otro lado, los ciudadanos tienen la opción de acceder a los datos históricos por medio de la compra de bases de datos para fines de investigación, haciendo contacto con los responsables del programa a través de los medios detallados en la página de internet del programa. En este caso, se proporciona la información que el ciudadano u organización solicita en la presentación que más convenga al interesado a cambio de una mínima contribución económica.

Cabe mencionar, que el programa ha sido reconocido por distintos países solicitando asesoría específica acerca de la operación del mismo para implementar experiencias similares, entre los que podemos mencionar :la visita consultiva realizada por la *Agencia de Protección al Consumidor de Egipto (ECPA)* del 10 al 14 de noviembre de 2008, donde se expusieron entre muchos otros temas relacionados con las distintas áreas y programas de Profeco, la operación general del QQP en sus distintas etapas, los mecanismos de difusión de la información generada así como el uso de la misma por parte de distintas instituciones ajenas a Profeco.

El caso más reciente de estas experiencias lo constituye la solicitud de la Autoridad de Protección al Consumidor y Defensa de la Competencia (ACODECO) de Panamá, con el objeto de que dos (2) funcionarios de esa Autoridad realizaran una pasantía en las instalaciones de Profeco durante el periodo comprendido entre el 26 al 30 de octubre de 2009 con el objetivo de involucrarse en la forma de operación y difusión de la información de precios al consumidor.

Estas son las dos experiencias más recientes, pero se tiene constancia de otras consultas atendidas por las áreas involucradas con la operación del QQP y que dan constancia de la importancia de la actividad del programa en el contexto mundial.

1.6 Problema que se resuelve en este estudio

La operación actual del programa Quién es Quién en los Precios (QQP) tiene problemas importantes de escasez de recursos, tanto financieros como humanos, es por ello que los encargados del QQP deben buscar formas de mantener el desempeño (medido en cantidad de precios recopilados por semana) con menos recursos, o dicho de otra forma, trabajar con mayor eficiencia.

La parte principal del programa es la recopilación de precios de los productos, que alimentan las bases de datos y que se ponen a disposición de los usuarios, aunque hay otras etapas como la validación de los precios, el manejo de la base de datos, la atención de solicitudes especiales de información por parte de los

ciudadanos, etc.; estas actividades demandan una cantidad menor de personal, ya que están centralizadas en las oficinas de Profeco en la Ciudad de México y la parte de recolección de precios es fundamental para que las demás actividades tengan sentido.

Por lo antes mencionado, el trabajo de recolección en campo de los precios de productos es un punto crítico en la operación del programa QQP, además de que implica la movilización de la mayor parte del personal adscrito al mismo a nivel nacional.

Actualmente la recolección de precios se realiza visitando una serie de establecimientos previamente integrados por los encargados del programa en un directorio. El responsable del grupo de encuestadores define, con base en la experiencia, la ruta a seguir para cada día.

Esta forma de trabajo ha permitido mantener el nivel de desempeño actual, pero pudiera resultar insuficiente en un contexto de escasez de recursos y afectar notablemente a la operación y permanencia del programa.

En este contexto, el presente estudio propone determinar las rutas que deben seguir un grupo de encuestadores para maximizar la cantidad de precios recopilada, considerando que la investigación de operaciones cuenta con herramientas que permiten formalizar esta actividad con un uso más efectivo de los recursos.

Estableciendo la ruta óptima a seguir, se aumentará el desempeño del programa con los recursos existentes o puede ayudar a mantenerlo en caso de que continúen las reducciones en los recursos.

1.7 Recursos con los que opera el programa

El programa QQP opera en 22 ciudades del país, con sede en las respectivas delegaciones de Profeco, aunque la operación principal se concentra en la Ciudad de México y donde se sitúa el estudio que se desarrolla en la presente tesis.

En cuanto al personal que realiza las actividades de levantamiento de datos, en la Ciudad de México se cuenta con 18 personas que se dividen en cuatro grupos, 14 participan como personal operativo y 4 como coordinadores o jefes de grupo, además del personal que se ocupa de la operación y administración del mismo desde las oficinas centrales de Profeco ubicadas en Av. José Vasconcelos 208, Col. Condesa, Del. Cuauhtémoc, CP 06140, México, DF.

Diariamente, se cubren los establecimientos determinados por los encargados del programa de acuerdo a la zona asignada a cada grupo, con cierta libertad de los coordinadores o jefes de grupo para determinar (con base en la experiencia) la ruta a seguir para realizar la captura de precios.

En el caso de la Cd. de México, el desplazamiento del personal encargado de la recopilación de datos se realiza en vehículos oficiales de Profeco, asignados para la operación del programa.

La captura o recopilación se realiza por medio de terminales electrónicas dispuestas para cada encuestador, en las que se registra el precio del artículo de la marca y presentación especificadas por el catálogo de productos, la información así recopilada se descarga al final de la jornada para ser validada e integrada a la base de datos del programa, de modo que el mismo día se tiene acceso vía Internet a los precios recabados durante la mañana.

En principio, la meta del programa es que la base de datos sea renovada completamente en 5 días hábiles, es decir, cada semana debería hacerse el recorrido de todo el directorio de establecimientos y se debe capturar el precio de cada uno de los artículos incluidos en el catálogo de productos.

La operación del programa depende de los recursos federales asignados a la DGEC, mismos que se han visto reducidos de manera consistente en años recientes y en particular en el presente año, en el que se ha sufrido la reducción más drástica, en la Gráfica I.3¹¹ se ilustra esta reducción para los rubros de Servicios generales y Materiales y Suministros.

Gráfica I.2 Reducciones presupuestales anuales¹²



¹¹ Ibid.

¹² Gráfica de elaboración propia con datos del Documento de planeación estratégica del programa Quién es Quién en los Precios (2010), Profeco.

La Gráfica I.2 muestra la tendencia constante hacia la reducción del presupuesto de la DGEC y aunque no se muestran los montos reales, se ejemplifica en negritas el monto que se autorizó para cada año en relación a 2007 y entre paréntesis se marca el porcentaje de reducción del presupuesto respecto al año inmediato anterior. Así se puede decir que los recursos disponibles asignados para el 2011 son alrededor del 10% con relación al ejercido durante el 2007, es decir de 2007 a 2011 el presupuesto destinado a dos rubros: Servicios generales y Materiales y suministros cayó alrededor del 90%

Los recursos humanos también se han visto mermados a través de los últimos años pero no de forma tan drástica como el presupuesto, aunque son previsibles nuevos recortes tanto presupuestales como de personal.

Hemos descrito de manera general el panorama bajo el cual opera el programa, sus principales actividades, la importancia del mismo y el fundamento para su operación, esto servirá como base para entender los capítulos subsecuentes de la presente tesis.

En resumen, hemos mencionado que el QQP se basa en los precios de artículos incluidos en un catálogo de productos y son monitoreados en distintos establecimientos que se encuentran establecidos en un directorio que también es determinado por los encargados del QQP.

Los precios de los productos son recopilados por grupos de encuestadores que se desplazan físicamente hasta los establecimientos y se capturan en dispositivos electrónicos para ser descargados en la base de datos al final de la jornada, donde se validan los precios, y se ponen a disposición de los ciudadanos por distintos medios.

Así, se identifican distintas etapas de operación del programa pero la principal es la recopilación de los mismos, debido a que es la que nutre las bases de datos de precios, además de que demanda la mayor cantidad de recursos humanos ya que requiere de grupos de encuestadores que visiten los establecimientos.

Por ello, el desempeño del programa tiene una componente importante en la recopilación de precios, sin demeritar la importancia del resto de las actividades, se pone énfasis en ella como un punto importante a atender en las condiciones adversas que atraviesa la operación del programa QQP.

Los grupos de encuestadores pueden variar en el número de integrantes, de acuerdo con la disponibilidad de personal y se desplazan hacia los establecimientos que deben ser visitados de acuerdo con el criterio del coordinador del grupo que usa su experiencia para determinar las rutas a seguir cada día.

Con estas consideraciones resumidas en algunos párrafos y desglosadas ampliamente en capítulos subsecuentes se estructura el siguiente problema como el centro de esta investigación:

Establecer un medio para determinar las rutas de trabajo de un grupo de encuestadores de la Ciudad de México, que maximice la cantidad de precios que recopila diariamente, considerando la cantidad de personas que componen el grupo cada día.

El problema planteado en el capítulo anterior, remite directamente a un problema económico, una drástica reducción presupuestal, lo cual podría dar pauta a una actitud reactiva, escalando el problema al traducir las carencias económicas en reducciones operativas, corte de personal, acotamiento del alcance del programa, etc.

Este enfoque ciertamente es contrario al enfoque de ingeniería de sistemas, ya que se estaría abordando el problema de manera superficial, el estudio debe ampliarse al análisis de los actores del sistema, sus funciones e interrelaciones y ubicar el contexto del problema, buscando áreas de oportunidad en las cuales trabajar sin afectar el cumplimiento de los objetivos para los cuales fue creado el programa Quién es Quién en los Precios (QQP), reorganizando o modificando la forma de trabajo.

En ése sentido, se exploraron distintas opciones, algunas de ellas se plantearon inicialmente y luego fueron desechadas ante consideraciones más amplias sobre la incidencia de la solución que se obtendría a partir de los distintos planteamientos y su contraste con los objetivos que persigue el programa QQP y la Institución que lo alberga.

Como ya se mencionó, uno de esos planteamientos podría ser el estudio desde el punto de vista económico de la operación del QQP es decir, la efectividad y eficiencia con la que se ejerce el presupuesto. Este enfoque es importante, dado que la eficiencia con la que se traduce el presupuesto en beneficios para la sociedad debe ser fundamental para cualquier Institución de carácter público, sin embargo, para fines prácticos consideramos que el enfoque económico no aportaría grandes beneficios operativos y podría en cambio servir de puntal para fundamentar nuevas reducciones presupuestales.

Por otro lado, el presupuesto asignado directamente a la operación diaria del programa se emplea principalmente en pago de nómina e insumos relacionados con el traslado de los grupos de encuestadores (combustible y mantenimiento de vehículos), así como al mantenimiento que requiere el equipo informático y/o electrónico necesario para la captura y procesamiento de la información.

En este sentido, el análisis económico y el establecimiento de indicadores de eficiencia en el gasto no necesariamente incidirá en el aumento de la cantidad y calidad de la información recabada por el programa, por el contrario, la reducción de presupuesto de manera desordenada puede arrastrar a la baja la eficacia del mismo.

A partir de estas consideraciones, el tratamiento que se dará al problema corresponde a la atención de la parte operativa del programa, la implantación de un sistema de operación que permita al área establecer una administración efectiva del presupuesto y mantener los niveles de cumplimiento de los objetivos a pesar de la carencia de recursos, es por ello que para efectos de este estudio se considera importante el diseño de un método con fundamentos matemáticos del cual surjan las rutas a seguirse diariamente para obtener la mayor cantidad posible de información que nutra la base de datos del QQP.

Para determinar las rutas que maximicen la cantidad de información recabada, es necesario echar mano de un problema típico en el ámbito de la Investigación de Operaciones que es el Problema del Agente Viajero (*Traveling Salesman Problem, TSP*).

Antes de entrar de lleno en los fundamentos teóricos del *TSP* se incluye una breve revisión de nuestro objeto de estudio y su contexto con estudios que están en un tenor similar al que aquí se desarrolló, esto se encuadra como estado del arte, aunque la profundidad de este estudio no ofrece la revisión literaria exhaustiva de un trabajo de tipo teórico, sí se busca delinear el contexto de esta investigación y su aportación al estudio de los temas de Investigación de Operaciones.

Dentro del Marco Teórico se ha descrito de manera general algunas de las principales características teóricas de este modelo, buscando darle orientación hacia el problema que abordado en este estudio, es decir, la recolección de la mayor cantidad de información posible con un grupo de encuestadores, a través de la visita de un conjunto de establecimientos previamente definidos en un directorio, respetando los horarios de trabajo y la cantidad de personal disponible.

Ya establecidas las bases del problema conocido como *TSP* así como algunos de sus métodos de solución se tienen los fundamentos que soportan el desarrollo de la aplicación al problema detallado en capítulos posteriores.

II.1 Estado del arte

El estudio que aquí se presenta corresponde a la aplicación de un modelo ampliamente estudiado en la Investigación de Operaciones, tanto por su complejidad como por su utilidad práctica: el Problema del Agente Viajero (*Traveling Salesman Problem, TSP*)

El problema que se requiere resolver está inscrito en la procuraduría Federal del Consumidor (Profeco) que es una institución pública mexicana, la cual de manera general procura que las relaciones entre consumidores y oferentes de bienes y

servicios sean equitativas, en ese contexto se encuentra inmerso el programa Quién es Quién en los Precios (QQP), que se encarga de monitorear el precio de un catálogo de productos en establecimientos que el QQP considera representativas por su importancia y la preferencia de los consumidores hacia ellos, mismos que son integrados en un Directorio de Establecimientos.

Todos los precios son recopilados por grupos de encuestadores que visitan los establecimientos del directorio y capturan el precio de venta de los artículos incluidos en el catálogo de productos, para luego ser integrados a una base de datos que es difundida a la ciudadanía de distintas formas y que le permite al ciudadano común tener un referente para realizar un consumo informado.

Actualmente no se cuenta con una metodología para determinar las rutas que deben seguir los grupos de encuestadores para realizar la captura de precios, se actúa con base en la experiencia. Esta forma de operación ha permitido mantener un nivel de desempeño aceptable durante años, sin embargo recientemente el programa ha visto mermada la cantidad de recursos disponibles para su operación (90% en cuatro años), por lo que es urgente optimizar el aprovechamiento de los mismos.

El presente estudio desarrolla un medio para la determinación de rutas a partir de una base cuantitativa del desempeño del grupo de encuestadores, que coadyuve a mantener el desempeño del programa con los recursos disponibles.

El problema de *TSP* ha sido ampliamente estudiado tanto en su planteamiento como en métodos de solución, además se ha aplicado en problemas en los que comúnmente se requiere describir un recorrido a través de un conjunto de puntos pasando por ellos una sola vez y con un costo mínimo, asumiendo como costo el tiempo de traslado o bien gastos derivados del desplazamiento. Podríamos citar cientos de artículos que tienen este planteamiento pero no es de nuestro interés ya que el planteamiento que se busca en este caso es ligeramente distinto.

Este problema se aborda con el enfoque de maximización de la cantidad de precios que recopilan los encuestadores en una jornada normal de trabajo, aprovechando el planteamiento del *TSP*, con la particularidad de que, como ya se adelantó, a diferencia del objetivo más común en este modelo, que es la minimización de los costos o de los tiempos de ruta, aquí nuestro objetivo es maximizar la cantidad de precios capturados a través de la ruta.

El problema del Agente Viajero de maximización también se ha conocido como "*Taxicab Ripoff Problem*" (Problema del fraude de taxi) o *MTSP* (*Maximum Traveling Salesman Problem*).

Aunque este planteamiento ha sido menos estudiado que el de minimización, existen algunos artículos que abordan el tema con enfoque académico o de investigación. A continuación mostramos algunos.

Uno de ellos, publicado por Blokh¹³, trata el problema del *TSP* de maximización pero desde un punto de vista puramente matemático, en particular se refiere al tratamiento que debe darse a las matrices de datos que alimentan al modelo, este artículo es útil para el estudio de las bases y variaciones teóricas al respecto que sí bien es importante considerar como fundamento teórico, desde el punto de vista práctico y de aplicación es limitado ya que la aportación principal es el planteamiento de un modelo matemático, de aplicación real que posteriormente será resuelto aprovechando un software especializado.

Otra publicación relacionada es la de Müller¹⁴ en 2011, que aborda un problema particular llamado Häme-Hyytiä-Hakula conjecture, pero con un planteamiento de ciclo euclidiano, lo cual nos aleja de nuestro tema de estudio, ya que el ciclo euclidiano no nos compete en este estudio y sí el ciclo hamiltoniano, que pretende visitar cada nodo o punto de una lista una sola vez, así mencionamos este artículo aunque es también de carácter académico porque sirve como ilustración de estudios que se realizan al *TSP* de maximización.

En cambio un artículo que se acerca más al enfoque de este estudio, fue publicado en 2006 por José G. Hernández¹⁵ quién realiza un ejercicio académico en el que aplica distintos modelos de Investigación de Operaciones a posibles situaciones de Turismo, en particular a un caso en el que a través de un modelo multiatributo caracteriza a una serie de parajes turísticos de interés para un viajante y el objetivo es que el modelo le indique cuáles son los parajes que debe visitar de tal forma que le proporcionen una mayor satisfacción de acuerdo con las restricciones que él mismo establece.

Como se mencionó, en este artículo el autor plantea distintos modelos, pero en particular nos interesa el modelo de *TSP* de maximización, que busca maximizar el costo total de ir de una ciudad a otra visitando las distintas ciudades una sola vez, entendiendo aquí como costo la satisfacción que le produce cada Blokh, Maximizing Traveling Salesman Problem For Special Matrices, Ben Gurion University of Negev.desplazamiento.

Este modelo se define como multiatributo porque el viajero considera distintas características, como actividades turísticas, el rol del turista en la experiencia (espectador, protagonista, etc.), facilidades del paraje turístico que se podría ocupar (señalización, atención a visitantes, panorámicas, etc.), el número de días que requiere el viaje, y finalmente características relacionadas con las vías de interconexión de los parajes (estado de las carreteras, seguridad, tránsito, etc.)

¹³ Blokh, Maximizing Traveling Salesman Problem For Special Matrices, Ben Gurion University of Negev.

¹⁴ Müller, Finding maximizing euclidean *TSP* tours for the Häme-Hyytiä-Hakula conjecture, Institute of Theoretical Computer Science and Swiss Institute of Bioinformatics, ETH Zürich, 2011.

