



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

LOCALIZACIÓN MEDIANTE MODELOS DE GRAVEDAD Y MODELO DE  
REDUCCIÓN DE COSTOS APLICADO AL NEGOCIO DE GIRO ALIMENTICIO *FOOD*  
*TRUCK*

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. HORACIO MAURICIO QUIROZ SANDOVAL

TUTOR:  
DRA. ESTHER SEGURA PÉREZ  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

CIUDAD DE MÉXICO, Mayo 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Índice

<b>Introducción</b>	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Justificación	3
<b>Capítulo 1</b>	4
<b>Localización y transporte</b>	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Los <i>food trucks</i>	5
1.3 Modelos de localización	6
1.4 Planteamiento del problema	9
1.5 Formulación del problema	9
1.6 Causas	10
1.7 Consecuencias	10
1.8 Hipótesis	10
1.9 Marco metodológico	11
1.9.1 Definir el problema y también el planteamiento matemático con base en la programación lineal	13
1.9.2 Montaje del modelo matemático	14
1.9.3 Elaboración y solución de modelos matemáticos en Matlab y Excel	15
1.9.4 Validar el modelo, análisis de los resultados	16
<b>Capítulo 2</b>	18
<b>Teoría de localización</b>	18
2.1 Marco teórico	18
2.2 Modelos de localización-asignación	19
2.3 Orientación de la localización-asignación	20
2.4 Los sitios candidatos y sus combinaciones	20
2.5 Métodos de localización	22
2.5.1 Métodos cualitativos	22
2.5.2 Método Delfi	22
2.5.3 Métodos cuantitativos	22
2.5.4 Método de los factores ponderados	22
2.6 Instalación	23
2.6.1 Localización	23
2.6.2 Espacio discreto	23

2.6.3 Clientes	24
2.6.4 Demanda	24
2.7 Comportamiento	24
2.7.1 Suposición de requerimientos	24
2.7.2 Propiedades de soluciones factibles	24
2.8 Suposición de costo	25
2.9 El modelo	25
2.10 Weighting method (método de los factores ponderados)	25
2.11 Center of gravity method (método del centro de gravedad)	26
2.11.1 Teoría del lugar central y la localización de los servicios de Christaller	26
2.12 Teoría de los lugares centrales	27
2.12.1 Centralidad (principio)	27
2.12.2 Supuestos básicos	28
2.12.3 Umbral y rango del mercado	28
2.13 Modelo matemático de Christaller	29
2.13.1 Jerarquía de los lugares centrales	29
2.14 El modelo de Lösch	35
2.15 Método del centro de gravedad	42
2.15.1 Cálculo de distancias	43
2.15.2 Distancia rectangular	46
2.15.3 Distancia euclidiana	46
2.16 Centro de gravedad	47
2.16.1 Determinación del punto óptimo de localización	47
2.17 Modelos de localización	49
2.17.1 Modelos de localización discretos	50
<b>Capítulo 3</b>	52
<b>Modelación</b>	52
3.1 Modelo de Reilly	54
3.1.1 Adaptación del modelo de Reilly.	58
3.2 Modelo de Huff	63
3.3 Modelo matemático (minimización de costos de localización)	67

3.4 Planteamiento de algoritmo y su programación	70
(modelos matemáticos Reilly, Huff y reducción de costos en Matlab)	70
3.4.1 Programa en general (menú)	70
3.4.2 Modelo matemático de costos	71
2.4.3 Modelo de Huff	76
3.4.4 Modelo de Reilly	77
3.4.5 Modelo de Reilly (punto de indiferencia)	78
3.4.6 IDO: Investigación de operaciones (programa)	79
<b>Capítulo 4 Resultados</b>	80
4.1 Modelo de Reilly	80
4.2 Punto de indiferencia	83
Resultados	83
4.3 Modelo de Huff	85
4.4 Modelo de costos	87
4.5 Conclusiones	96
4.6 Recomendaciones	98
<b>Anexos</b>	99
Análisis de la demanda por el método de Holt:	99
Análisis de la demanda por el método de Holt (Hamburguesa básica).	99
Análisis de la demanda por el método de Holt (Hamburguesa de pollo).	99
Análisis de la demanda por el método de Holt (Hamburguesa doble).	99
Análisis de la demanda por el método de Holt (Baguette).	99
Análisis de la demanda por el método de Holt (Tacos).	99
<b>Bibliografía</b>	111