¹⁵ Hernández, Investigación de Operaciones y Turismo, Revista de Matemática: teoría y aplicaciones, 22 de febrero de 2006

A estos atributos se les asigna un valor dependiendo de la importancia que tienen para el turista y por otro lado se les asigna el valor que puede aportar cada paraje en los distintos atributos.

Es decir, en un modelo típico de *TSP* se tendrían costos asociados al uso de un arco y un presupuesto máximo disponible para recorrer una ruta y en este caso se tienen valores de beneficio que se requieren y valores de satisfacción que son capaces de proveer el traslado a través de distintas ciudades.

La construcción del modelo es exactamente el mismo que el de un *TSP* de minimización, lo que pudiera demandar mayor atención es lograr el pleno entendimiento de las condiciones y asociarlas al modelo, debido a la formación que tenemos y la costumbre de pensar en este modelo para aplicaciones muy ampliamente estudiadas, relacionadas con minimizar recorridos o costos.

La solución del modelo que se construye en el artículo referido, corresponde a la solución del *TSP* con la particularidad de maximizar la función objetivo y se aplica un método tradicional que no es detallado aunque si se menciona que se van conformando rutas tomando como restricción el tiempo disponible diario y formando la ruta diaria hasta agotar su tiempo con el máximo beneficio cada día.

Aunque en este caso se resuelve el modelo sin aplicar un método de solución de los clásicos aplicados a este tipo de problemas, es interesante el planteamiento de la modelación matemática a un problema típicamente de minimización.

La referencia bibliográfica permite ubicar el artículo mencionado de manera libre en internet para consultas más detalladas, aquí damos acuse del mismo como parte del estudio de las aplicaciones del problema que nos ocupa.

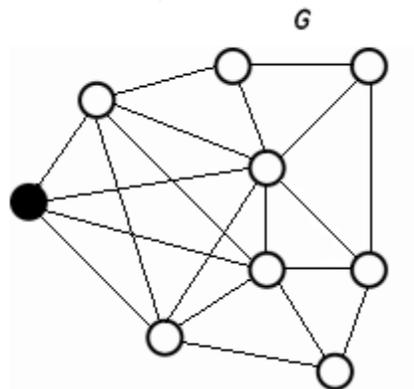
Esta tesis propone una aplicación poco común al problema del *TSP* empleando una transformación sencilla para aprovechar las bondades del modelo y se obtiene la solución exacta al problema planteado, ya que la dimensión del mismo lo permite.

II.2 Marco teórico

El presente estudio tiene fundamento en una rama de la modelación matemática llamada Teoría de Redes, aunque no compete en este momento desarrollar el tema ampliamente conviene mencionar algunos conceptos básicos que nos permitirán comprender mejor el contexto teórico.

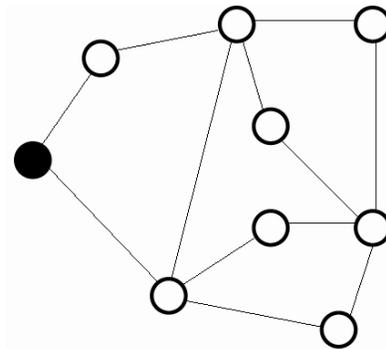
Se llama *Grafo* a un conjunto de vértices o nodos que se encuentran comunicados por medio de arcos o aristas, que puede ser representado gráficamente, se denota normalmente con G

Grafo II.1 Ejemplo de un grafo



Se denomina *Camino* a una lista de vértices v_1, v_2, \dots, v_n tales que para cada i , $[v_i, v_{i+1}]$ es un arco en G .

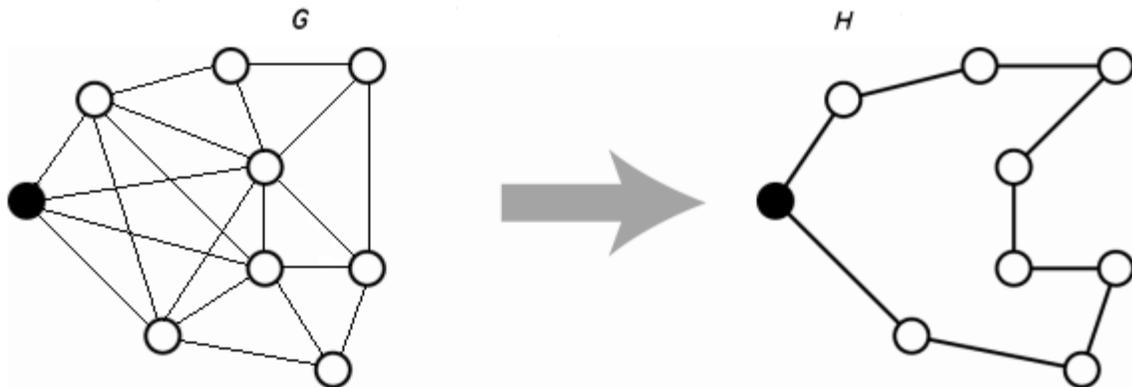
Grafo II.2 Ejemplo de un camino para el grafo anterior



Un *Ciclo* es un camino que termina exactamente en el mismo nodo en el que inicio, sin tener ningún otro vértice repetido.

Un *Ciclo Hamiltoniano* es un Ciclo que usa cada vértice en G exactamente una vez, denotado comúnmente con H y un *Grafo* es llamado *Hamiltoniano* si contiene un Ciclo Hamiltoniano.

Grafo II.3 Ejemplo de un ciclo Hamiltoniano



En los apartados siguientes se ahondará en algunos de estos temas que son básicos para el entendimiento del planteamiento de esta investigación.

II.2.1 Optimización Combinatoria

Los problemas de optimización se pueden dividir en dos categorías en función del tipo de variables que utilizan: aquellos que se sirven de variables continuas y los que requieren variables discretas, los cuales son conocidos como problemas combinatorios.

En los problemas continuos, generalmente se busca un conjunto de números reales o incluso una función; en los combinatorios se busca un objeto finito (posiblemente contable) de un conjunto de posibles soluciones¹⁶.

El caso que se desarrolló en este estudio corresponde a problemas de tipo combinatorio, dado que se busca definir los establecimientos a visitar en un día determinado por un grupo de encuestadores y el orden en el que se realizarán las visitas, por tanto en lo sucesivo se abordarán de manera particular problemas de tipo combinatorio.

II.2.2 El Ciclo Hamiltoniano

Un apartado de los problemas combinatorios se refiere al estudio de circuitos o ciclos, en particular nos interesan los ciclos hamiltonianos.

¹⁶ Flood, the traveling salesman problem, OPERATIONS RESEARCH, Vol. 4, No. 1, February 1956, pp. 61-75
DOI: 10.1287/opre.4.1.61 Columbia University NY 1956

Se conoce como ciclo hamiltoniano a una sucesión de aristas (en nuestro caso caminos entre establecimientos) que comunican a todos los vértices o nodos (en nuestro caso establecimientos) una única vez, es decir, a lo largo del ciclo pasamos una, y sólo una, vez por cada uno de los establecimientos.¹⁷

La aplicación de este modelo de problema exige que cada par de establecimientos estén comunicados y el número total de establecimientos sea impar, llamaremos $2n+1$ al número de vértices (asegurando así que es impar).

Para probar que la factorización puede realizarse, consideremos el caso en que n es 1, en ese caso estamos descomponiendo un arreglo de 3 establecimientos. K_3 se descompone en un ciclo hamiltoniano, que es él mismo.

Se prueba a continuación el caso en el que n toma un valor mayor o igual a 2. Llamaremos a los vértices de K_{2n+1} , $V(K_{2n+1}) = \{0, 1, \dots, 2n\}$.

Para formar los ciclos escogemos el último vértice, es decir, el vértice $2n$, y formamos caminos con los restantes vértices que posteriormente se unen al vértice $2n$.

Elegimos el primer camino de la siguiente manera:

$$0, 2n-1, 1, 2n-2, 2, 2n-3, 3, \dots, n-1, n.$$

Los siguientes caminos se forman avanzando una unidad en el número de vértice de cada posición, teniendo en cuenta que el vértice $2n$ ya está aislado, por tanto, el vértice siguiente a $2n-1$ será el vértice 0 (y no el $2n$).

Finalmente se deben unir estos vértices al vértice aislado (último vértice). A continuación se muestra una explicación gráfica del algoritmo en las Figuras II.1 y II.2:

¹⁷ <http://www.dma.fi.upm.es/gregorio/grafos/Descomposiciones/Algoritmos/CHamiltonianos.htm> (12 de marzo de 2012)

Figura II.1 En el dibujo se observan puntos que representan un conjunto de nueve vértices o establecimientos que deben visitarse, las líneas corresponden a posibles conexiones entre ellos.

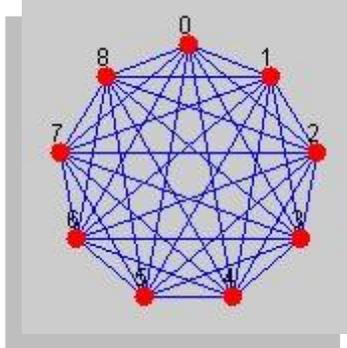
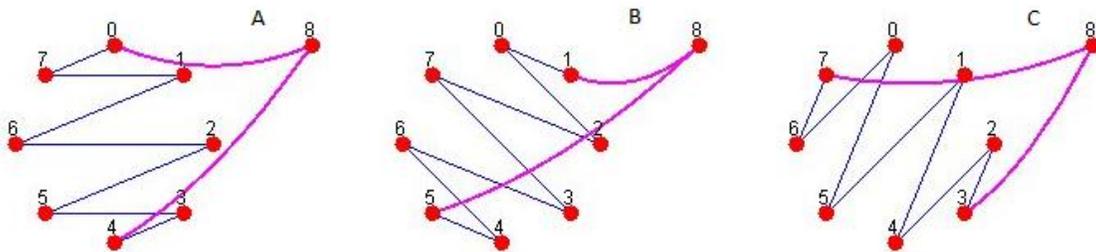


Figura II.2 En esta figura se muestran tres posibles formas de conexión, o rutas a seguir.



Se podrían seguir construyendo opciones, sin embargo la cantidad es enorme considerando todas las posibles conexiones entre los distintos vértices o establecimientos, en realidad lo que interesa en este momento es ilustrar que en cada una de las opciones del ciclo, solamente se pasa una vez por cada vértice y al final se regresa al punto inicial.

Es así como se identifica un ciclo hamiltoniano y se corrobora lo expuesto anteriormente. Se puede resaltar que en el ejemplo se inicia con el vértice 8 pero pudiera utilizarse cualquier otro, además la disposición de los vértices se alteró ligeramente con respecto a la figura II.1 con la única finalidad de hacer más comprensible la idea.

II.2.3 Problema del Agente Viajero (TSP).

Su origen se atribuye a Flood en 1956¹⁸ y es quizá el problema de optimización combinatoria más popular de todos en el área de investigación de operaciones. De manera simple, se describe como un agente que debe visitar una vez a cada ciudad de entre un conjunto y regresar a su punto de partida formando un *tour*, de tal forma que el recorrido total sea mínimo. Esto es lo que de manera general conocemos como ciclo Hamiltoniano, a continuación desarrolla de manera más formal el modelo del TSP.

Cabe mencionar que en el ciclo hamiltoniano no es posible formar *subtours*, es decir, recorridos independientes que no incluyan a todas las ciudades a visitar.

II.2.3.1 Formulación del TSP

Un agente viajero tiene que viajar a n ciudades $(1, 2, \dots, n)$, el costo de viajar de la ciudad i a la ciudad j es c_{ij} , con $i \neq j$ para toda n ; además debe iniciar en una ciudad, visitar cada una de las demás ciudades exactamente una vez en cierto orden y al final regresar a la ciudad inicial. El problema es determinar el orden en el que debe viajar a través de las distintas ciudades minimizando el costo total.

Suponga que inicia en la ciudad 1 si viaja a las ciudades en orden de i a $i+1$, desde $i=1$, hasta $i=n-1$, y después de la ciudad n a la ciudad 1, esta rutina se puede representar como "1,2,3,...,n+1" tal orden es conocido como *tour*. De modo que un *tour* es un circuito que sale una sola vez de cada ciudad. Por tanto la ciudad inicial es inmaterial y sin pérdida de generalidad podemos decir que se puede elegir cualquier ciudad para que sea la ciudad inicial y de ahí podemos seguir a cualesquiera otra ciudad $n-1$, así que hay $n-1$ formas diferentes de escoger la ciudad que sucede a la primera elección y de esa ciudad se puede viajar a las $n-2$ ciudades restantes, etc. De modo que el número total de posibles tours en un problema de n ciudades es $(n-1)(n-2)\dots 1=(n-1)!$

Supongamos que t es un *tour* dado, se definen las variables enteras como:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el agente viaja de la ciudad } i \text{ a la ciudad } j \text{ en el tour } t \\ 0 & \text{de otra forma} \end{cases}$$

¹⁸ Ibid.

Entonces $X=(x_{ij})$ es obviamente una asignación y tal asignación corresponde al *tour* t , pero hay asignaciones que no son *tours* por ejemplo: podemos ver que la asignación $\{(1,2),(2,1),(3,4),(4,3)\}$ no es un *tour* porque los trayectos en esta asignación no forman un circuito único de todas las ciudades, pero sí forman dos *subtours* (uno entre la ciudad 1 y 2 y otro entre la ciudad 3 y 4) lo cual no es posible para el problema que estudiamos.

Contemplando todas las consideraciones expuestas el planteamiento matemático del problema del agente viajero es:

<i>F.O.</i>	<i>Minimizar</i>	$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$	
<i>Sujeto a:</i>			
	$\sum_i x_{ij} = 1$		<i>para toda j</i>
	$\sum_j x_{ij} = 1$		<i>para toda i</i>
	$u_i - u_j + (n+1)x_{ij} \leq n$		<i>para $i=0,1,2,n; j=1,2,3,\dots,n+1; i \neq j$</i>
	$x_{ij} \in \{0, 1\}$		<i>para toda i, j</i>
	$X=(x_{ij})$		<i>es un tour asignado</i>

La primera desigualdad fuerza a que el agente salga sólo una vez de cada ciudad, la segunda lo fuerza a que llegue sólo una vez a cada ciudad, la combinación de estas dos restricciones asegura que sólo se visite una vez cada ciudad.

La tercera evita la formación de subtours, el conjunto de variables u_i, u_j definen una secuencia de visitas a las ciudades del problema, representando además las ciudades de origen y destino respectivamente.

Esto implica que si $x_{ij}=1$ trabajando algebraicamente la tercera restricción tendríamos $u_j \geq u_{i+1}$ es decir, el valor de la variable de llegada debe ser mayor a que la variable de partida en el menos una unidad, lo cual impide la formación de subtours.

Este modelo es general y existen muchas variantes, en particular para evitar la formación de subtours, lo cual genera una gran cantidad de formulaciones y métodos o estrategias de solución en función del tamaño o instancia del problema, es decir, del número de ciudades que debe visitar el agente, anotando que a mayor instancia se incrementa también la complejidad de solución.

II.2.4 Métodos de solución más comunes

Una vez que se ha planteado un modelo que describe nuestro problema es necesario decidir qué tipo de tratamiento resulta adecuado para su solución. En principio la Investigación de Operaciones busca la solución óptima a los problemas, para ello ocupa datos con certidumbre que alimenten el modelo y con algoritmos potentes capaces de obtener dicha solución óptima.

Esto resulta imposible en ciertos casos debido a la complejidad de los modelos construidos, de los algoritmos de solución, la capacidad computacional disponible, la información disponible para caracterizar al modelo (datos estocásticos), y otras muy variadas causas.

Es por ello que resulta importante dar un panorama general de las estrategias de solución disponibles para luego seleccionar la más adecuada a nuestro caso y realizar las adaptaciones pertinentes para obtener el resultado óptimo, cuando sea posible, o al menos una aproximación aceptable.

II.2.5 Métodos exactos

Es el tipo de estrategias que proporcionan soluciones óptimas, resultados que no es posible mejorar, esto es posible principalmente cuando se tiene una complejidad moderada de modelado y una cantidad de variables de decisión es más bien reducido.

Uno de los métodos más usados por su capacidad para obtener soluciones exactas con tiempos aceptables en función de la instancia del problema es el método *Branch and Bound*¹⁹, el cual obtiene una solución al problema a través de la relajación de alguna de sus restricciones más duras y posteriormente realizar dentro de su vecindad, una búsqueda de soluciones que satisfagan las restricciones (que la hagan factible), durante el proceso se eliminan aquellos valores para las variables de decisión que no satisfacen las restricciones, eliminando así familias completas de soluciones y acotando el problema de manera considerable.

Según lo que establece Clausen (1999), en *Branch and Bound*, es por mucho el algoritmo más usado en la solución de problemas NP *hard* de optimización combinatoria y es en realidad un algoritmo paradigma que debe adecuarse para cada problema específico, en apartados posteriores trataremos el tema de problemas NP.

¹⁹ Clausen, Branch and bound algorithms, principles and examples, University of Copenhagen, Denmark, 1999.

A pesar de la potencia de este algoritmo, para instancias grandes (muchas ciudades) de los problemas que atañen a este estudio, no es posible aplicar con éxito este algoritmo ya que el número de operaciones que requiere para llegar a la solución óptima puede ser excesivo, dependiendo principalmente del número de ciudades a visitar, esto es lo que conocemos como un problema NP.

II.2.6 Complejidad computacional

Para comprender lo que es un problema NP es necesario abordar el tema de complejidad computacional, que estudia la “dificultad” de problemas de importancia teórica y práctica, como es el caso del *TSP*.

El objetivo fundamental de la Complejidad Computacional es clasificar los problemas de acuerdo a su manejabilidad, es decir, ¿es posible obtener una solución tomando él o los algoritmos más eficientes para resolverlos?, o bien, se quiere determinar las respuestas a las siguientes preguntas:

- ▶ ¿Qué tan manejable es el problema?
- ▶ Si el problema es manejable, ¿es eficiente el algoritmo?