## Índice de figuras:

Figura 1	(Definición y planteamiento del problema.....)	17
Figura 2	(Sistema de Christaller).....)	30
Figura 3	(Demanda Lösch).....)	36
Figura 4	(Demanda individual Lösch).....)	36
Figura 5	(Curva de demanda Lösch).....)	37
Figura 6	(Elasticidad de la demanda Lösch).....)	38
Figura 7	(Curva de la demanda espacial individual Lösch).....)	38
Figura 8	(Mercado circular).....)	39
Figura 9	(Área de mercado).....)	39
Figura 10	(Equilibrio espacial entre empresas similares).....)	40
Figura 11	(Equilibrio de mercado Lösch).....)	41
Figura 12	(Distancias rectangulares y euclídeas).....)	45
Figura 13	(Distancias rectangulares).....)	46
Figura 14	(Distancia euclidiana).....)	47
Figura 15	basada del artículo: ("What You Should Know About Location Modeling" (Mark S.Daskin)).....)	49
Figura 16	basada del artículo: ("What You Should Know About Location Modeling" (Mark S. Daskin)).....)	51
Figura 17	(Mapa divisional y territorial de colonias Educación, Campestre Churubusco, Ex Ejido Culhuacán, Paseos de Taxqueña, Avante).....)	53
Figura 18	(Ubicación del camión de comida, Pancrazy'o food truck).....)	61
Figura 19	(Ubicación del camión de comida, Pancrazy'o food truck).....)	62
Figura 20	(Estructura del programa: ACostos.m).....)	75
Figura 21	(Estructura del programa: Huff.m).....)	77
Figura 22	(Programa en Matlab del modelo de Reilly).....)	82
Figura 23	(Programación de modelo de Reilly con punto de indiferencia).....)	84
Figura 24	(Programación del modelo de Huff).....)	86
Figura 25	(Programación del modelo de reducción de costos).....)	95

## Índice de tablas:

Tabla 1	Objetivo general	11
Tabla 2	Factores ponderados	19
Tabla 3	Capacidad del vehículo	44
Tabla 3.1	Precios de las gasolinas	46
Tabla 3.2	Distancia entre colonias de estudio	46
Tabla 3.3	Tiempo entre colonias de estudio	46
Tabla 3.4	Número de habitantes en las colonias de estudio	47
Tabla 3.5	Distancia en kilómetros entre colonias de estudio	48
Tabla 3.6	Distancia o puntos de indiferencia expresados en metros	48
Tabla 3.7	Distancia o puntos de indiferencia	48
Tabla 3.8	Importes de las ventas entre colonias de estudio	50
Tabla 3.9	Tiempo de viaje como variable de fricción entre dos puntos	55
Tabla 3.10	Datos de entrada del modelo matemático de costos	61
Tabla 3.11	Datos de entrada del modelo de Huff	67
Tabla 3.12	Datos de entrada del modelo de Reilly	68
Tabla 3.13	Datos de entrada del modelo de Reilly punto de indiferencia	69
Tabla 4.1	Datos de entrada y resultados del modelo de Reilly	71
Tabla 4.2	Resultados del modelo de Reilly punto de indiferencia	74
Tabla 4.3	Resultados del modelo de Huff	76
Tabla 4.4	Resultados y datos de entrada del modelo de costos	78
Tabla 4.5	Análisis de la demanda de cada producto por método de Holt	90

**Nota: Las tablas contenidas sin fuente en este trabajo de investigación fueron elaboradas por el autor.**

# Introducción

En este trabajo, se explora la problemática de la localización de los camiones de comida (*food trucks*) para generar mayor rentabilidad y, al mismo tiempo, minimizar los costos de operación.

En Estados Unidos, la venta ambulante de alimentos genera anualmente 650 millones de dólares en ingresos. En los próximos años, generará ganancias de 2.7 mil millones de dólares. La mayoría de las ciudades no está preparada para aprovechar esta expansión: muchas regulaciones fueron escritas cuando el modelo de proveedor móvil de alimentos eran los camiones de helados y los carritos de *hot dogs*.

El comercio de comida ambulante moderno tiene una diferencia sustancial: los *food trucks* utilizan vehículos equipados con cocinas de alta tecnología y dispositivos de saneamiento para proporcionar alimentos sofisticados y seguros (National League of Cities, 2018, p. 1). Por otro lado, ocupan una cantidad significativa de espacio y requieren más supervisión de salud y de seguridad<sup>1</sup> (National League of Cities, 2018, p. 3).

¿Qué opciones tienen los gobiernos locales para regularlos? ¿Cuál es la mejor manera de incorporarlos en la estructura de una ciudad?

La rápida expansión de la venta ambulante de comida se atribuye al deseo de los residentes de comida de calidad, valor y velocidad; a una demanda de alimentos frescos y locales; y a una preferencia por negocios pequeños y sustentables. A su vez, los vendedores usan el comercio ambulante como un medio para expandir sus oportunidades económicas y para enriquecer a las comunidades con bienes y productos que no están disponibles a través de los comerciantes del área. En cuanto a los *food trucks*, la recesión actual los ha hecho una opción atractiva para los restauranteros e inversionistas: son una alternativa más fácil y económica de abrir un negocio.

---

<sup>1</sup> Consultar: Food On Wheels. National League of Cities. P.1. <http://nlc.org/sites/default/files/foodtruckreport.pdf>

Las micro, pequeña y mediana empresas (MiPymes) constituyen la base de la economía mexicana. De acuerdo con datos del INEGI, en México hay alrededor de 4 millones 15 mil unidades empresariales. 99.8% son MiPymes y generan 52% del PIB y 72% del empleo en todo nuestro país<sup>2</sup> (Instituto PYME, 2011).

Aproximadamente, el 50% de las MiPymes en México fracasan por malos manejos. Es fundamental adquirir, asimilar y aplicar conocimientos que permitan establecer una correcta administración de los recursos. En específico, es necesario acudir a los modelos de localización.

En el territorio nacional, no existen tantas regulaciones gubernamentales a la industria de alimentos móviles, pues no se encuentra desarrollado ni segmentado el sector. Esto puede ser una ventaja, pues dicha “libertad” podría brindar más oportunidad de decisión y restringiría menos el modelo de localización que se propondrá en esta investigación.

## **Objetivo general**

**Optimizar la localización de puntos de venta móviles (*food trucks*)** a través de modelos de gravedad con el uso de herramientas de la Investigación de Operaciones minimizando los costos de operación.

## **Objetivos específicos**

**Recopilar información** de artículos y estudios del análisis del comportamiento de las matemáticas logísticas enfocadas a pronósticos de ventas y modelos de gravedad. También se consultarán foros dedicados a la implementación y desarrollo del negocio de los *food trucks* para tener un mejor contexto de la información, del lado científico, y del giro del negocio, del lado aplicativo.

---

<sup>2</sup> Consultar: Instituto PYME. [http://institutopyme.org/?option=com\\_content&view=article&id=134&Itemid=177](http://institutopyme.org/?option=com_content&view=article&id=134&Itemid=177)

**Pronosticar y caracterizar la demanda** por cada lugar de estudio y por tipo de producto. Se utilizarán datos de un negocio de comida móvil (Pan Crazyo's Food Truck) para tener pronósticos de demanda reales. Por un lado, se proyectará y caracterizará la demanda por tipo de producto y, por otro, se caracterizarán las posibles opciones para localizar el *food truck*. Con esto, se pueden generar datos para saber cómo se comporta el negocio realmente en cuanto a ventas y a demanda. Este será el punto de referencia para proyecciones en otras localizaciones.

**Detectar los mejores puntos de venta.** Con el estudio y análisis se pueden obtener datos para comparar el estado actual del negocio con un pronóstico de ventas y demanda en otra localización. Así se podrá decidir dónde se puede tener un mejor comportamiento de negocio.

**Programar un modelo matemático en Matlab.** Se desarrollará un compilado de software por modelo matemático usado en este estudio (Reilly, Reilly punto de indiferencia, Huff, Modelo de costos) para encontrar las mejores soluciones con respecto a la demanda y a los costos.

## Justificación

Hoy en día, no existe literatura suficiente para la correcta localización de *food trucks* en México. Es necesario diseñar un modelo que calcule su mejor ubicación y que se base en una medida de eficiencia. Con esto, las MiPymes se verán altamente beneficiadas, ya que su éxito depende en gran medida de su correcta ubicación.