En general, los distintos grados de complejidad son subjetivos (varían considerablemente de acuerdo al modelo computacional, a los recursos disponibles, a las variantes de las estructuras de datos, etc.). Por lo tanto, un objetivo primario del estudio de la complejidad es definir cuáles problemas son tratables, y cuáles no.

Por ejemplo, se puede afirmar que los problemas de programación lineal son tratables, es decir, tienen solución óptima aún para instancias grandes. En cambio, hay problemas que no son tratables, como el *TSP*, que en la práctica sólo se resuelve analíticamente para instancias pequeñas.

II.2.7 Clases de complejidad

Los problemas de acuerdo con su complejidad de solución se clasifican en clase P, clase NP, clase NP-completo y clase NP-*Hard*.

A. Clase P

La clase de complejidad de los problemas que pueden ser resueltos en tiempo polinomial calculado a partir de la entrada por una máquina de Turing determinista es llamada P. Una máquina de Turing no es una máquina física sino un mecanismo lógico por medio del cual el cálculo puede descomponerse en iteraciones de operaciones concretas extremadamente simples (controladas por un “programa”).

El principio de Turing es: “Cualquier procedimiento que puede ser descrito con precisión puede ser programado para que lo realice una computadora”

Entonces los problemas pertenecen a la clase P si su solución puede ser descrita con precisión y ser programada para que la realice una computadora en tiempo que varíe polinomialmente (no exponencialmente, por ejemplo) en relación al tamaño de sus variables y/o parámetros de entrada. Estos problemas se denominan tratables.

B. Clase NP

Cuando los problemas sólo se pueden resolver usando una máquina de Turing no-determinista, se dice que pertenecen a la clase NP, el cual es el acrónimo en inglés de Polinómico No determinista (*Non-Deterministic Polynomial-time*).

Cook²⁰ afirma que es trivial mostrar que $P \subseteq NP$, también afirma que hay dos formas de establecer si un problema pertenece a la clase NP:

- ▶ Si su solución implica el uso de una máquina de Turing No determinística en tiempo polinomial, o
- ▶ Si su solución se puede verificar en una máquina de Turing determinística en tiempo polinomial

Es posible demostrar que un problema pertenece a la clase P mediante dos formas:

- ▶ Mostrando un algoritmo polinomial que lo resuelve, o
- ▶ Usando una transformación polinomial a otro problema que ya se sabe que está en la clase P.

Una transformación polinomial de B en C es un algoritmo determinista que transforma instancias de $b \in B$ en instancias de $c \in C$, tales que la respuesta a c es positiva si y solo si la respuesta a b lo es.

La importancia de la clase de problemas NP es que contiene muchos problemas de búsqueda y de optimización para los que se desea saber si existe una cierta solución o si existe una mejor solución que las conocidas. En esta clase se encuentra el problema del agente viajero en el que, como ya se mencionó, se quiere saber si existe una ruta óptima que pasa por todos los nodos requeridos sin repetirlos.

C. Clase NP- Completo

²⁰ Cook, The P versus NP problem, University of Toronto.

http://www.claymath.org/millennium/P_vs_NP/Official_Problem_Description.pdf (10 marzo 2011)

Un problema de decisión C es NP-Completo sí es un problema NP y todo problema de NP se puede transformar polinomialmente en él.

Como consecuencia de esta definición, si se tuviera un algoritmo polinomial para el problema C , se tendría una solución en la clase P para todos los problemas de NP. Esta definición fue propuesta por Stephen Cook en 1971.

Cook demostró (teorema de Cook) que el problema de satisfacibilidad booleana es NP-completo. Desde entonces se ha demostrado que miles de otros problemas pertenecen a esta clase, casi siempre por reducción a partir de otros problemas para los que ya se había demostrado su pertenencia a NP completo.

La demostración formal de que el problema del TSP (ciclo Hamiltoniano) entre otros, es NP-completo se puede encontrar en el teorema de Cormen²¹.

D. Clase NP *hard*

Cuando se prueba que un problema de optimización combinatoria en su versión problema de decisión (combinatorio binario), pertenece a la clase NP completa, entonces la versión optimización es NP- *hard*²²

Algunos problemas NP-*hard* están también en NP (son los llamados NP completos), pero otros no están en NP.

Aunque se ha logrado resolver de manera exacta problemas simétricos hasta con 85,900²³ ciudades la demanda de recursos computacionales se incrementa considerablemente al aumentar el tamaño del problema, esto ha llevado a buscar alternativas de solución a problemas de tipo NP, lo cual ha conducido al desarrollo de métodos no exactos que dan una respuesta a estos problemas.

II.2.8 Métodos heurísticos

Cuando el modelo creado es demasiado complicado o bien, el tamaño del problema lo hace inmanejable utilizando métodos exactos (NP), los métodos heurísticos representan una alternativa de solución de problemas de optimización combinatoria ante la disyuntiva de no tener ningún resultado u obtener una solución²⁴.

²¹ Cormen, Introduction to Algorithms, MIT, Massachusetts, USA 1999

²² <http://www.nist.gov/dads/HTML/nphard.html> (20/08/2011)

²³ Applegate, D.; Bixby, R.; Chvátal, V.; Cook, W.;. (2004) "Drawing of Optimal pla85900 Tour", en:

<http://www.tsp.gatech.edu/pla85900/index.html>, Consultada (Enero2011)

²⁴ Mandl, Applied Network Optimization, Limusa, London 1979.

Entre distintos tipos de métodos heurísticos destacan los siguientes:

- ▶ *Métodos Constructivos*. Agregan componentes adicionales a la solución hasta que se obtiene una solución factible;
- ▶ *Métodos de Descomposición*. Dividen el problema en varias partes para simplificar su solución;
- ▶ *Métodos de Reducción*. Tratan de identificar o suponer un atributo de la solución óptima para obtener una aproximación; y
- ▶ *Manipulación del Modelo*. Buscan reducir el tamaño del modelo aplicando herramientas estadísticas y combinatorias.

A estos métodos se les conoce también como métodos de búsqueda local, ya que se encuentran limitados a encontrar una solución dentro de un determinado rango de soluciones, y entre ellas encontrar la mejor, la cual puede estar muy lejos de ser la óptima pero en cualquier caso es imposible saberlo.

Adicionalmente se tiene un conjunto de métodos que buscan trascender esa limitante y realizar búsquedas más allá de los óptimos locales, a este conjunto de técnicas se les llama metaheurísticas.

En ambos casos la secuencia que siguen estas técnicas es similar:

- ▶ Generar una solución factible inicial;
- ▶ Buscar una solución mejor, dentro de un espacio de soluciones posibles probando alguna vecindad;
- ▶ Si la nueva solución es mejor se actualiza la solución actual para después reiniciar la búsqueda; y
- ▶ Cuando no se encuentra una mejora en la solución o bien se ha alcanzado la condición de paro previamente definida, se reporta la mejor solución obtenida.

Algunos de los algoritmos metaheurísticos más conocidos son:

- ▶ *Recocido simulado*. Se realiza una búsqueda de soluciones que asemeja al tratamiento térmico que se aplica a ciertos metales, consistente en elevar la temperatura del mismo y bajarla gradualmente para obtener una estructura estable. En este caso se realiza una búsqueda al inicio intensiva y muy amplia de soluciones y conforme va convergiendo hacia una solución se reduce la cantidad de soluciones aceptables haciendo cada vez más estricta la selección, de acuerdo con Kirkpatrick²⁵, este algoritmo ha logrado soluciones a problemas de *TSP* con aproximación de 95% para problemas

²⁵ Kirkpatrick, Optimization by simulated annealing. Science. Vol. 220, No. 4598, 1983

con 6000 nodos o ciudades, mientras que la solución exacta sólo se conoce para casos de 318 nodos,

- ▶ **Redes neuronales.** Consiste básicamente en el aprendizaje del efecto de distintas conexiones y el resultado que produce su empleo en la solución final, se aplica comúnmente en la predicción y reconocimiento de patrones; este algoritmo fue propuesto por Hopfield²⁶ y Tank en 1985 y a partir de entonces se ha demostrado su utilidad en distintas aplicaciones, en particular para abordar el problema del *TSP*,
- ▶ **Algoritmos genéticos.** Este algoritmo parte de una población de soluciones posibles, de entre las cuales se eligen parejas que fungirán como padres de nuevas generaciones de soluciones, obtenidas por medio de la conmutación, traslape, combinación, etc. de los padres, formando nuevas poblaciones de manera sucesiva, conservando aquellas soluciones que producen el efecto más conveniente en la función objetivo. Simulando la selección natural que se observa en la naturaleza, desechando a los individuos menos aptos, en este caso las soluciones menos efectivas. Estos algoritmos partieron de la propuesta de Holland²⁷ en 1975, pero a través de los años se ha hecho una importante cantidad de aportaciones al tema, una aportación más reciente es la realizada por Moujaid²⁸, quién expone claramente la estructura del algoritmo, sobra decir que como cualquier método heurístico la solución debe particularizarse al problema en discusión, por lo que no hay métodos únicos.
- ▶ **Tabu search.** El concepto básico de *Tabu Search* es evitar ciclos al prohibir o penalizar ciertos movimientos de la solución, a puntos en el espacio de solución previamente visitados (“tabu”). Este algoritmo es parcialmente motivado por la observación del comportamiento humano con un elemento aleatorio que conduce a un comportamiento inconsistente en circunstancias similares.

Como Glover²⁹ señala, la tendencia resultante para desviarse desde de un curso programado, debe ser visto como una fuente de error pero también puede ser origen de beneficios. Tabu Search procede de acuerdo a la suposición de que no existe una restricción para aceptar una nueva (no necesariamente mejor) solución, a menos que se trate de un camino ya investigado, con esto se busca que sean investigadas nuevas regiones del espacio de solución del problema, con el objetivo de evitar mínimos locales y encontrar la solución deseada.

²⁶ Hopfield, “Neural” Computation of Decisions in Optimization Problem, Biological Cybernetics, vol.52, 1985.

²⁷ Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, 1975.

²⁸ Moujahid, Tema 2. Algoritmos genéticos, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.

<http://www.sc.ehu.es/ccwbyes/docencia/mmcc/docs/t2geneticos.pdf> (20 Agosto2011)

²⁹ Glover, Tabu search part I, ORSA Journal on Computing, Vol 1, No. 3. 1989.

Estos algoritmos también se pueden consultar en el artículo de Ríos³⁰ quien expone de manera sencilla una colección si bien no exhaustiva, al menos básica de distintos algoritmos heurísticos y metaheurísticos para la solución del problema del *TSP*.

Con esto se tiene la perspectiva teórica general del problema teórico del *TSP*, mismo que se usa como base para realizar una adaptación que se ajuste al modelo que describa el problema que nos ocupa y obtener una solución aplicando alguno de los métodos también mencionados.

II.2.9 Algunas aplicaciones del TSP

Como se ha mencionado, el *TSP* es un problema ampliamente estudiado y utilizado, no es la intención de este estudio hacer un inventario de las aplicaciones en las que se ha aprovechado este modelo, pero a continuación se muestran algunos ejemplos de las aplicaciones comunes en las que resulta útil.

Teñido de telas

Una aplicación práctica interesante a este modelo lo encontramos en la tesis doctoral de Maldonado (2005); Optimización del teñido de telas³¹. El problema básico que se plantea es la secuencia en la que deben aplicarse los distintos tonos de tinta en los textiles considerando que los tonos logrados en el producto final dependen de esta secuencia y que el tiempo de preparación del equipo que realiza el estampado varía dependiendo de la tinta usada.

El planteamiento del problema induce directamente al *TSP*, una serie de nodos, *en este caso etapas en las que se aplica un tono de tinta*, todos deben visitarse, los arcos representan la preparación del equipo para aplicar un tono dado que se ha aplicado previamente algún otro, y el tiempo de preparación se asocia a cada arco, Además algunos arcos no son factibles dado que el proceso impide aplicar algunos tonos después de otros.

Si bien de manera inicial puede no ser evidente que el problema planteado puede modelarse como *TSP*, al hacer la analogía por partes de ambos resulta muy natural la asociación, es por ello que para un modelador de investigación de operaciones es necesario mantener el criterio abierto y conocer muy bien los

³⁰ Ríos, Investigación de operaciones en acción: Heurísticas para la solución del *TSP*, Ingenierías, Octubre-Diciembre 2000, Vol III, No. 9.

³¹ Maldonado, Optimización del teñido de telas. Tesis para obtener grado de doctor, Universidad nacional de Quilmes. 2005

distintos modelos típicos para poder aprovecharlos y en su caso realizar una modelación más sencilla y quizá con una solución más sencilla.

Otra aplicación del *TSP* es la aplicación en Turismo, mencionada previamente y que es planteada por Hernández (2007) en la Revista Matemática³².

En este artículo el autor busca diseñar la ruta turística más placentera para los viajeros, considerando una serie de factores como el tipo de actividades realizadas por el turista en cada lugar, el papel del turista en la actividad (espectador, protagonista, individual, grupal, etc.), aspectos de los parajes turísticos como vías de comunicación, paisaje, señalización, etc.

Con ello el autor construye un modelo multiatributo que asigna peso a los distintos lugares y arcos que conectan a los lugares, y plantear modelos de Investigación de operaciones para obtener soluciones, ya que no sólo aplica *TSP*, también usa modelos de ruta más corta y *Vehicle Routing Problem (VRP)*.

En el siguiente capítulo se describe la metodología de investigación aplicada, la cual permitió alcanzar los resultados que se mostraran en apartados posteriores.

³² Hernández, Investigación de Operaciones y Turismo. Revista de Matemática Vol. 7, 2006

Capítulo III Metodología de la investigación

El presente estudio se origina por la necesidad de tomar acciones encaminadas a la búsqueda del máximo aprovechamiento de los recursos disponibles para la operación de la Dirección General de Estudios Sobre Consumo (DGEC), ante los constantes recortes presupuestales que se han presentado en los recientes ejercicios fiscales (Ver 1.7 en Capítulo 1).

Partiendo de ello, se hace necesario buscar áreas de oportunidad en la operación de la DGEC para hacer frente a la reducción de presupuestal.

En este contexto, se propone desarrollar un proyecto para normalizar la operación del programa Quién es Quién en los Precios (QQP), ya que representa una parte importante dentro del conjunto de objetivos que persigue Profeco y que estaría en riesgo de ver afectado su desempeño, de continuar la tendencia presupuestal actual, siendo el problema que no se ofrecen opciones que permitan mantener el desempeño que ha venido logrando el programa a través de su historia.

Como se menciona en el Capítulo 1 de este estudio, el enfoque principal se ha dirigido hacia las rutas que describen los grupos de encuestadores que forman la parte operativa del programa. En principio se pensó en buscar la manera de minimizar los tiempos de traslado, procurando realizar una mayor cantidad de visitas a establecimientos durante un día y al final obtener un mayor número de precios recolectados, producto de dichas visitas.

Esto por su configuración nos remite a un caso de *Vehicle Routing Problem (VRP)* si fuesen distintos grupos a los que deben asignarse las respectivas rutas o bien un *Traveling Salesman Problem (TSP)* si el caso fuera enfocarnos en un solo grupo.

En un siguiente planteamiento, se considera que además de establecer las rutas que minimicen las distancias recorridas se buscara maximizar la cantidad de precios recolectada por el grupo, en función de la cantidad de personal disponible, que a final de cuentas es el objetivo del QQP, por lo que el nuevo enfoque tiene como fin obtener los mejores resultados a partir de los recursos disponibles.

Por otro lado, en un estudio preliminar se determinó que los distintos grupos de encuestadores, que operan en la Ciudad de México tienen dividida la tarea de recolección por zonas en la ciudad. Por lo que, el desarrollar un problema de VRP pudiera resultar oneroso y complicaría la obtención de información necesaria para caracterizar al sistema, de donde se optó por enfocarse en el estudio de un solo grupo de encuestadores con la intención de que en trabajos posteriores se amplíe la experiencia al resto de la operación del programa en la Ciudad y posiblemente extenderlo a otras ciudades en las que opera en el interior de la República.

Con estos antecedentes, se busca determinar las rutas que seguirá un grupo de encuestadores a fin de obtener la mayor cantidad de precios por día, en función del personal disponible para integrar tal grupo.

III.1 Planteamiento de la investigación

Considerando que el QQP es dinámico y tanto el Catálogo de productos como el Directorio de establecimientos (ver 1.3 y 1.4 en Capítulo 1) cambia en función de la evolución del mercado, es necesario que el estudio resulte accesible para quienes operan el programa y estén en posición de actualizar los resultados que se obtengan del mismo, es decir, que aunque se busca una solución que se reportará en capítulos posteriores, dichos resultados tienen un periodo de vigencia limitado y hay que actualizar la solución como se necesite en el momento en que la realidad cambie.

Se expone que los resultados obtenidos son además, una guía documentada para la DGEC sobre las rutas que ofrecerán la mayor cantidad de información a partir de los recursos disponibles y la manera de actualizar las soluciones cuando las condiciones del problema cambien.

El estudio desarrollado en esta tesis pretende ser útil en la operación diaria de la DGEC y en particular del QQP, es por ello que consideramos importante tener en todo momento un enfoque práctico con rigor metodológico, para ello se ha diseñado el desarrollo del estudio en distintas etapas.

La primera etapa corresponde a una investigación explorativa, misma que se desarrolló y sirvió para conformar el Capítulo 1 de esta tesis, a partir de la cual se ha establecido de manera puntual el contexto en el que se desarrolla la operación, los distintos factores que lo componen y la forma de operación hasta la fecha. Con este contexto es que hemos podido generar nuevas ideas y se ha delineado el objetivo a perseguir.

En el Capítulo 2 se reportan de manera general los conceptos básicos que operan para el tipo de problemas asociados al *TSP*. Son temas extensos debido a su importancia y la gran variedad de estudios que se han publicado al respecto, aunque se presentan sólo los rasgos generales de dichos modelos, atendiendo siempre al enfoque de este estudio.

Luego de este avance, corresponde describir el resto de la metodología seguida durante la investigación así como los pasos generales que debieron completarse para cumplir el objetivo definido.

III.2 Metodología

El estudio que se desarrolló en esta investigación es de tipo observacional, retrospectivo, longitudinal y descriptivo, lo cual permitió determinar las relaciones entre variables de manera sistemática, a partir de la revisión de lo ocurrido históricamente en la operación del programa. Y se determinarán las asociaciones entre variables implicadas en el proceso³³.

Con esto, se obtuvo la información necesaria para caracterizar al modelo matemático que se empleó en la definición de las rutas que permiten recopilar la mayor cantidad de precios.

Para el desarrollo de la metodología de investigación se tomó como base el enfoque modelístico de Investigación de Operaciones planteado por Arreola Risa³⁴ en el que propone seis puntos generales:

- ▶ Definir el sistema real donde se presenta el problema;
- ▶ Seleccionar de variables que regulan el estado actual, llamadas variables relevantes del sistema;
- ▶ Construir un modelo cuantitativo del sistema asumido, identificando y simplificando las relaciones entre las variables relevantes;
- ▶ Obtener la solución del modelo matemático planteado utilizando alguna de las técnicas de investigación de operaciones;
- ▶ Adaptar, en la medida de lo posible, las variables cuantitativas al sistema modelado y resuelto, incluyendo detalles con base en la experiencia del tomador de decisiones;
- ▶ Implantar la solución al sistema real.

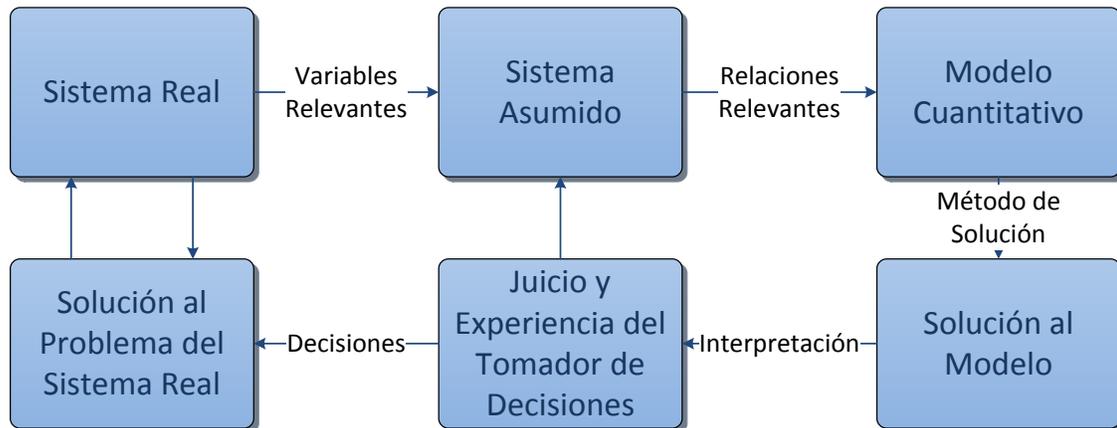
Aunque este enfoque es general, propone etapas básicas para una aproximación exitosa de cualquier problema de manera cuantitativa, como el estudio del sistema, sus componentes e interrelaciones, el planteamiento de un modelo, su validación y corrección, la obtención de resultados y finalmente la implantación de la solución obtenida.

³³ Méndez, El protocolo de investigación, Trillas, México 2009.

³⁴ Arreola, Programación lineal, Una introducción a la toma de decisiones cuantitativa, Thomson, México, 2007.

En la Figura III.1 se muestra el enfoque de Investigación de operaciones descrito y planteado por Arreola.

Figura III.1 Enfoque modelación de la investigación de operaciones propuesta por Arreola³⁵



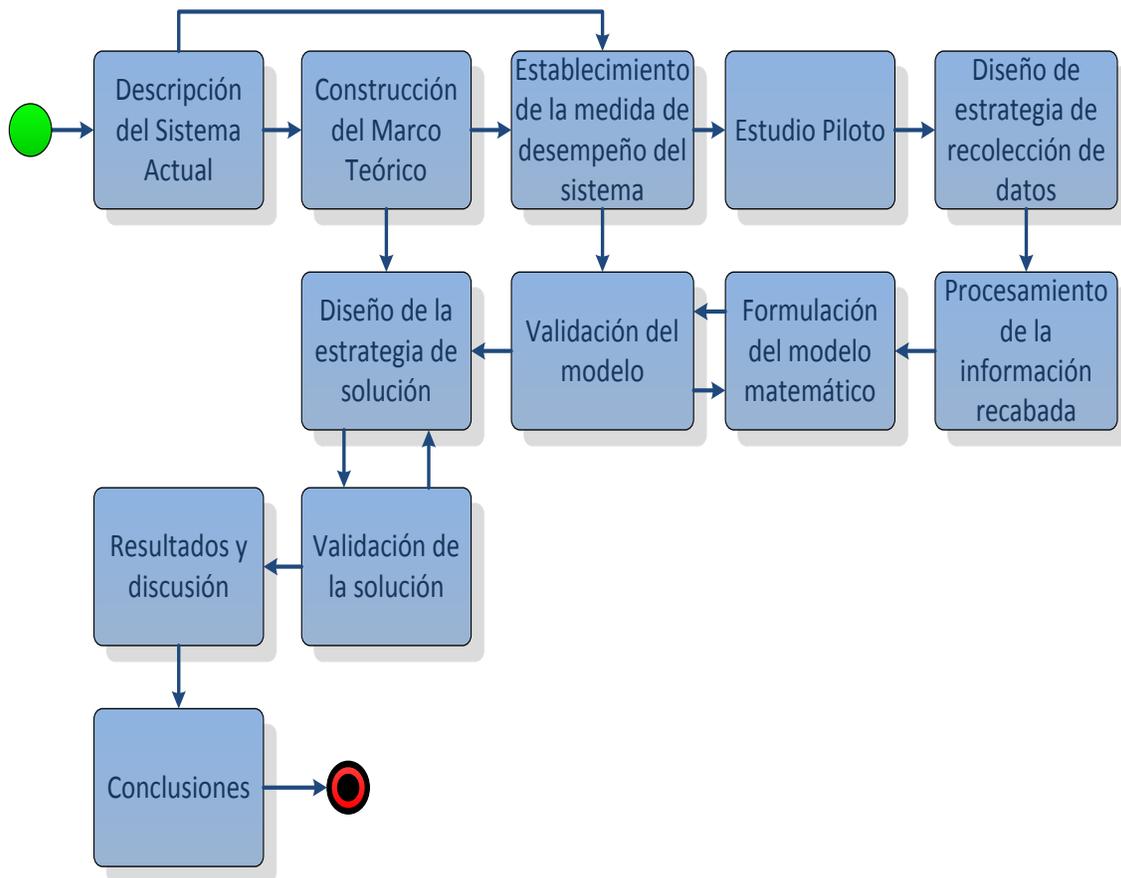
Este enfoque se tomó como base para el desarrollo de la metodología de la investigación seguida en este estudio, existen otros planteamientos que difieren con el mostrado en algunas particularidades, pero en general estas etapas se consideran básicas para un análisis exitoso del sistema.

El estudio se realizó en distintas etapas, como la caracterización del sistema, la revisión de literatura, la obtención de información, su procesamiento para la determinación de datos y parámetros, el diseño y validación del modelo, la obtención de resultados y análisis de los mismos para la generación de conclusiones.

Todas estas etapas son las partes más amplias de la investigación, sin embargo, hay distintos pasos menores que se encuentran integrados en ellas y que deben realizarse de igual manera, en la Figura III.2 se muestra un diagrama de flujo de la metodología seguida en este trabajo, mostrando las distintas actividades y sus interrelaciones.

³⁵ Arreola, Programación lineal, Una introducción a la toma de decisiones cuantitativa, Thomson, México, 2007

Figura III.2 Diagrama de flujo que muestra la metodología aplicada en el desarrollo del estudio



Como se puede ver no es un proceso lineal y se desarrollaron varias actividades en paralelo. Si bien esta es sólo una aproximación a la forma real de trabajo, muestra de manera general el planteamiento de cómo se abordó el tema. A continuación se describe el trabajo realizado en cada etapa del diagrama.

- *Descripción del sistema actual.* En esta etapa se delimitó el sistema a estudiar, para esto se estudió la organización, su marco normativo, la forma en la que trabaja actualmente, la historia del programa, la forma en la que ha evolucionado el mismo, etc.

Aunque toda esta información no se incluye íntegramente en el presente, sirvió para la comprensión del sistema en estudio para considerar el planteamiento inicial al abordar el problema. Esto se refleja en el *Capítulo I Antecedentes e historia del programa Quién es Quién en los precios.*

Para todo esto, se trabajó estrechamente con los encargados del programa QQP y se realizó una revisión exhaustiva de los documentos institucionales relacionados a la operación del sistema que estudiamos.

Este trabajo se realizó en las etapas iniciales del estudio y se fue complementando en etapas sucesivas, al avanzar en el entendimiento del sistema mediante la asimilación de toda la información revisada.

- ▶ *Construcción del marco teórico.* Esta etapa se desarrolló durante un largo periodo del estudio, ya que se inició analizando de manera general, posibles modelos que pudieran ser útiles para atacar el problema, en esta parte se revisaron artículos de aplicaciones y modelos teóricos de distintos tipos.

Una vez que se formó un panorama con diversas opciones posibles, se realizó un estudio a detalle de las posibilidades de cada uno y se descartaron las menos viables para finalmente elegir el que resultaba más *ad-hoc* a nuestro caso.

En cuanto se hubo definido el modelo sobre el que se trabajaría, se revisaron casos de aplicaciones en las que ha resultado exitoso el mismo y distintas formas en las que es posible resolverlo, considerando las limitantes de cada opción y los requerimientos que implican para su solución, en especial recursos computacionales.

- ▶ *Establecimiento de medidas de desempeño del sistema.* Esta etapa en realidad se realizó a la par del estudio del sistema y resaltó de manera natural, ya que la parte más importante del programa QQP son los precios que se ponen a disposición de los ciudadanos usuarios de esta información por los distintos medios.

De esta forma resultó claro que la medida de desempeño debe estar relacionada con el objeto del programa QQP, así que la cantidad de precios que son recopilados resultan fundamentales, ya que a mayor cantidad de precios, los ciudadanos disponen de mayor información que les permita hacer sus análisis de consumo.

La determinación de esta medida de desempeño, fue principalmente producto del análisis del sistema y de las pláticas con los encargados del programa.

- ▶ *Estudio piloto.* En esta parte del estudio se hizo un ejercicio simplificado del problema que se resuelve en todo el estudio. Se trabajó con un conjunto de establecimientos a los que debería visitarse, asignando valores de tiempos de desplazamiento obtenidos por un ejercicio de tiempo de traslado utilizando la herramienta libre disponible en internet llamada *Google Maps*, en la cual es posible obtener un tiempo estimado de traslado a partir de la ruta que traza el programa.

La información que proporciona el programa se alimentó a un modelo de Problema Agente Viajero y se buscó minimizar el tiempo de traslado, la

solución del problema que se planteó se resolvió usando Excel, debido a que la cantidad de nodos a visitar era muy reducido.

Los resultados obtenidos sirven para definir el objetivo, replanteando la forma de abordar el problema, considerando la medida de desempeño, que tiene que ver con la cantidad de precios recopilados y que no estaba considerada en este primer ejercicio. Es decir, se encontró que el tiempo de desplazamiento es importante pero lo es aún más el tipo de establecimiento que se visita, debido a que algunos permiten una mayor recopilación de precios que otros, lo cual permite un aumento en el desempeño del pequeño sistema estudiado como piloto.

El estudio piloto también nos ilustró acerca del tipo de datos que serían necesarios para caracterizar al modelo que se usó en la solución definitiva.

- *Diseño de estrategia de recolección de datos.* Una vez que se tenían identificados los datos que serían necesarios para completar el modelo a partir del estudio piloto: tiempos de recolección de precios, tiempos de traslado del grupo entre los distintos establecimientos visitados y cantidad de precios recopilados en cada establecimiento. Se realizó un levantamiento de datos históricos de estos datos, aprovechando la información con la que cuenta el programa.

Se observó que la información disponible no sería suficiente para lograr una caracterización adecuada, ya que el grupo de encuestadores se desplazaba prefiriendo cierto orden en las visitas a los establecimientos, así que se tenía poca información acerca de los tiempos de desplazamiento entre las distintas combinaciones de pares de nodos.

Para resolver esto se solicitó apoyo a los encargados del programa para practicar distintas rutas que permitieran nuevas combinaciones de pares de establecimientos y de esta forma obtener información útil para la caracterización del modelo.

En este mismo capítulo, en apartados posteriores, se detalla este trabajo realizado, ya que se considera es una parte importante para la solución de este problema.

- *Procesamiento de la información recabada.* Esta trabajo esta de la mano con la etapa descrita en el inciso previo y tiene que ver con la captura de todos los tiempos de desplazamiento del grupo entre pares de establecimientos, el tiempo que les tomó en recopilar los precios en cada uno de los lugares visitados y la cantidad de precios obtenida en cada visita.

Además de la captura realizada de manera manual, ya que el sistema que es utilizado por el programa QQP no está habilitado para proveer esta información, se realizaron los cálculos estadísticos correspondientes a cada

uno de los datos que se mencionaron previamente, para las distintas combinaciones de establecimientos visitados.

A la par, se realizaban propuestas de nuevas rutas que siguiera el grupo de encuestadores, con la finalidad de lograr la mayor cantidad de datos para caracterizar al modelo.

Esta actividad también se detalla en un apartado posterior de este capítulo.

- ▶ *Formulación del modelo matemático.* En esta etapa, se realizó principalmente la adaptación del modelo clásico del Problema del Agente Viajero que es la clave para el planteamiento de este problema y su solución.

Se realizaron distintos ensayos y se reporta en este estudio, el caso que resultó en la solución del problema planteado, aunque se detalla esto en el Capítulo III de este estudio, básicamente la adaptación realizada tiene que ver con maximizar información asociada a nodos en el sistema y no a arcos, como típicamente se realiza.

Para ello se estudió el caso de maximización y se realizaron pruebas de programación en Lingo, que es el software que se utilizó como base para resolver el modelo completo caracterizado con los datos reales obtenidos del monitoreo del sistema descrito en los dos incisos previos.

- ▶ *Validación del modelo.* Ésta etapa tiene relación directa con el inciso previo y el posterior y se desarrolló con amplitud en el *Capítulo IV Modelación Matemática*, pero adelantamos que también está asociado con la validación de la solución, realizada para comprobar que la programación en Lingo para resolver el modelo matemático, es correcta y proporciona valores coherentes y consistentes.
- ▶ *Diseño de la estrategia de solución.* Esta etapa no está claramente diferenciada de las etapas de formulación del modelo matemático, programación del mismo en el software para la solución del modelo y el estudio de casos similares.

Sin embargo, se menciona como una etapa en el estudio porque antes de definir a Lingo como base para la estrategia de solución, se estudiaron otras opciones como Excel, Maple e incluso simulación; mismas que fueron desechadas debido a que los recursos disponibles no eran suficientes para la solución, las bondades del software resultaban cortas y en el caso de simulación, porque era posible obtener una solución exacta para el modelo; considerando la cantidad de establecimientos que se visitan diariamente.

Aunque esto se dice fácil, fue necesario analizar a fondo cada opción y desarrollar programas del modelo para los distintos paquetes de software mencionados y buscar opciones para resolver el modelo, antes de decidir

que no eran una opción viable, descartando uno a uno antes de concluir que Lingo era la mejor opción.

- ▶ *Validación de la solución.* En esta etapa básicamente se verificaron que los resultados de Lingo, una vez caracterizado el modelo para cada día de la semana con sus particularidades: como los establecimientos a visitar en cada día y el tamaño de grupo de encuestadores (cantidad de integrantes) que se pudiera tener disponible diariamente.

Esta validación se realizó por comparación con los resultados obtenidos por un programa distinto, Fortran. Para ello se realizó un programa que enumera exhaustivamente cada combinación posible de rutas a seguir por el grupo de encuestadores y evalúa su factibilidad y desempeño, para luego seleccionar la mejor solución, es decir, la que aporta una mayor cantidad de precios; y se comparó este resultado con lo reportado por Lingo para el mismo caso.

Esta validación se realizó únicamente para algunos de los casos a resolver, debido a que el método de solución es altamente demandante de recursos computacionales y tiempo de procesamiento.

Esta etapa también se desglosa con mayor amplitud en el *Capítulo IV Modelación Matemática*.

- ▶ *Resultados y discusión.* Una vez validado el modelo programado se realizaron las corridas del programa en Lingo para obtener las rutas que debiera seguir el grupo de encuestadores dependiendo del día de la semana y de la cantidad de integrantes con los que típicamente cuenta el grupo.

Estos resultados se presentan y para verificar que realmente el estudio realizado hace un aportación que redunde en un mejor desempeño del grupo de encuestadores, se compara con los resultados del grupo siguiendo la ruta practicada típicamente

Los resultados se grafican y muestran de tal forma que se evidencian las ventajas de implantar el modelo propuesto, con resultados tangibles para el programa QQP.

- ▶ *Conclusiones.* Finalmente se presentan de manera puntual las conclusiones del estudio a partir del desarrollo de todo el estudio y del beneficio que representaría a la organización y en particular al programa QQP, la implantación del modelo propuesto.

Además, se enlistan algunos puntos que se podrían desarrollar como complemento al estudio que se realiza.

III.3 Participantes en el estudio

Hemos mencionado, que la inquietud por el estudio de este tema surgió de pláticas casuales dentro de la organización con los encargados del programa acerca de la reducción continua del presupuesto en todas las áreas. De modo que, desde el primer momento se trabajó con la Dirección de Estudios de Mercado (DEM), que es la encargada directa del programa QQP, y que está adscrita a la Dirección General de Estudios Sobre Consumo (DGEC)³⁶, misma que ofreció todo el apoyo a esta iniciativa desde su inicio.