# Capítulo 1

## Localización y transporte

### 1.1 Antecedentes

Con la Revolución Industrial, se sustituyó cierta mano de obra por maquinaria específica, avanzada y especializada; la evolución del transporte, la cadena de montaje y los horarios laborales rígidos ocasionaron que las personas coincidieran en los traslados a las zonas laborales y que se empataran en sus descansos. Esto marcó ciertas tendencias; una de estas es la comida rápida.

Desde sus inicios —ya sea con los hermanos McDonald y su puesto de hamburguesas en 1940 o, según otras fuentes, con los romanos o la dinastía Tang (618-907 d.C.)—, la comida rápida se identificó por su facilidad de consumo, por la rapidez de preparación en establecimientos móviles y generalmente callejeros, y por su bajo costo (lo que la convirtió en sinónimo de comida poco saludable). Con el desarrollo industrial, el tiempo para comer se vio disminuido y, para el siglo XX, la comida rápida se volvió una de las formas más comunes de alimentarse <sup>3</sup>(Pérez, 2015)

A principios del siglo XX, cuando productos como el huevo, la leche y el hielo empezaron a ser distribuidos diariamente a las casas, la industria restaurantera —en especial, la de la comida rápida— vio futuro en este concepto y comenzó a vender comida por teléfono y a enviarla a domicilio. En 1989, entró en México el primer restaurante de este tipo: la cadena americana Domino's Pizza. Actualmente, casi cualquier empresa, cadena de comida rápida o restaurante cuenta con servicio a domicilio y recoge pedidos por teléfono, internet o en sus locales.

---

<sup>3</sup> El periódico digital de los restaurantes. Diego Coquillat.  
<https://www.diegocoquillat.com/food-trucks-la-historia-de-los-camiones-de-comidas/>

## 1.2 Los *food trucks*

Los *food trucks* han llamado la atención de buena de la industria alimentaria porque, al atender una demanda dinámica y al poder cambiar de ubicación, descartan uno de los gastos más importantes en un modelo de negocio: la renta fija.

Su historia se remonta a Estados Unidos en 1866, cuando el rancharo Charles Goodnight se preparaba para mover una gran cantidad de ganado de Texas a Nuevo México. Sería un viaje de ocho semanas y, como buena parte del viaje sería por el desierto, Goodnight preparó una caja con utensilios, condimentos y alimentos básicos.

Tiempo después, en las grandes ciudades, los tranvías que caían en desuso se aprovechaban para improvisar pequeños cafés. Algunos hasta se decoraban en estilo *vintage* para la época (como sucede hoy en día). Estos pequeños restaurantes improvisados pronto perdieron sus ruedas y se convirtieron en los famosos *diners*. En 1936, la marca Oscar Mayer comenzó a vender sus productos en carros con forma de salchicha y, en 1950, surgieron los primeros camiones heladeros <sup>4</sup>(Pérez, 2018). El primer *food truck* como lo conocemos ahora fue idea de Raúl Martínez, quien convirtió uno de esos viejos camiones de helados en su restaurante móvil en Los Ángeles.

Los *food trucks* no explotaron hasta el siglo XXI. Algunos se lo atribuyen a la recesión económica: muchos chefs se quedaron sin trabajo y era más sencillo mantener un camión que un restaurante fijo. Ellos fueron los pioneros que le dieron ese toque de *cuisine* al mezclar la comida cotidiana con platillos exóticos.

---

<sup>4</sup> El periódico digital de los restaurantes. Diego Coquillat.  
<https://www.diegocoquillat.com/food-trucks-la-historia-de-los-camiones-de-comidas/>

Es difícil relacionar el mercado y el giro de negocio de los food trucks en México con el de EUA, ya que en México no existen regulaciones gubernamentales para este giro de negocio, a lo más se pueden encontrar regulaciones de higiene y calidad (Cofepris), cuando en EUA es indispensable aprobar varias las regulaciones para poder instaurar este tipo de modelos de negocio.

En cuanto a la población, también se comportan de manera diferente, pues son diferentes costumbres e ideologías, lo cual implica que la gente tenga gustos diferentes, son otro tipo de economía, lo cual también implica que la situación sea diferente.

En cuanto a la parte de las reglas viales y vehiculares, de igual modo es una serie de regulaciones muy diferentes entre ambos países, lo cual en el caso de México puede ser una ventaja para los interesados en el modelo de negocio y una desventaja para el gobierno.