La fase correspondiente a la documentación de la forma de operación del QQP partió de información proporcionada por la DEM, a través de documentos internos de trabajo, archivos de rutas diarias que siguen los grupos de encuestadores y comentarios en general acerca de la operación, con lo cual se dibujó el panorama general del programa, mismo que fue enriquecido a través de consultas a la Normateca Interna³⁷ de Profeco, para establecer los fundamentos normativos que le dan sentido³⁸.

En reuniones posteriores, una vez que se había tomado la determinación de abordar este problema y aprovechando las herramientas de Investigación de Operaciones, se platicó con los encargados de la coordinación de los distintos grupos de encuestadores en la Ciudad de México, quienes tienen vasta experiencia en la operación del programa dada su larga experiencia dentro del mismo.

Las reuniones con la Coordinación de los grupos, permitió conocer ciertos puntos importantes sobre la forma de traslado de los encuestadores y dicha coordinación, apoyó en la revisión de las rutas que se propusieron para obtener la mayor cantidad de datos acerca de los tiempos de traslado entre los distintos establecimientos, con intención de no afectar el desempeño del grupo debido a traslados demasiado largos o complicados, y justificando así la eliminación de ciertos arcos de conexión entre algunos puntos a visitar que en la realidad sería impráctico utilizar, es decir se identificaron conexiones no factibles.

En resumen, en este estudio se ha contado con el apoyo directo de la dirección del programa QQP, los encargados directos, los coordinadores de grupo de encuestadores, todos ellos aportando en distintos niveles, información, opiniones y asesoría relativa a la operación del programa, así como provisión de información

³⁶ Se puede revisar en el Capítulo I la estructura organizacional de la institución en la que se encuentra adscrito nuestro objeto de estudio.

³⁷ La normateca interna es una herramienta para el registro, difusión y consulta de los documentos que regulan la organización y operación de las unidades administrativas de la Procuraduría Federal del Consumidor.

³⁸ <http://www.profeco.gob.mx/juridico/normateca.asp> (18 noviembre 2010)

interna que permitió caracterizar el sistema y delinear nuestra estrategia de investigación.

Indirectamente, se recibió el apoyo de los distintos encuestadores, con quienes no se mantuvo un contacto directo, pero que sí han apoyado siguiendo las rutas alternas, las cuales permitieron obtener información útil en la caracterización del modelo.

III.4 Procesamiento de la información

Un vez que se delimitó el sistema bajo estudio y se ha definido claramente el objetivo, se pasó a la etapa en la que es necesario obtener los datos requeridos para caracterizar al modelo matemático.

El modelo requiere datos de tiempo de traslado del grupo entre cada par de establecimientos, el tiempo de recolección de precios del grupo en cada establecimiento y finalmente la cantidad de precios recopilados por el grupo en cada establecimiento.

Para ello, se partió de la información con la que se contaba en las bases de datos, misma que consiste en el registro de la hora de inicio y fin de recopilación de precios en cada establecimiento, con esto se calculó por diferencia el tiempo que tomó el desplazamiento del grupo de un establecimiento a otro; y la cantidad de precios recopilada en ese tiempo.

Tras estudiar la información disponible, se encontró que resultaba insuficiente ya que se tenía un número reducido de información acerca de desplazamiento entre pares de establecimientos, por lo que se trabajó en el ensayo de rutas alternas a las seguidas regularmente por el grupo de encuestadores. Estas rutas se propusieron a los encargados del programa y ellos a su vez las evaluaron y practicaron, buscando no afectar el desempeño del programa por la alteración de rutas.

Los datos obtenidos de las distintas rutas puestas en práctica con el fin de caracterizar los arcos que conectan los establecimientos, implicó una labor ardua de captura y análisis para poder obtener datos estadísticos sobre tiempos y cantidad de precios, que podemos asociar como valores en los arcos y nodos según el caso.

Esta caracterización de los arcos se realizó por medio de tablas de doble entrada origen-destino, que si bien no cuentan con información numérica, contienen marcados los puntos para los que hemos obtenido información. La matriz sirvió para proponer nuevas rutas para obtener datos nuevos a partir de una ruta distinta.

Para ilustrar gráficamente una parte del trabajo que se realizó, se pauta la Figura III.3 que muestra un ejemplo en el que el grupo parte de las oficinas centrales de Profeco, marcadas con A en el mapa, y debe visitar cada uno de los puntos marcados con letras sobre el mapa hasta la letra H.

En principio, hay puntos que resultan no practicables (son infactibles) debido a la distancia existente entre ellos o porque las condiciones físicas implican el recorrido de distancias muy grandes, estos casos se descartaron desde el inicio con la ayuda de herramientas como Google Maps y la experiencia del personal del programa QQP.

Figura III.3 Ejemplo de puntos que debe visitar el grupo de encuestadores para un día especial.³⁹



Una vez descartados los desplazamientos (que representan arcos en el modelo que se propondrá en el siguiente capítulo) que por sus características resultan impracticables, se diseñaron rutas alternas para el grupo de encuestadores, con el fin de obtener información acerca del tiempo de desplazamiento necesario para pasar de un establecimiento a otro.

³⁹ Elaboración propia, con base en la información proporcionada por encargados del programa QQP, ilustrado en la herramienta libre Google Maps.

Aprovechando la Figura III.3, podríamos decir que quizá descartamos la conexión entre G y D debido a que la distancia es demasiado grande, pero sí es necesario saber el tiempo que toma desplazarse de G a E, o de G a F.

Conforme se fue obteniendo más información acerca de estos tiempos de desplazamiento, se cambiaron las rutas en función de la consideración de los participantes del programa de ejercer las rutas alternas sin afectar el desempeño del programa.

Este ejercicio de recopilación de información se extendió por al menos tres meses.

Una vez explorada la metodología que siguió este estudio se presenta en el siguiente capítulo la modelación matemática realizada a partir de la información del sistema en estudio y las bases matemáticas estudiadas.

Capítulo IV Modelación matemática

Como ya se mencionó en capítulos previos, esta investigación pretende aportar una solución exacta a un problema de ruteo de un grupo de encuestadores cuyo objetivo es recabar la mayor cantidad de precios durante su recorrido diario por distintos establecimientos en la Ciudad de México.

Para ello, se han hecho distintos planteamientos y ensayado distintas estrategias que permitan obtener la solución buscada, a continuación se muestran brevemente los caminos transitados antes de llegar al modelo definitivo que formulamos para la solución.

IV.1 Modelos de investigación de operaciones explorados durante el estudio

En el estatus actual del proyecto se han trabajado distintas opciones de planteamiento del problema de forma matemática, en una primera aproximación se pensó en reducir los tiempos de traslado, trabajando con los tiempos obtenidos de las distintas rutas (en ése momento aún no conocidos) y posiblemente buscar la manera de modelar las condiciones de intensidad del tránsito en la Ciudad.

La intención de modelar considerando reducir los tiempos de traslado, se diluyó tiempo después al revisar algunas formas en las que se han modelado las condiciones de tráfico y que pareció una aproximación que no necesariamente obtiene los mejores resultados, dada la complejidad del tránsito en la Ciudad de México, que hace que sea prácticamente impredecible la modelación de dicho fenómeno, al menos en ciertas zonas de la ciudad.

Por otro lado, el aplicar algún modelo que considere las variaciones en las condiciones de tránsito en el estudio pudiera resultar contraproducente principalmente porque al no poder modelar efectivamente o predecir las condiciones de tránsito de la Ciudad de México se podría generar una actitud de rechazo hacía las rutas producidas por el modelo por parte del personal operativo y provocar deficiencias en el desempeño del grupo, por lo que luego de algunas pláticas con la Dirección de Estudios de Mercado (DEM), responsable de la operación del programa Quién es Quién en los Precios, se ponderó esta opción y se decidió desechar este primer planteamiento.

Por otro lado, una vez que se tuvieron los primeros datos de tiempos de traslado y de recolección, al avanzar en su captura y procesamiento, se observó cierta variación en la cantidad de precios que se recolectan en un mismo establecimiento, lo cual puede atribuirse a factores externos, por ejemplo que no se encuentren en estantería los productos a los cuales se les da seguimiento y por tanto no se recaba el precio, pero también puede ser causado por deficiencias en la planeación de los establecimientos a visitar. Ya que en aquellos casos en los que el grupo de encuestadores carece de algunos de sus integrantes, la cantidad de precios que debe recabar cada uno aumenta y por tanto, aumenta el tiempo necesario para la recolección.

Por tanto, se podría tener el más bajo tiempo de desplazamiento del grupo de encuestadores pero esto no necesariamente implicaría un aumento en la cantidad de precios recolectados.

Lo anterior permitió observar que al optimizar los tiempos de traslado no atenderíamos el objetivo principal del programa y del grupo, que es a grandes rasgos la recolección de precios para proveer de información a la ciudadanía, por lo que la meta debe ser recolectar la mayor cantidad de precios posible durante cada jornada.

Es así como se modificó el enfoque del proyecto hacia la maximización de la cantidad de precios recolectados en la ruta, aprovechando la información histórica de recolección del grupo dependiendo del tamaño del mismo sin dejar de lado los tiempos de traslado pero no como el tema principal del análisis.

Todo esto ayudó a determinar como objetivo del estudio, el buscar las rutas que maximicen la cantidad de precios recolectada, dependiendo del tamaño del grupo de encuestadores que realizará tal recolección sin exceder su jornada normal de trabajo, es decir, se requiere analizar la cantidad de precios que es capaz de recolectar el grupo de encuestadores dependiendo de la cantidad de personas que lo integran y del establecimiento visitado, así como el tiempo que le tomaría al grupo este trabajo, por otro lado, cruzar esta información con el tiempo de traslado entre los distintos establecimientos a visitar sin exceder el horario definido.

Este planteamiento remite a un modelo de Problema del Agente Viajero (*Traveling Salesman Problem, TSP*), para resolver este problema, mismo que parte del planteamiento típico del Problema del Agente Viajero (*Traveling Salesman Problem, TSP*), con un par de modificaciones:

- Se maximiza la cantidad de precios asociada a los nodos del problema;
- Se incluye una restricción de capacidad, en función del tiempo disponible de los encuestadores.

La segunda modificación es común en problemas de este tipo, lo normal es tener restricciones de disponibilidad de cualquier recurso, dependiendo del tipo de problema que se aborda.

La primera modificación en cambio es, al menos, poco común ya que normalmente en problemas de *TSP*, se asocia la función objetivo a minimizar y en menor medida a maximizar pero siempre considerando los valores de los arcos, en este caso lo que queremos es maximizar, con base en valores asociados a los nodos, lo cual se logra con una simple modificación y asociando la función objetivo a los nodos.

IV.2 Modelo matemático

El modelo típico de *TSP* se desarrolló de manera teórica en el Capítulo II de este mismo estudio, ahora se formula el modelo matemático que delinea a partir del conocimiento del sistema y la recopilación de información para caracterizarlo, pero antes se plantearán las variables de decisión, y posteriormente las modificaciones al modelo típico que permitan aprovecharlo para resolver el problema que se ha planteado.

IV.2.1 Definición de variables

En principio definimos como nodos a los distintos establecimientos que forman parte del directorio que maneja el programa QQP, los cuales deben ser visitados por el grupo de encuestadores que capturan los precios de los productos en dichos establecimientos.

De la misma forma, definimos como arcos a las conexiones factibles entre los distintos nodos de la red.

El grupo que estudiamos trabaja en la Ciudad de México y en principio no habría problema para conectar dos nodos, sin embargo en la práctica puede resultar complicado moverse entre dos puntos que son demasiado lejanos o simplemente es impráctico desplazarse entre ellos (al menos en auto) debido al sentido de las calles, a la falta de caminos directos o en un caso particular: el metro divide dos zonas de la ciudad y debe darse un amplio rodeo para franquearlo, como lo observamos en la Figura IV.1.

Figura IV.1 Ejemplo de dos establecimientos A, B que se encuentran sobre la Avenida Central en la zona de Ecatepec, con marca en azul del camino que debe seguirse para llegar de uno a otro.



En la Figura IV.1 se observan dos establecimientos marcados en verde con A y B, que aunque linealmente no están a más de dos kilómetros, en la práctica el trayecto en auto implica hasta 8 kilómetros en una zona típicamente conflictiva en cuestiones de tránsito como lo es la Avenida central, en las inmediaciones de las distintas secciones de la colonia Aragón, esto debido a que la avenida es cortada por el metro que corre por la superficie y se tienen limitados accesos viales para cruzar, lo que provoca arcos infactibles en el problema, los cuales tienen valor cero en las matrices de datos.

Por otro lado, se definieron como variables de decisión el uso de los arcos que conectan los distintos nodos, las cuales pueden tomar valores:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se usa el arco que conecta al establecimiento } i \text{ con el } j \\ 0 & \text{de otra forma.} \end{cases}$$

El modelo tendrá una restricción de tiempo, que corresponde al tiempo disponible de los encuestadores, que deben salir de las oficinas centrales en la mañana y regresar para descargar la información recabada durante la jornada antes de que concluya su turno, por lo que el tiempo disponible para hacer el recorrido debe ser menor o igual a ocho horas (480 minutos), según lo que determinen los encargados del QQP.

Para controlar esta restricción definimos las siguientes variables:

T_j : tiempo de recolección de información en el establecimiento j

T_{ij} : tiempo de traslado del grupo de encuestadores del nodo i al nodo j

Ambas variables son planteadas como enteras y para fines prácticos se sumaron y se agruparon en una matriz de tiempos, en la cual se abundará se más adelante.

Para el cálculo de la función objetivo se usó una variable que contiene la cantidad de precios que recolecta el grupo de encuestadores en cada nodo, y es definida de la siguiente manera:

C_j : Cantidad de precios recolectados en el establecimiento j

Como ya se mencionó, el modelo normal de *TSP* sólo reconoce la optimización de valores asociados a arcos, por lo que se hace una adecuación a esta variable y se le asigna el valor correspondiente de C al destino de cada arco factible, esto es:

C_{ij} : Cantidad de precios recolectados en el establecimiento j partiendo del arco i

Para esto se asumió que es irrelevante desde que arco se parte, en promedio siempre se recopila la misma cantidad de información en el arco j , (con un mismo tamaño de grupo), por lo que se asignó el mismo valor de C_j a todos los arcos que terminan en el nodo j sin importar su procedencia, con lo que podemos aprovechar el modelo normal de *TSP* y maximizar la cantidad de precios recopilada.

Es decir, si tuviéramos tres establecimientos que debemos visitar: 1, 2 y 3; la cantidad de precios que se recopilan en el establecimiento 3 es independiente de partir del establecimiento 1, o del establecimiento 2 para llegar al 3 y realizar la recolección de información y viceversa. En este mismo capítulo se plantea un ejemplo que ilustra lo aquí descrito.

Además, se usan los subíndices i, j para diferenciar los nodos de origen y destino respectivamente.

IV.2.2 Formulación del modelo matemático

Con las variables ya definidas se plantea el siguiente modelo matemático:

Función Objetivo

$$\text{Max} \quad Z = \sum_j \sum_i C_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_j \sum_i T_{ij} x_{ij} + \sum_i t_j x_{ij} \leq 480 \text{ min} \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \text{para toda } j \quad (3)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \text{para toda } i \quad (4)$$

$$u_i - u_j + (n+1)x_{ij} \leq n \quad \text{para } i=1,2,n; j=2,3,\dots,n+1; i \neq j \quad (5)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \text{para toda } i, j$$

$X = (x_{ij})$ es un tour asignado

- (1) Corresponde a la función objetivo resultante de la suma del producto de cada uno de los arcos usados en la solución, con la cantidad de precios asociada a cada arco, de acuerdo con lo descrito en párrafos previos.
- (2) Corresponde a la restricción de capacidad, que se desprende de las políticas de la organización acerca del tiempo que debe tomar a los encuestadores como preparación por la mañana antes de salir y por la tarde para regresar a oficinas centrales y descargar en la base de datos la

información recopilada durante el día. Este dato como todos los relacionados a tiempo los trabajaremos en minutos.

- (3) Corresponde a la restricción que asegura salir sólo una vez de cada nodo.
- (4) Esta restricción asegura llegar sólo una vez a cada nodo.
- (5) Restricción propuesta por Tucker para romper los *subtours* en la solución (ver el apartado II.2.3 del Capítulo II).

Este modelo se ejemplifica en el siguiente recuadro, con datos reales correspondientes a uno de los días de trabajo del grupo de encuestadores, aunque es sólo un fragmento del planteamiento completo de este problema para fines ilustrativos, debido a la extensión de las ecuaciones completas.

Ejemplo con datos reales del modelo aplicado:

Partimos del modelo planteado anteriormente y tomamos tablas de datos reales del problema, obtenidas del seguimiento y análisis de datos descrito en el Capítulo III de este estudio.

Tabla 1: Matriz de tiempos para uno de los casos del problema estudiado.

Tiempos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	48	45	50	55	35	41	44	25	68
2	19	0	0	0	85	0	0	0	0	0
3	17	105	0	0	98	0	0	0	0	0
4	20	0	0	0	77	0	0	0	0	97
5	20	114	0	0	0	111	0	98	87	0
6	20	0	0	0	0	0	66	0	0	0
7	20	0	61	0	0	0	0	0	0	0
8	20	0	0	71	0	0	0	0	0	99
9	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0
10	20	0	0	0	101	0	0	0	0	0

La Tabla 1 muestra los tiempos promedio de traslado entre los nodos $i-j$, más el tiempo promedio que toma la recolección de precios en el nodo j , según lo descrito en los párrafos previos.

En realidad es una matriz de origen destino, la primera columna a la izquierda indica el nodo de origen (i) y la primera fila nos indica el nodo destino (j), la información en las celdas corresponde al tiempo, por ejemplo: el 105 marcado en la tabla en amarillo corresponde al tiempo de traslado del nodo 3 al nodo 2 sumado con el tiempo que toma recopilar la información de precios en el nodo 2.

Dicho de otra forma, la celda marcada en amarillo en la Tabla 1 de este ejemplo representa el tiempo que en promedio le tomo al grupo de encuestadores desplazarse del nodo 3 al nodo 2 y recopilar los precios en este último.

Por otro lado tenemos la matriz con la información acerca de la cantidad de precios que se recopilan en cada nodo visitado, para ello mostramos la Tabla 2.

Continúa...

Tabla 2: Tabla con la cantidad de precios recopilados en cada nodo o establecimiento visitado por el grupo de encuestadores en un día en particular

Cantidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	556	591	470	631	459	447	528	153	741
2	0	0	0	0	631	0	0	0	0	0
3	0	556	0	0	631	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	631	0	0	0	0	741
5	0	556	0	0	0	459	0	528	153	0
6	0	0	0	0	0	0	447	0	0	0
7	0	0	591	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	470	0	0	0	0	0	741
9	0	0	0	0	0	459	0	0	0	0
10	0	0	0	0	631	0	0	0	0	0

La Tabla 2 nos muestra la cantidad de precios promedio recopilada en cada establecimiento, se puede observar que en cada establecimiento destino se tiene el mismo valor, ya que como se explicó, la cantidad de precios recopilada en un establecimiento es independiente del nodo que se visitó con anterioridad. Por tanto esta tabla puede sustituirse por un vector, como se muestra a continuación:

Cantidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	0	556	591	470	631	459	447	528	153	741

En la tabla observamos en amarillo una casilla con el valor 556, correspondiente a 556 precios recopilados en el nodo 2.

Dicho de otra manera, la celda marcada en amarillo en la Tabla 2 de este ejemplo, representa la cantidad de precios que en promedio se recopila en el establecimiento 2 y dicha cantidad es independiente del nodo del que el grupo parte hacia el nodo 2, por lo que este valor se repite en la columna correspondiente al nodo destino 2.

Cabe mencionar que sólo tienen valores distintos de cero las casillas que corresponden a combinaciones factibles, el resto de los casos corresponden a combinaciones que no es posible practicar en la realidad, es decir, en este estudio resulta infactible ir del nodo 4 al nodo 2, o del nodo 6 al nodo 2, etc. Por lo que en las casillas correspondientes no se tiene un valor de cantidad de precios recopilados.

Continúa...

A partir de estos datos las ecuaciones algebraicas que caracterizan a este problema serían de la forma:

Max

$$Z = 556x_{1,2} + 591x_{1,3} + 47x_{1,4} + 631x_{1,5} + 459x_{1,6} +$$

$$(1) \quad 447x_{1,7} + 528x_{1,8} + 153x_{1,9} + 741x_{1,10} + 631x_{2,5} + \dots + 631x_{10,5}$$

Sujeto a:

$$(2) \quad 48x_{1,2} + 45x_{1,3} + 50x_{1,4} + 55x_{1,5} + 35x_{1,6} +$$

$$41x_{1,7} + 44x_{1,8} + 25x_{1,9} + 68x_{1,10} + 85x_{2,5} + \dots + 101x_{10,5} \leq 400 \text{ min}$$

$$(3) \quad x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} + x_{1,6} + x_{1,7} + x_{1,8} + x_{1,9} + x_{1,10} \leq 1$$

⋮

$$x_{10,1} + x_{10,2} + x_{10,3} + x_{10,4} + x_{10,5} + x_{10,6} + x_{10,7} + x_{10,8} + x_{10,9} \leq 1$$

$$(4) \quad x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} + x_{10,1} \leq 1$$

⋮

$$x_{1,10}x_{2,10} + x_{3,10} + x_{4,10} + x_{5,10} + x_{6,10} + x_{7,10} + x_{8,10} + x_{9,10} \leq 1$$

$$(5) \quad U_1=1; U_2=2 \dots U_{10}=10$$

$$1-2+11x_{1,2} \leq 10$$

$$1-3+11x_{1,3} \leq 10$$

⋮

$$10-9+11x_{10,9} \leq 10$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \text{ para toda } i, j$$

Al introducir la transformación anteriormente expuesta, el modelo corresponde con el *TSP* teórico, ampliamente estudiado en el ámbito de la Investigación de Operaciones, por lo que la validación del mismo esta soportada con el desarrollo del Capítulo II de este estudio y las referencias bibliográficas del mismo.

Las matrices de información que alimentan al modelo se incluyen en su totalidad en el *Anexo: Datos recabados para caracterización del modelo*.

El modelo mostrado se programó Lingo Versión 10 y dicha programación se validó con lenguaje Fortran por medio de enumeración exhaustiva, el proceso completo de validación se describe en apartados subsecuentes.

IV.3 Validación del modelo programado

La validación consistió básicamente en verificar que el resultado obtenido en Lingo realmente era correcto, es decir, que el programa fue realizado de forma que el modelo matemático está efectivamente representado en el programa de solución.

Como ya se mencionó, el modelo utilizado en la solución del problema planteado se programó en Lingo 10.0, obteniendo resultados para cada día de trabajo y para cada tamaño de grupo posibles.

Dichos resultados fueron validados a través de la solución en Fortran del problema por enumeración exhaustiva, lo cual fue posible debido al tamaño reducido del problema, es decir, se tenían pocos nodos por lo que fue posible realizarlo con los recursos computacionales disponibles. Aunque no se considera un método eficiente de solución, funciona en nuestro caso para corroborar que las soluciones son correspondientes.

La programación en Fortran, es totalmente dependiente del estilo y habilidad del programador, así que los resultados que el programa arroja pueden ser vistos de manera inmediata en la pantalla una vez que el programa logra un resultado, o bien puede generar un archivo de texto con el resultado, tal es el caso que se programó, de forma que al programa se le alimenta con datos como: el número de nodos que componen el problema, las matrices de tiempos y de cantidad de precios recopilados, y el tiempo disponible para completar la ruta y luego del procesamiento genera un archivo de texto con el resultado encontrado.

Lo que hace el programa es probar todas las combinaciones posibles de nodos a visitar y evaluar la cantidad de precios total que se logra realizando dicho recorrido, eliminando además aquellas combinaciones que no es posible realizar, esto es, evitando el uso de arcos infactibles (con valor cero en la matriz de cantidad de precios).

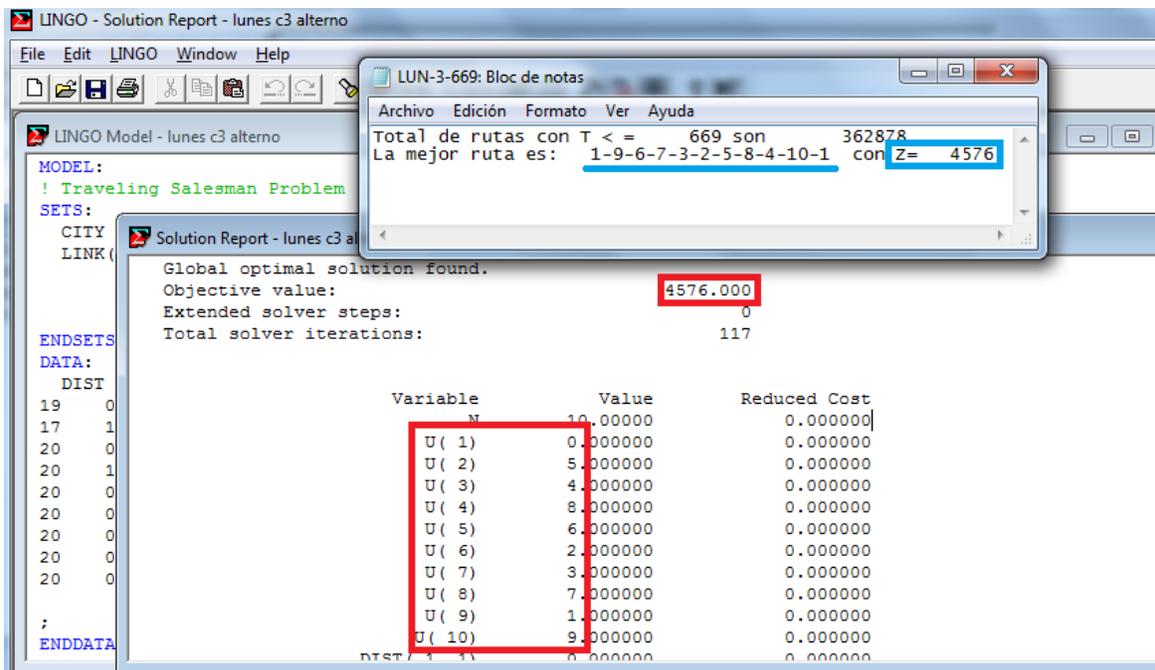
Esta estrategia de solución, es realmente poco eficiente, debido a la cantidad de tiempo que demanda procesar todas las combinaciones posibles de arcos, evaluación de las combinaciones que resultan factibles y selección de la ruta que aporta la mayor cantidad de precios.

Si bien esta estrategia no es eficiente, definitivamente es efectiva, ya que prueba cada una de las posibles rutas y al final se elige la que resulta mejor de acuerdo a la medida de desempeño definida, pero debido a la alta demanda de tiempo y recursos computacionales que implica, sólo se usó para validar que los resultados obtenidos en el programa realizado en Lingo 10.0 eran correctos pero no se realizó para cada una de las corridas del problema. Se realizaron dos pruebas y se compararon los resultados sin encontrar diferencias entre ambos programas, por lo cual afirmamos que son confiables los resultados obtenidos a partir del programa realizado en Lingo 10.0.

Cabe mencionar que la estrategia de solución de Lingo 10.0 es el método de *Branch and Bound*, por su nombre en inglés o Bifurcación y Acotación como se denomina en español y el tiempo de procesamiento es realmente muy corto en relación con el tiempo de corrida de Fortran, para los ejemplos realizados se puede decir que mientras Lingo realiza la corrida en no más de dos minutos, a Fortran le tomó hasta dos horas.

Los formatos en los que ambos programas emiten los resultados son poco aptos para integrarlas en este documento pero en la Figura IV.2 se muestra tal cómo son reportados en cada caso y la comparación para validación que se realizó de forma manual.

Figura IV. 2 Imagen de la forma en que se obtienen los resultados, la ventana pequeña corresponde a Fortran y la mayor es el resultado de Lingo.



En la imagen sólo se observa una parte del archivo completo de resultados de ambos programas (Lingo 10.0 con marcas en rojo y Fortran con marcas en azul), pero sirve para tener una idea de cómo son presentados. En ambos casos se trata de archivos de texto que se procesaron manualmente para extraer la parte importante para el trabajo y resumirla de manera que sea fácilmente interpretable.

Los resultados que se incluyen en la Tabla IV.1 fueron obtenidos a partir de corridas en ambos programas.

Tabla IV. 1 Resultados obtenidos en cada programa para el día lunes, con grupos de 3 y 4 personas respectivamente

Día / Tamaño del grupo		Lingo 10.0	Fortran
Lunes / 3	Ruta	1-9-6-7-3-2-5-8-4-10-1	1-9-6-7-3-2-5-8-4-10-1
	Z	4,576	4,576
Lunes / 4	Ruta	1-8-4-10-5-9-6-7-3-2-1	1-8-4-10-5-9-6-7-3-2-1
	Z	4,655	4,655

Z: Cantidad de precios recopilada

En la tabla vemos los resultados obtenidos con ambos programas y resulta evidente la coincidencia. Los números en la fila de Ruta indican la secuencia en la que se visitarán los establecimientos identificados cada uno con un número asociado al directorio de establecimientos.

Esta prueba realizada nos indica que cualesquiera de los programas podría utilizarse para la solución de este modelo, sin embargo Lingo 10.0 utiliza el método *Branch and Bound* (ver apartado II.2.5 Capítulo II) para llegar a la solución óptima, por lo que demanda considerablemente menos recursos computacionales.

Con respecto al tamaño del modelo, debemos recordar que lo que se busca es una ruta para cada día de la semana y que en cada día se tiene una cantidad distinta de establecimientos a ser visitados, por lo que el tamaño del modelo es variable en función del día, y adicionalmente tenemos que en distintos días podemos tener más de un tamaño de grupo de encuestadores, es decir integrantes del grupo. Así obtenemos una cantidad variable de combinaciones del modelo dependiendo del día de la semana analizado y de la cantidad de personas que integran el grupo de encuestadores.

Una vez que se validó el modelo programado, se realizaron las corridas respectivas y se presentan los resultados obtenidos para posteriormente analizarlos en contraste con la operación regular del programa.

IV.4 Resultados

Las corridas se procesaron en un computador portátil regular con procesador Intel Athlon y memoria de 1Gb, esto fue posible debido a la ventaja de utilizar Lingo, el cual aplica el método de *Branch and Bound* esto representa una ventaja ya que durante la operación regular del programa puede utilizarse el modelo sin requerimientos adicionales para la determinación de las rutas.

La Tabla IV.2 muestra cada uno de los resultados obtenidos a partir de la solución del modelo utilizando Lingo 10.0.

Tabla IV.2 Rutas obtenidas a partir del modelo matemático resuelto con Lingo 10.0

Día / Tamaño del grupo	Ruta	Z
Lunes / 3	1-9-6-7-3-2-5-8-4-10-1	4576
Lunes / 4	1-8-4-10-5-9-6-7-3-2-1	4655
Martes / 5	1-2-5-6-4-7-3-8-1	2858
Martes / 3	1-2-5-4-7-8-3-6-1	2962
Martes / 4	1-2-5-6-4-7-3-8-1	2790
Miércoles / 3	1-6-7-9-5-12-11-10-2-8-4-3-1	2933
Miércoles / 4	1-6-7-12-8-4-3-10-2-9-5-11-1	2978
Jueves / 5	1-7-3-4-2-6-5-1	3920
Viernes/ 3	1-7-3-4-2-6-5-1	1729
Viernes/ 4	1-4-7-2-5-3-8-9-6-1	3862
Viernes/ 5	1-4-7-2-5-3-8-9-6-1	3812

Z: Cantidad de precios recopilada

Con la intención de mostrar claramente la forma en la que los resultados presentados en la Tabla IV.2 aportan un beneficio al desempeño del programa QQP (cantidad total de precios recopilados por día), se realizó una comparación entre el desempeño del grupo de encuestadores en un día normal de trabajo siguiendo la ruta acostumbrada y el resultado que se obtendría siguiendo la ruta resultante del modelo propuesto.

Los resultados mostrados de manera aislada no reflejan la forma en la que apoyan a la operación del QQP, por lo que es necesario contrastar los resultados que ha tenido el grupo de encuestadores con la forma normal de trabajo contra los previstos por el modelo. Para ello presentamos en el siguiente apartado la comparación de los resultados teóricos mostrados en la Tabla IV.2 contra lo obtenido realmente en un día normal de trabajo.

IV.5 Análisis de resultados

A continuación se hace un comparativo de los resultados que ha obtenido en la práctica el grupo de encuestadores, siguiendo la ruta acostumbrada y contrastando los resultados que se hubieran obtenido de haber aplicado la ruta que propone el modelo matemático.

Tabla IV. 3 Comparativo de los resultados obtenidos a partir del modelo matemático vs resultados reales del grupo para un día particular

Día / Tamaño del grupo	Resultados obtenidos por el Modelo	Resultados reales promedio del grupo ⁴⁰	Diferencia entre el resultado calculado y el promedio real
Lunes / 3	4,576	2,027	126%
Lunes / 4	4,655	2,595	79%
Martes / 3	2,858	2,164	32%
Martes / 4	2,962	2,497	19%
Martes / 5	2,790	2,385	17%
Miércoles / 3	2,933	1,969	49%
Miércoles / 4	2,978	2,820	6%
Jueves / 4	3,862	2,519	53%
Jueves / 5	3,812	2,552	49%
Viernes / 3	3,103	2,397	29%
Viernes / 4	3,287	2,431	35%
Viernes / 5	3,355	3,008	12%

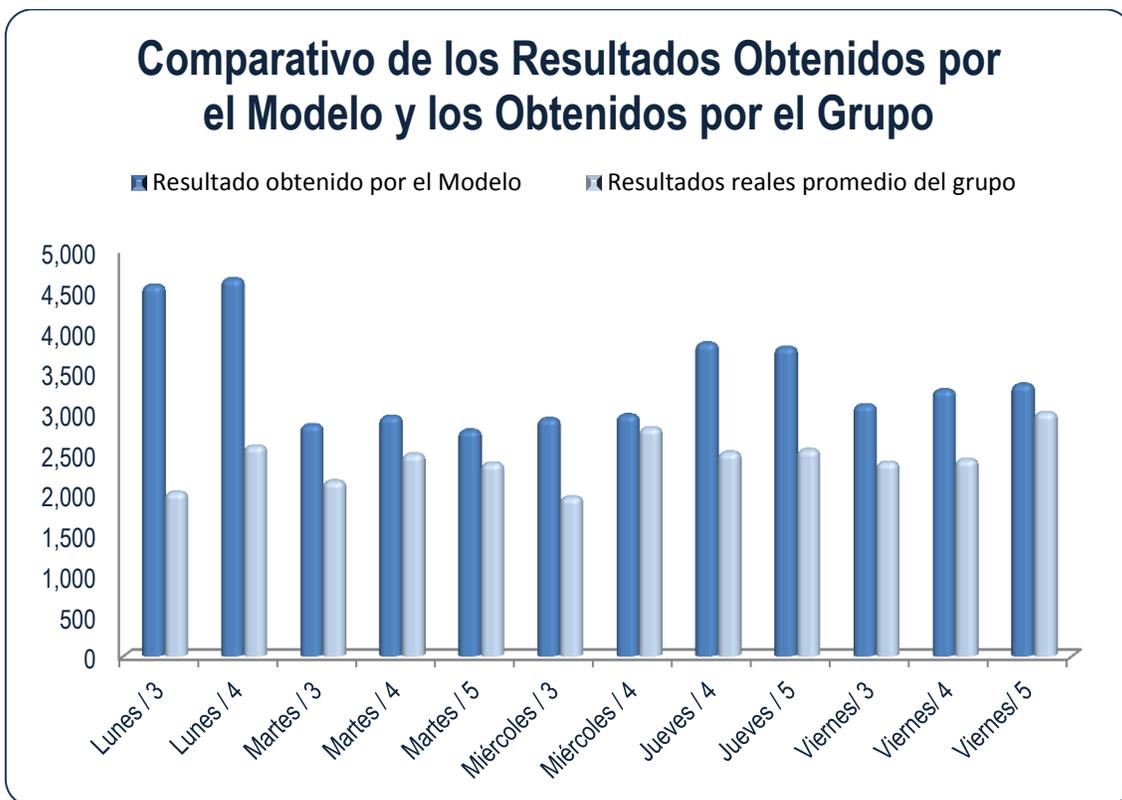
La Tabla IV.3 muestra que en todos los casos la cantidad de precios calculada con las rutas obtenidas a partir del modelo, es mayor que la cantidad promedio precios recopilados a partir de las rutas reales que realizó el grupo, esto lo tomamos como fundamento para afirmar que implementar el modelo implicaría un beneficio real en el desempeño del grupo de encuestadores, en comparación con lo realizado por el grupo de encuestadores de manera normal.