En cuanto a las personas interesadas en México por el modelo de negocio, en el aspecto de leyes y regulaciones, es más fácil poder montar el modelo de negocio, a que son mínimas las condiciones para montar este tipo de modelos de negocio.

Las desventajas en México en la perspectiva gubernamental, es que, no se tiene un orden y control de este giro de negocio y muchos otros más, lo cual impacta en menores regulaciones (sanitarias), no se tiene un orden y control vial y vehicular muy definido, lo cual impacta en condiciones de tráfico, áreas y saturación de mercado.

### **1.3 Modelos de localización**

Dónde se ubica un negocio es una decisión que los dueños de *food trucks* deben responder todos los días. El modelo clásico fue ofrecido por el matemático y economista Harold Hotelling, en 1929. Él consideró dos vendedores de helado que estacionan sus carros a una distancia de una milla (1,609.34 metros) sobre la playa. Suponiendo que ofrecieran la misma calidad, el vendedor de la izquierda serviría a todos los asistentes de su lado izquierdo y el vendedor de la derecha, a

los de la derecha. Hotelling encontró que la competencia llevará a los vendedores a congregarse en el centro para maximizar sus beneficios.

El número de clientes es una función de muchas variables, como el día de la semana y la ubicación elegida por el camión. El tráfico de clientes se ve afectado por el número y la diversidad de otros camiones y por la frecuencia con la que el camión se ha estacionado en la ubicación en particular. Al igual que los vendedores de helados, los *food trucks* deben (y lo hacen) elegir sus ubicaciones en respuesta a estas dinámicas para maximizar sus ganancias.

Chad Syverson, investigo las interacciones entre la estructura de la empresa, la estructura del mercado y la productividad. Según sus estudios, en lo que se podría llamar interacción estratégica de los *food trucks*, hay tres cosas a considerar:

- **El costo** es bastante sencillo, a menos que haya grandes diferencias en las cuotas de estacionamiento o en los tiempos de viaje: no importa dónde se encuentre el camión, siempre estará donde se prepara la comida y sus costos serán los mismos.

- **La demanda** es más interesante. Se quiere estar donde la gente busque algo para comer, pero los competidores también querrán estos puntos. Hay un equilibrio entre estar donde está la demanda y estar un poco más lejos, pero con menos competencia. Eso es especialmente importante porque los *food trucks* pueden literalmente perseguir su negocio.

En términos de interacción estratégica, una característica interesante del mercado de camiones de alimentos es que la demanda puede ser generada por la presencia de otros vendedores. Sucede como en los patios de comida estacionaria en los centros comerciales: los restaurantes compiten entre sí, pero el comedor es un imán para todos: se convierte un lugar donde la gente va porque quieren opciones. Se llama economía de aglomeración de densidad de los vendedores.

- En cuanto a la **competencia**, la situación ideal es ser el único que vende un tipo de alimentos; se quiere ser el único que *food truck* ofrece comida tailandesa, por ejemplo. La excepción es para las marcas que son tan populares que son un destino en sí mismos. En ese caso,

es mucho menos atractiva la densidad del modelo de patio de comidas porque pueden atraer su propio tráfico sin tener que enfrentarse a la competencia.

El caso de los *food trucks* es completamente diferente de, por ejemplo, los minoristas que se encuentran cerca uno del otro; ellos, en realidad, pueden complementarse. Pero en el mercado de los alimentos, un almuerzo es un sustituto completo para otro. Aquí el argumento es que, si se localiza un *food truck* junto a otros, se aprovechará el poder de consumo colectivo. El factor humano aquí tampoco es menor: muchas veces la gente simplemente no sabe lo que quiere cuando va a comer, por lo que visitarán un lugar con muchas opciones.

Otra consideración importante es el entorno regulatorio. En Chicago, por ejemplo, los camiones de alimentos deben estar a 200 pies de cualquier restaurante o tienda con una licencia comercial de alimentos, esto incluye a tiendas de conveniencia. La única excepción es un pequeño número de zonas designadas para camiones de alimentos. Los propietarios, entonces, tienen que encontrar la intersección correcta de un lugar designado o un lugar que cumpla con esas regulaciones. No es que las normas sean duras; es sólo que hay un número limitado de lugares financieramente viables.