⁴⁰ Se calculó el promedio de precios recopilados por el grupo de acuerdo a su número de encuestadores durante el periodo comprendido entre el 17 de enero de 2011 y el 6 de mayo del mismo año.

Se observan un par de casos en los que la diferencia es menor del 15%, esto puede atribuirse a que la ruta calculada y la real son muy similares, pero al ser resultados de un promedio el valor tiene cierta variación, en cuyo caso podría afirmarse que el modelo propuesto es al menos tan bueno como el actual.

Estos resultados se comparan en la Gráfica IV.1, donde resulta evidente que los resultados propuestos ofrecen una mejora en la operación, medible en la cantidad de precios que se recopilarían de utilizar el modelo propuesto.

Gráfica IV. 1 Comparación de la cantidad de precios recopilados por el grupo y los resultados teóricos obtenidos a partir de las rutas obtenidas con el modelo.



Se tienen diferencias considerables en el desempeño de una y otra opción, desde el 126% más registrado para el lunes con grupo de tres personas, hasta el 6% del miércoles con un grupo de 4 encuestadores, sin embargo hay un par de consideraciones que se deben hacer:

- se compararon las rutas seguidas por el grupo de encuestadores en fechas anteriores a las que se usaron como base para caracterizar al modelo, es decir, se usó la base de datos a la operación anterior a la intervención de

nuestra parte para modificar las rutas y obtener la información que caracteriza el problema;

- el grupo en los distintos días pudo haber usado menor tiempo del que considera el modelo como disponible, es decir, el turno pudo ser más corto y no tenemos registro de ello.

En este capítulo se ha desarrollado la aplicación del modelo matemático del Agente Viajero, el cual se adaptó para aprovechar el modelo clásico de este problema.

Se desarrolla una aplicación a partir de información histórica del tiempo de desplazamiento del grupo, del tiempo que le toma al grupo recopilar la información en cada establecimiento que visita, así la cantidad de precios que recopilan.

Finalmente se ha obtenido y mostrado el resultado exacto, aprovechando el método de *Branch and Bound* y utilizando los datos reales, mismos que se contrastan con los resultados promedio del grupo de encuestadores aplicando rutas que a través del tiempo les han dado resultados aceptables. Con esto se mostró que se tendría una mejora considerable en la cantidad de precios que recopilaría el grupo si se aplicara el modelo matemático desarrollado a través de este trabajo de investigación, con lo que damos por concluido el estudio y se presentan las conclusiones del mismo en el siguiente capítulo.

Conclusiones

El objetivo de este estudio es el aumento en la cantidad de precios que recopila el programa Quién es Quién en los Precios (QQP) lo cual se logró, de acuerdo con lo mostrado en la gráfica y tabla de resultados obtenidos a partir del modelo y contrastados con los resultados reales de un día normal obtenidos por el grupo.

Esto da pie para afirmar que es posible aumentar la cantidad de precios recopilada por el programa, estructurando las rutas que siguen los grupos de encuestadores.

Por otro lado el implantar un modelo para el cálculo de las rutas que maximizan la cantidad de precios que se añaden a la base de datos, sirve para aprovechar los recursos humanos y técnicos disponibles, a través de la reducción de la variabilidad en cuanto a los horarios de recolección, lo que llevaría hacia la estandarización de la operación y en etapas posteriores favorecería a la planeación de actividades en temporadas en las que el QQP tiene una carga mayor de trabajo.

En cuanto a la efectividad del estudio se observan buenos resultados a partir de la información disponible, pero nos podemos aventurar a afirmar que aumentaría la calidad del resultado si se contara con mayor cantidad de información, en particular en cuanto a la caracterización de las matrices de tiempo y muy puntualmente de los tiempos de traslado.

También es importante afinar la cuestión relativa al tiempo disponible del grupo para hacer los recorridos, ya que se tiene variación en el tiempo que ocupa en distintos días, aunque queda fuera del alcance de este estudio el determinar las causas de dicha variación, sería conveniente para los encargados del programa trabajar en la reducción de estas variaciones, quizá estableciendo programas diarios de trabajo o procedimientos definidos de operación.

Una vez concluido el estudio y observados los resultados, se considera que el modelo planteado ofrece una solución cuantitativa efectiva y eficaz, ya que el tiempo de procesamiento es corto (unos cuantos minutos), además de que sólo se deberían hacer corridas cuando se agreguen nuevos establecimientos al directorio que se monitorea o se altere el catálogo de productos de forma que pueda cambiar el tiempo de recopilación del grupo de encuestadores. Estos cambios no

sucedan de manera frecuente, en palabras de los encargados del programa pasan meses sin cambios significativos.

Extensiones posibles al estudio

Como ampliación del alcance de este estudio, se puede aplicar a este problema un algoritmo que permita favorecer la visita de los nodos que aportan mayor cantidad de precios con respecto a los que distraen tiempo del grupo y aportan cantidades menores, aunque hay que estudiar qué tanto puede afectar esto a la calidad de la información que estaría disponible en las bases de datos del QQP, ya que este enfoque llevaría a que se tenga mucha información recopilada en tiendas de autoservicio y poca de establecimientos menores.

También es importante mencionar, que en los resultados presentados se tienen tiempos de ruta que pueden exceder el tiempo de un turno normal de trabajo, ya que el *Traveling Salesman Problem* por definición visita todos los nodos en la red, en alcance a este estudio se puede aplicar un algoritmo que se ajuste al tiempo de un turno, eliminando ciertos nodos.

Falta incluir la opinión de los expertos acerca de los resultados obtenidos y de la forma en que puede ayudar este modelo a la operación normal del QQP, ya que puede haber cuestiones operativas que escapen a nuestra percepción, a pesar del tiempo en el que se ha estudiado el comportamiento del sistema.

Un estudio adicional que complementa este trabajo, puede ser el análisis del comportamiento del modelo usando información acerca de los tiempos de traslado aprovechando herramientas disponibles libremente en Internet que están asociadas con el uso de mapas interactivos, ya que como sabemos el tiempo de traslado sólo es una parte del tiempo considerado para el estudio, en muchas ocasiones el tiempo de recolección es considerablemente mayor que el de traslado.

Si se lograra una buena aproximación de los tiempos de traslados con las herramientas se lograría un avance considerable en la caracterización del modelo y es posible que se logaran mejores valores Z , ya que se puede disponer de la información correspondiente a los tiempos de recolección y cantidad de precios capturados por establecimiento y son independientes de los nodos precedentes visitados, no así los tiempos de traslado.

Finalmente, mencionamos que debido al tiempo de desarrollo de este estudio no se aplicaron los resultados en la realidad. Los responsables diseñaron un plan alternativo que aplicaron ante lo complicado de la situación.

Anexo A: Estrategia de Implementación del Proyecto

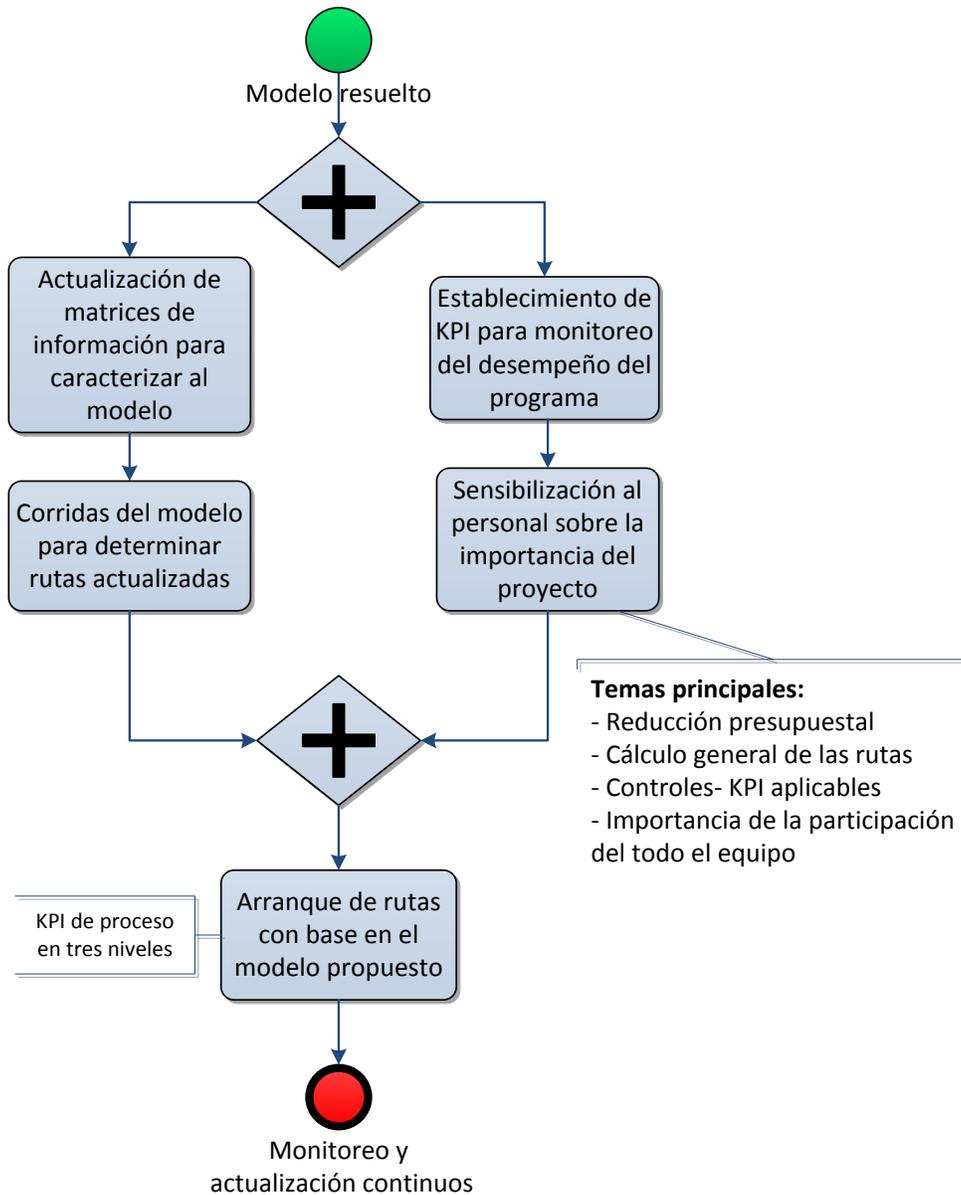
El modelo desarrollado en el presente estudio busca resolver un problema real de la organización en la que se encuentra adscrito el programa QQP, por lo cual nos hemos dado a la tarea de complementar dicho estudio con una propuesta de implementación que se consolide con el trabajo de la dirección de la Dirección General de Estudios sobre Consumo en una estrategia que permita hacer frente a la situación adversa y de manera general facilite a los encargados del programa la aplicación del modelo de manera efectiva.

Como lo presenta *Choo* en su obra “La organización inteligente”, respecto al nivel de concientización y compromiso que debe lograrse en la organización al asumir una determinada estrategia. El autor advierte, que “cuando la organización tiene la comprensión y el conocimiento para actuar, debe (...) comprometerse con una sola estrategia”⁴¹

Así que la propuesta hecha a través del modelo para la determinación de rutas de trabajo es una parte importante en el mantenimiento del desempeño del QQP pero también se debe tener en cuenta el contexto organizacional y es en éste aspecto que se centra este Anexo, que aunque no es exhaustivo si proporciona una guía básica para los encargados del QQP.

⁴¹ Choo Ch. La organización inteligente: El empleo de la información para dar significado, crear conocimiento y tomar decisiones. México DF: Oxford University Press México; 1999

Diagrama A.1 Representación de las etapas generales que se proponen para la implementación del modelo en la práctica diaria.



El diagrama inicia con el modelo construido y resuelto en la tesis y que será la base para cualquier actualización de las rutas por cambios en el Directorio de Establecimientos o en el catálogo de productos. Dicho modelo se tiene programado en Lingo y se entregará a los encargados del programa para que realicen las corridas necesarias por cuenta propia.

Una vez teniendo el modelo, se debe por un lado actualizar la información integrada en las matrices que caracterizan al modelo para luego correr el programa para obtener las rutas y por otro establecer Indicadores del Proceso (*key Process Indicators KPI*) y sensibilización del personal involucrado.

Actualización de matrices de información para caracterizar al modelo.

El modelo matemático se alimenta con matrices de datos sobre los tiempos promedio de traslado y de recolección de precios y las cantidades promedio de precios que son recopiladas en cada establecimiento, esto principalmente porque es probable que durante el tiempo transcurrido entre el desarrollo de la investigación el catálogo de productos y el directorio de establecimientos haya cambiado, ya que el sistema es dinámico y reacciona a las preferencias de compra de los ciudadanos.

Para actualizar dichas matrices es necesario ensayar las conexiones entre los nuevos establecimientos y los ya existentes, es decir probar nuevas rutas donde se vaya desde el establecimiento nuevo a los ya considerados y viceversa. Para ello se puede aprovechar la experiencia de los coordinadores de grupo descartando las conexiones infactibles, ya sea porque la distancia sea excesiva o porque el traslado implica complicaciones operativas al grupo.

Se debe considerar un promedio de los tiempos y cantidad de precios, y por ello, mientras más información se tenga para conformarlo se estará en mejor posición para obtener la ruta óptima.

Corridas del modelo para determinar rutas actualizadas

En esta etapa se deben sustituir en el modelo en Lingo las matrices de datos correspondiente a la configuración del cada caso, día de la semana, cantidad de establecimientos a visitar y tamaño del grupo de encuestadores.

Una vez que se han ingresado al modelo estas características se puede realizar la corrida correspondiente y determinar la ruta para el día y la configuración respectiva.

Dentro del programa en Lingo se tienen las indicaciones necesarias para que se sustituyan los datos respectivos y posteriormente se realice la corrida.

Establecimiento de Indicadores para monitoreo del desempeño del programa

Para poder monitorear el desempeño de cualquier área es necesario tener métricas e indicadores que permitan tomar acciones oportunamente que aseguren la consecución de las metas planteadas.

Se debe considerar que para que sea efectivo un sistema de indicadores deben incluirse indicadores en tres niveles:

- Estratégico;
- Táctico; y
- Operativo.

En el punto estratégico se puede buscar aumentar el número de consultas o apariciones en medios de información que se desprenda del programa, que ayuden a justificar la existencia del QQP por su aportación al consumo informado, esto es importante porque según la normatividad estudiada y expuesta en el Capítulo I, es una de las encomiendas de Profeco.

En el Punto Táctico se puede controlar el volumen de captura de precios.

En el punto operativo pueden surgir una cantidad importante de métricas e indicadores, pero se debe dar luz a aquellos asuntos que afecten directamente a los resultados del grupo o de los encuestadores que componen el grupo. Aquí se pueden considerar factores muy variados, que van desde la puntualidad hasta la productividad del individuo.

En principio se tiene una métrica natural que se desprende de la meta del programa QQP que especifica que se debe actualizar totalmente la base de datos de precios del Catálogo de Productos cada semana. Es decir, la cantidad de precios recopilada por el grupo se puede tomar para contrastarlo con el total de precios que debieran recopilar por día de trabajo, o por establecimiento, según lo que resulte conveniente en experiencia de los responsables.

En el establecimiento del indicador debe considerarse un porcentaje de tolerancia debido a que los productos que deben registrarse no necesariamente están siempre en existencia en estanterías y por tanto no se registra su precio. Recordemos que las metas deben ser alcanzables y por la razón expuesta no es posible alcanzar el 100% de precios actualizados.

Además del indicador de cantidad de precios se pueden establecer otros indicadores que permitan controlar operativamente al grupo, por ejemplo, la cantidad de precios recopilados por encuestador, la cantidad de incidencias en la captura por encuestador, o cosas que no estén en el alcance del grupo, por ejemplo, los fallos en el equipo de captura, averías del transporte, etc.

Sensibilización al personal sobre la importancia del proyecto

Ésta etapa es crucial en el éxito del esfuerzo de implementación, ya que una parte medular de la operación del programa corresponde a las personas de todos niveles que realizan actividades en el mismo y que deben estar convencidas de la

necesidad de permanencia del programa y de la importancia de su aportación para tal efecto.