Para Drew Davis, con una función de entrada y salida, se puede revisar un mapa de transporte público y ver cuáles estaciones tienen el mayor número de líneas que pasan a través de ellas. Estas tienden a correlacionarse con un alto volumen de tráfico a pie. Es simple: ahí es donde se van a obtener buenos resultados.

Por último, hay que tomar en cuenta el tiempo. Por ejemplo, los fines de semana, cuando el comportamiento de las personas es menos predecible, decidir dónde ubicar el camión implica una gran cantidad de prueba y error. Realmente no es posible usar los datos demográficos del vecindario para averiguarlo. Es necesario rastrear los patrones de comportamiento y encontrar un lugar conveniente para insertarse en la ecuación de la ubicación de algún punto de venta<sup>5</sup>(National League of Cities, 2018).

---

<sup>5</sup> Food On Wheels. National League of Cities. <http://nlc.org/sites/default/files/foodtruckreport.pdf>

## **1.4 Planteamiento del problema**

Se define la localización de la siguiente manera: “El proceso de elegir la ubicación geográfica para realizar las operaciones de una empresa”. Cuando una empresa desea expandir sus instalaciones o cuando se desea crear una nueva empresa, el principal problema que se enfrenta es la localización, debido a los muchos elementos que deben ser tomados en cuenta. La localización óptima de las instalaciones depende del producto a fabricar, del servicio a ofrecer o la tecnología a utilizar. El sitio elegido debe permitir la adquisición de materiales, la realización del proceso productivo y la entrega del producto al cliente con un costo total reducido.

## **1.5 Formulación del problema**

Ya que los costos pueden ser muy altos, la empresa debe tener en cuenta los factores relacionados con la localización: los suministros de materia prima, la cercanía de mano de obra, la existencia de servicios públicos, la distribución y la comercialización a los clientes y el mercado.

Es una decisión que no se debe tomar a la ligera, pues el cumplimiento de los objetivos depende en gran porcentaje de qué tan buena es la ubicación de una empresa. La elección es complicada: se debe hallar la ubicación más ventajosa y que, al mismo tiempo, minimice los costos de inversión.

En un primer momento de este trabajo, se organizarán las diferentes alternativas escogidas para la localización. Tras determinar el impacto de los costos, se descartarán las que no cumplan con todos los factores. Después, se realizará un análisis más detallado de las mejores opciones y se les comparará con los factores más importantes. Se realizará después un análisis cuantitativo y cualitativo dependiente del factor. Con el resultado del análisis, se obtendrán una o varias alternativas de las mejores localizaciones. Estas alternativas se compararán entre sí para determinar la mejor ubicación dependiendo de la actividad económica de la empresa o proyecto.

## **1.6 Causas**

El poco o nulo conocimiento sobre ciencia por parte de los administradores y dueños de MiPymes y su falta de interés para aplicarla y tener una mejor toma de decisiones es el factor principal. En su mayoría, toman decisiones basadas en un conocimiento empírico.

Es poca la interacción con la Investigación de Operaciones y otro tipo de ciencias que abordan los entornos comerciales de giro alimenticio en México. No hay un desarrollo en el estudio sobre temas de localización de puntos de venta de comida móviles.

## **1.7 Consecuencias**

De tomar una mala decisión en la localización, el negocio podría enfrentarse al distanciamiento del mercado objetivo, a un abastecimiento limitado de materias primas, a la indisponibilidad de mano de obra calificada, a mayores costos de transporte y, lo más grave, al fracaso del proyecto.

## **1.8 Hipótesis**

Uno de los puntos principales de la instauración y creación de un modelo de negocio es que la localización de este se dice, es el 50% de su éxito o fracaso. De la ubicación se pueden derivar muchos aspectos del negocio: qué producto o servicio espera brindar, qué mercado piensa atacar, la competencia de servicios y productos que se tienen en las cercanías; también es posible pronosticar cuánta demanda se espera cubrir, los precios de los productos, el tiempo estimado para reabastecer los inventarios, cuánto y qué tipo de personal es necesario para brindar el servicio, cuáles los mejores horarios para la venta de los productos, etcétera.

Este modelo permitirá desarrollar un estudio de localización con variables matemáticas, tomando en cuenta los factores mencionados (materia prima, mano de obra, servicios públicos, distribución, comercialización, etcétera). De esta manera, se busca elegir los lugares óptimos, con mayor pronóstico de ventas.

En este caso de estudio, se medirá qué tan buena es la localización actual del *food truck* Pan Crazyo's, en la colonia Educación (Coyoacán, Ciudad de México). También se harán pronósticos de la demanda para otras posibles ubicaciones usando datos generados por el mismo camión.

## 1.9 Marco metodológico

Se elaboraran modelos matemáticos de localización (modelos de gravedad) que contengan todas la variables y restricciones a considerar para la formulación de la función objetivo y el modelo. Estos se ejecutarán en Solver, de Excel, y Matlab.

Se realizarán las siguientes actividades:

**Recolección de información.** Se hará mediante investigación por Internet (artículos y libros), en bibliotecas, estudios de mercado y datos de ventas generados por el camión de comida. Esta información debe generarse en los posibles sitios de estudio.

**Análisis de información.** Se utilizarán herramientas como Excel, Matlab y la modelación matemática.

**Análisis financieros.** Se examinará cada escenario de la localidad móvil para poder tener perspectivas lo más cercanas a la realidad y hacer mejor la toma de decisiones.

**Informe final.** Se redactará un documento con la información recolectada, cómo fue su aplicación y su respectivo análisis de resultados y observaciones.

**Tabla 1 (objetivo general)**

Objetivo general		
Modelos matemáticos para localización móvil de modelos de negocio de giro alimenticio		
Objetivos Específicos	Actividades	Herramientas
Definir el problema y también el planteamiento matemático con base en la programación lineal.	Se verificará toda la información de los modelos matemáticos para encontrar los que mejor se adecuen a la mejor localización para nuestro caso de estudio.	Libros, artículos, información de internet enfocada a la localización por medio de programación lineal.
Realizar un estudio para poder obtener la información necesaria para su análisis y su diagnóstico, en orden de conocer y suministrar los requerimientos para el montaje de un modelo matemático.	Validar la información de todas las diferentes fuentes e su vez identificar los factores para realizar un estudio de localización y definir los mejores lugares para su instalación.	Investigaciones de internet, libros y artículos.
Elaborar, y proponer las correctas soluciones al modelo matemático hecho con las herramientas Matlab y Excel.	Entender el funcionamiento de cada modelo, elaborarlo y correrlo con distintas herramientas y así identificar todas las variables establecidas que interactúan y encontrar su correcta aplicación y solución.	Ejemplos y ejercicios en libros, artículos, páginas de internet, foros web, asesoramiento con un programador, enfocado en la programación lineal, Matlab y Excel.
Validar el modelo por medio del análisis de los resultados.	Validar los resultados de Matlab y Excel. Concluir si la solución es satisfactoria. Analizar si cumple con las condiciones para el problema planteado.	Matlab y Excel.

**En la tabla 1 (objetivo general):** Se plasman las ideas y aspectos generales más importantes del proyecto, en conjunto con las actividades y herramientas que se usaran para cumplir estos objetivos.

### **1.9.1 Definir el problema y también el planteamiento matemático con base en la programación lineal**

Se debe estudiar bien la problemática que se presenta en el caso de estudio, esto con el motivo de conocer en lo mejor posible la situación actual, y con esto poder entender como funciona y a su vez como se comporta el modelo de negocio. Una vez atendida esta necesidad, se puede conocer más acerca de la incertidumbre y problemática, la cual es, encontrar la mejor ubicación del modelo de negocio o camión de comida, que optimice en lo posible toda su operación y lo que esta conlleva, y también aumentar las ventas y las ganancias.

- 1- Se consultaron medios de información como libros, artículos e información de internet, respecto a modelos matemáticos que ayuden a encontrar mejores localizaciones. Hay muchos tipos de localización, todo depende de que se quiera buscar o localizar, se pueden conocer desde las mejores ubicaciones, las peores, o con ciertas características en específico, todo depende de lo que se necesite localizar.
- 2- Los modelos que mejor se adaptaron a las necesidades del problema, fueron los modelos de gravedad, en estos se pueden encontrar, como variables de fricción los porcentajes de población en ciertos sectores o lugares (colonias), como también se puede usar el tiempo, esto como una condición de atracción de población y en su caso clientela, que reaccionara acorde a la distancia o al tiempo de traslado de su origen a los puntos de venta.