En este ánimo de integración y convencimiento de los participantes del programa QQP se proponen pláticas donde se traten tópicos relativos a los siguientes temas:

- Reducción presupuestal
- Cálculo general de las rutas
- Controles - *KPI* aplicables
- Importancia de la participación del todo el equipo

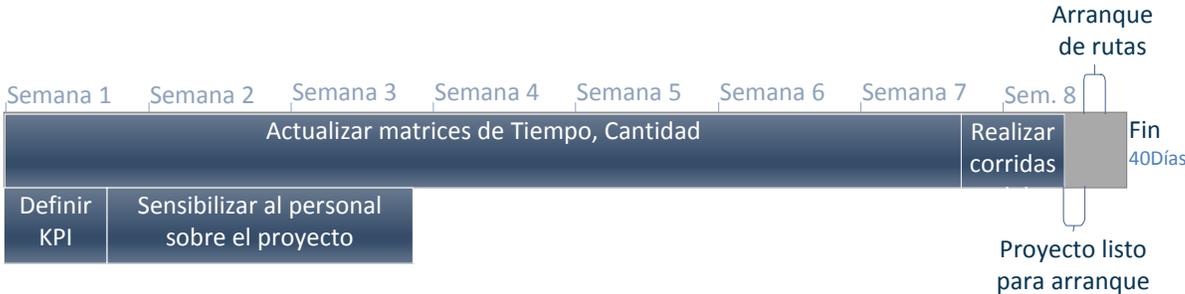
Lo recomendable es que no se aporte toda la información en una sola reunión, ya que resultaría cansado e improductivo.

Podría iniciarse con la revisión rápida acerca de las reducciones presupuestales y la perspectiva para ejercicios fiscales posteriores, aunque es algo conocido por todos los integrantes del programa, puede funcionar como un argumento para captar la atención de los participantes y motivación al cambio, ya que naturalmente se tiene una sensación de incertidumbre en el empleo debido a tales recortes.

Programa de implementación

Una vez que sean desarrolladas estas etapas se estará en posición de dar arranque a las nuevas rutas, a continuación mostramos el desarrollo de esta etapa de implementación con un estimado de tiempos de implementación.

Diagrama A.2 Escala de tiempo de las distintas etapas de la implementación



De acuerdo con lo mostrado en el Diagrama 2, la implementación tomaría 40 días hábiles, considerando los tiempos mostrados en la siguiente tabla que contiene las actividades principales.

Tabla A.1 Actividades principales durante la implementación y tiempo de ejecución de las mismas

Nombre de la Tarea	Duración
Actualizar matrices de Tiempo, Cantidad	34 días
Diseñar rutas alternas para recolección de datos	6 semanas
Captura y procesamiento de la información	6 semanas
Realizar corridas del Modelo con datos actuales	3 días
Establecer KPI	1 semanas
Sensibilizar al personal sobre el proyecto	11 días
Preparación del material	2 semanas
Reuniones de sensibilización	1 día
Proyecto listo para arranque en campo	1 día
Arranque de rutas calculadas	1 día
Monitoreo y ajuste de matrices de tiempo	1 día

Los tiempos mostrados se asignan con base en la experiencia, de proyectos previos y del tiempo que tomó actualizar las matrices de información, que es la etapa que toma mayor tiempo, así que en función de la profundidad de los cambios que han sufrido el Catálogo de Productos y el Directorio de Establecimientos este tiempo podría modificarse.

La estrategia desarrollada en este Anexo es sencillamente una propuesta y de ninguna manera es condicionante para el buen funcionamiento del modelo que se desarrolla en la tesis y que es el tema principal de la misma.

Anexo B: Datos recabados para la caracterización del modelo

La información que se usó como base para este estudio fue recopilada durante varias semanas de seguimiento, aprovechando la disponibilidad para modificar las rutas temporalmente, con el fin de caracterizar las matrices de tiempos de traslado, y de recolección de un grupo de encuestadores.

En este anexo se muestran los datos que se obtuvieron después del procesamiento debido, que implicó primeramente la captura en tablas de toda la información proporcionada por los encargados del programa en imágenes electrónicas, procedente de reportes de las bases de datos, que incluyen el tiempo de inicio y término del levantamiento de información en cada establecimiento, el tamaño del grupo, la secuencia de visita de los establecimientos, y la cantidad de precios, recolectados; para posteriormente clasificarla por día y tamaño del grupo y cálculo de tiempos de traslado a partir de los tiempos de inicio y fin en cada nodo.

Una vez conformadas las tablas, se calcularon los promedios de cada factor para luego integrar las matrices de tiempos, resultantes de la suma de tiempos promedio de recolección en cada tipo establecimiento con los tiempos promedio de traslado de cada arco factible, obteniendo como resultado las tablas que alimentan a los programas que realizan el cómputo necesario para obtener los resultados ya mostrados.

Tablas de tiempos por día y tamaño de grupo

A continuación se muestran tablas de tiempos en minutos integradas en matrices origen-destino para cada día de la semana del caso estudiado; debido a la gran cantidad de datos sólo se muestran los datos para un tamaño de grupo y de cada día.

Para el día lunes se consideran diez nodos con un grupo de cuatro personas:

10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	48	45	50	55	35	41	44	25	68
2	19	0	0	0	85	0	0	0	0	0
3	17	105	0	0	98	0	0	0	0	0
4	20	0	0	0	77	0	0	0	0	97
5	20	114	0	0	0	111	0	98	87	0
6	20	0	0	0	0	0	66	0	0	0
7	20	0	61	0	0	0	0	0	0	0
8	20	0	0	71	0	0	0	0	0	99
9	20	0	0	0	0	41	0	0	0	0
10	20	0	0	0	101	0	0	0	0	0

Para el día lunes también se cuenta con información acerca de un grupo de cinco personas, al cual corresponde la siguiente matriz:

T5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	48	40	46	48	34	41	42	25	61
2	19	0	0	0	78	0	0	0	0	0
3	17	105	0	0	91	0	0	0	0	0
4	20	0	0	0	70	0	0	0	0	90
5	20	114	0	0	0	110	0	96	87	0
6	20	0	0	0	0	0	66	0	0	0
7	20	0	56	0	0	0	0	0	0	0
8	20	0	0	67	0	0	0	0	0	92
9	20	0	0	0	0	40	0	0	0	0
10	20	0	0	0	94	0	0	0	0	0

Para el día martes se trabajó con información para grupos de 3, 4 y 5 personas, con nueve nodos totales a visitar, a continuación se muestran cada una de las matrices.

Se observa una gran cantidad de ceros en esta matriz, esto es debido a que el número de nodos es muy alto e implica una variación muy grande en las rutas que debiera seguir el grupo para lograr una mayor cantidad de datos en esta matriz, lo cual está limitado por la operación propia del programa, así que se ajustó a la cantidad máxima que fue posible monitorear en la práctica.

En cuanto al día miércoles, se tiene información para grupos de tres y cuatro personas y se muestra la correspondiente a 3 personas:

T3	1	2	3	4	5	6	8	9
1	0	37	61	33	68	70	27	75
2	19	0	0	0	64	0	0	0
3	17	0	0	0	74	75	0	89
4	19	0	0	0	0	0	0	0
5	15	0	0	0	0	151	0	0
6	18	0	0	0	0	0	0	0
7	22	0	61	0	0	0	0	171
8	20	0	72	0	0	0	0	0

Para el grupo de cuatro personas tenemos:

T4	1	2	3	4	5	6	8	9
1	0	37	50	33	68	62	24	65
2	19	0	0	0	64	0	0	0
3	17	0	0	0	74	67	0	79
4	19	0	0	0	0	0	0	0
5	15	0	0	0	0	143	0	0
6	18	0	0	0	0	0	0	0
7	22	0	50	0	0	0	0	161
8	20	0	61	0	0	0	0	0

Finalmente, esta es la matriz de tiempos para el grupo de cinco personas:

T5	1	2	3	4	5	6	8	9
1	0	37	45	33	60	70	23	57
2	19	0	0	0	56	0	0	0
3	17	0	0	0	66	75	0	71
4	19	0	0	0	0	0	0	0
5	15	0	0	0	0	151	0	0
6	18	0	0	0	0	0	0	0
7	22	0	45	0	0	0	0	153
8	20	0	56	0	0	0	0	0

En cuanto al día miércoles, tenemos información para grupos de tres y cuatro personas, a continuación se muestra la correspondiente a 3 personas:

T3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	63	46	30	67	62	0	58	0	0	0	0
2	32	0	0	0	0	0	0	61	6	0	0	0
3	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	24	0	40	0	0	0	0	0	25	0	0	0
5	28	63	0	0	0	0	0	0	12	0	6	9
6	23	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	57	0	0	0	1	0	0	3
8	27	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	1	0
10	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	55	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
12	0	53	0	0	61	0	0	51	0	0	7	0

Para el grupo de cuatro personas se muestra la siguiente matriz de tiempos:

T4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	55	46	28	67	62	0	58	0	0	0	0
2	19	0	0	0	0	0	0	61	6	0	0	0
3	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20	0	40	0	0	0	0	0	25	0	0	0
5	20	55	0	0	0	0	0	0	12	0	6	9
6	20	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0
7	20	0	0	0	57	0	0	0	1	0	0	3
8	20	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	0	0	0	50	0	0	0	0	0	1	0
10	20	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	20	47	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
12	20	45	0	0	61	0	0	51	0	0	7	0;

Para el jueves se cuenta con información correspondiente a grupos de cuatro y cinco personas con 9 nodos o establecimientos

T4	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	57	27	64	29	65	55	51	63
2	19	0	0	0	12	57	53	0	0
3	20	0	0	0	0	0	0	54	54
4	20	0	0	0	0	0	65	99	0
5	20	0	27	0	0	0	0	0	63
6	20	55	0	0	0	0	0	0	0
7	20	54	0	0	0	0	0	0	0
8	20	0	0	0	27	0	0	0	76
9	20	0	29	0	0	59	49	53	0

Con respecto al grupo de cinco personas del día jueves se tiene la matriz siguiente:

T5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	50	24	51	28	54	50	44	52
2	19	0	0	0	11	46	48	0	0
3	20	0	0	0	0	0	0	47	43
4	20	0	0	0	0	0	60	92	0
5	20	0	24	0	0	0	0	0	52
6	20	48	0	0	0	0	0	0	0
7	20	47	0	0	0	0	0	0	0
8	20	0	0	0	26	0	0	0	65
9	20	0	26	0	0	48	44	46	0

Finalmente, en cuanto a las matrices de tiempos, el día viernes se tienen siete nodos con grupos de tres, cuatro y cinco personas, a continuación se muestran cada una de las matrices.

T3	1	2	3	4	5	6	7
1	0	38	49	26	55	38	61
2	19	0	0	0	72	0	0
3	17	55	0	0	0	0	0
4	20	0	0	0	0	54	74
5	20	0	0	0	0	0	69
6	20	0	0	38	69	0	0
7	20	57	66	0	0	0	0

Para un grupo con cuatro integrantes se tiene:

T4	1	2	3	4	6	7	16
1	0	38	51	25	55	34	56
2	19	0	0	0	72	0	0
3	17	55	0	0	0	0	0
4	20	0	0	0	0	50	69
5	20	0	0	0	0	0	64
6	20	0	0	37	69	0	0
7	20	57	68	0	0	0	0

En el caso de cinco encuestadores en el grupo:

T5	1	2	3	4	5	6	7
1	0	32	41	17	55	29	44
2	19	0	0	0	72	0	0
3	17	49	0	0	0	0	0
4	20	0	0	0	0	45	57
5	20	0	0	0	0	0	52
6	20	0	0	29	69	0	0
7	20	51	58	0	0	0	0

Tablas de cantidad de precios recopilados por día y tamaño de grupo

Además de los tiempos, el modelo requiere información acerca de la cantidad de precios recolectada por cada establecimiento, esta se presenta en forma de vector aunque en realidad se alimenta a los programas como matrices cuyos valores son repetidos en las columnas como se muestra en la siguiente tabla correspondiente al día lunes con un grupo de cuatro personas.

Q4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	556	591	470	631	459	447	528	153	741
2	0	0	0	0	631	0	0	0	0	0
3	0	556	0	0	631	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	631	0	0	0	0	741
5	0	556	0	0	0	459	0	528	153	0
6	0	0	0	0	0	0	447	0	0	0
7	0	0	591	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	470	0	0	0	0	0	741
9	0	0	0	0	0	459	0	0	0	0
10	0	0	0	0	631	0	0	0	0	0

En la tabla vemos que se repiten los valores en las columnas pero únicamente en aquellas casillas correspondientes a arcos factibles, es decir, arcos en los que es posible en la práctica el desplazamiento y por lo tanto tenemos información de tiempo de tiempo en la matriz correspondiente.

Se repiten los valores por columna porque sabemos que sin importar el nodo de origen, siempre se recopila en promedio la misma cantidad de precios en el nodo destino, esto permite aprovechar el modelo clásico de *TSP* para resolver este problema.

Una vez explicado esto, se muestra la información correspondiente a cada día pero en forma de vector.

Lunes con grupo de cinco personas:

Q5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	556	591	512	682	487	447	510	155	715

Martes con grupo de tres personas:

Q3	1	2	3	4	5	6	8	9
1	0	364	527	107	774	496	116	697

Para el día martes con grupo de cuatro personas:

Q4	1	2	3	4	5	6	8	9
	0	364	507	107	774	594	116	723

Para terminar el martes tenemos un grupo de cinco personas:

Q5	1	2	3	4	5	6	8	9
	0	364	538	107	706	496	122	686

Por lo que respecta al día miércoles estos son los datos del grupo de tres personas:

Q3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0	433	569	30	579	633	2	685	1	1	1	1

En caso de que el grupo sea de cuatro personas tenemos:

Q4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0	475	569	33	579	633	2	685	1	1	1	1

Para jueves se muestra la información del grupo con cuatro integrantes:

Q4	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	564	59	752	94	666	572	464	691

También para jueves pero con grupo de cinco encuestadores:

Q5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	568	59	719	110	654	566	444	692

Finalmente tenemos las tablas correspondientes al día viernes con grupos de tres, cuatro y cinco personas:

Q3	1	2	3	4	5	6	7
	0	455	645	103	711	489	700

Q4	1	2	3	4	5	6	7
	0	547	692	105	711	510	722

Q5	1	2	3	4	5	6	7
	0	562	692	101	711	557	732

Estas son las tablas que se usaron para caracterizar al modelo dependiendo de sus condiciones diarias y con base en las cuales se obtuvieron los resultados mostrados en el Capítulo IV de este estudio.

Referencias

Libros

1. Méndez, El protocolo de investigación, Trillas, México 2009.
2. Arreola, Programación lineal, Una introducción a la toma de decisiones cuantitativa, Thomson, México, 2007.
3. Papadimitrou, Combinatorial Optimization, Dover Publication, NY, (1998)
4. Clausen, Branch and bound algorithms, principles and examples, University of Copenhagen, Denmark, 1999.
5. Mandl, Applied Network Optimization, Limusa, London 1979.
6. Choo Ch. La organización inteligente: El empleo de la información para dar significado, crear conocimiento y tomar decisiones. México DF: Oxford University Press México; 1999

Tesis

7. Maldonado, Optimización del teñido de telas. Tesis para obtener grado de doctor, Universidad Nacional de Quilmes. 2005.

Artículos

8. Cook, The P versus NP problem, University of Toronto.
http://www.claymath.org/millennium/P_vs_NP/Official_Problem_Description.pdf (10 marzo 2011)
9. Cormen, Introduction to Algorithms, MIT, Massachusetts, USA 1999
10. Kirkpatrick, Optimization by simulated annealing. Science. Vol. 220, No. 4598, 1983



11. Blokh, Maximizing Traveling Salesman Problem For Special Matrices, Ben Gurion University of Negev.
12. Müller, Finding Maximizing Euclidean TSP tours for the Häme-Hyytiä-Hakula conjecture, Institute of Theoretical Computer Science and Swiss Institute of Bioinformatics, ETH Zürich, 2011.
13. Hernández, Investigación de Operaciones y Turismo, Revista de Matemática: teoría y aplicaciones, 22 de febrero de 2006
14. Flood, the traveling salesman problem, OPERATIONS RESEARCH, Vol. 4, No. 1, February 1956, pp. 61-75 DOI: 10.1287/opre.4.1.61 Columbia University NY 1956
15. Hopfield, "Neural" Computation of Decisions in Optimization Problem, Biological Cybernetics, vol.52, 1985.
16. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, 1975.
17. Moujahid, Tema 2. Algoritmos genéticos, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.
18. Glover, Tabu search part I, ORSA Journal on Computing, Vol. 1, No. 3. 1989.
19. Hernández, Investigación de Operaciones y Turismo. Revista de Matemática Vol. 7, 2006
20. Ríos, Investigación de operaciones en acción: Heurísticas para la solución del TSP, Ingenierías, Octubre- Diciembre 2000, Vol. III, No. 9.



Leyes y reglamentos

21. Reglamento de la Procuraduría Federal del Consumidor, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 16 de julio de 2004
22. Artículo 16 del Estatuto Orgánico de la Procuraduría Federal del Consumidor; publicado en el DOF el 10 de julio de 2006 y a la Nota aclaratoria al Estatuto Orgánico de la Procuraduría Federal del Consumidor, publicado el 10 de julio de 2006, publicada en el DOF el 11 de agosto de 2006
23. Plan estratégico del programa Quién es Quién en los Precios (2010), Profeco.

Páginas de internet

24. <http://www.profeco.gob.mx> (28 nov. 2010)
25. <http://www.profeco.gob.mx> (28 nov. 2010)
26. <http://www.profeco.gob.mx/organigrama/organigrama.asp#> (26 mzo. 2010)
27. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?c=16787&s=est> (28 nov. 2010)
28. <http://www.banxico.org.mx> (28 nov. 2010)
29. <http://www.profeco.gob.mx/juridico/normateca.asp> (18 nov. 2010)
30. <http://www.tsp.gatech.edu/pla85900/index.html> (Enero – Febrero 2011)
31. <http://www.dma.fi.upm.es/gregorio/grafos/Descomposiciones/Algoritmos/Hamiltonianos.htm> (12 de marzo de 2012)