Un factor importante a mencionar, es que, los modelos de gravedad son modelos sencillos que pueden programarse en Excel o Matlab y proporcionar información importante a las personas que pueden utilizarlos, esto facilita el comprensión y uso de las herramientas desarrolladas para personas que no son muy cercanas al uso de modelos matemáticos simples, en este caso los dueños o las personas que laboran en negocios de giro alimenticio, que necesiten localizar sus servicios públicos o privados, móviles o fijos en su día a día.

- 3- Por lo que se genero un estudio, usando los datos reales de seis meses de ventas de un camión de comida, localizado en la delegación Coyoacán en la colonia Educación, con la finalidad de poder generar pronósticos que puedan ayudar a encontrar ¿en que sitios se podría tener una mayor afluencia de personas y con esto de clientela?, incrementando las ganancias y su vez poder comparar información generada por otros métodos acorde a los datos ingresados en las variables, para obtener resultados con bases matemáticas que ayuden a la toma de decisiones.

### **1.9.2 Montaje del modelo matemático**

- a) Identificar todos los factores y variables necesarias que pueden influir en el comportamiento del modelo, en este caso se tuvieron tres modelos de localización (Reilly, Reilly punto de indiferencia y Huff), junto con un modelo de estimación y reducción de costos.

Para los modelos de localización, la información giro en torno a la población de cada lugar en estudio y comparación, como las distancias entre colonias y el tiempo de trasladarse de un lugar a otro. Para el modelo de reducción de costos, se tubo un análisis de los gastos generales (gastos operativos, gastos de transporte, gastos fijos), del camión de comida Pancrazyo's food truck.

- b) Validar la autenticidad y uso de datos correctos, para poder evitar errores por mal uso o mala interpretación de la información. Para este caso se usaron los valores reales de seis meses de ventas (histórico de cada producto que se vende, para su uso en los pronósticos de demanda), más los datos de los habitantes de cada colonia de estudio, distancias y tiempos (modelos de localización, Reilly, Reilly punto de indiferencia y Huff), la información se sacó de bases y de portales de gobierno de la Ciudad de México, también se usaron los valores de los gastos generales (gastos operativos, gastos de transporte, gastos fijos) del camión de comida para el modelo de reducción de costos.

- c) Realizar el estudio de localización, para verificar que el uso y aplicación de los modelos matemáticos seleccionados sea el correcto, se debe entender su elaboración, sus valores objetivo y sus variables, con la validación y verificación correcta de la información obtenida y proporcionada.
- d) Ya con la información que se obtuvo, se puede proceder al análisis de los resultados generados por este estudio, para poder comparar números y valores, y así tomar las mejores decisiones respecto a las mejores ubicaciones de los puntos de venta de comida.

También con el modelo de reducción de costos, se puede tener una mejor idea del estado actual de los gastos generales del negocio y así poder tener una mejor perspectiva o un mejor panorama actual respecto al comportamiento del mismo, y así poder tomar las decisiones.

### **1.9.3 Elaboración y solución de modelos matemáticos en Matlab y Excel**

Se desarrollo y elaboro el modelo matemático con ayuda de Excel, Solver y Matlab.

- En Excel se desarrollaron las formulas de cada modelo de localización (Reilly, Reilly punto de indiferencia y Huff), se dejaron las plantillas de los estudios realizados para poder ser usados posteriormente, solo se deben ingresar los nuevos datos en su respectivo orden.
- En Solver se corrieron los pronósticos de demanda de cada producto, y con esto generar proyecciones de ¿cómo? se podrían comportar las ventas en un futuro.
- En Matlab se tubo la asesoría de un programador y se desarrollaron todos los modelos (localización y reducción de costos), para verificar, validar y comparar los resultados, además de generar una sencilla herramienta que funciona como una pequeña plataforma

para poder ingresar sencillos datos comprensibles para todas las personas y así poder generar resultados que puedan ayudar a la toma de decisión de la ubicación.

Para entender cada modelo matemático, fue necesario leer e investigar diversos artículos referentes al tema de localización de instalaciones en general, para poder comprender más al respecto y también entender, usar y adaptar modelos de localización acorde a nuestro caso de estudio.

#### **1.9.4 Validar el modelo, análisis de los resultados**

Para la validación de los modelos de localización realizados en Excel, se usaron y adaptaron los modelos de Reilly y Huff, con uso de datos de fuentes gubernamentales como el INEGI y se compararon los resultados con los modelos desarrollados en Matlab.

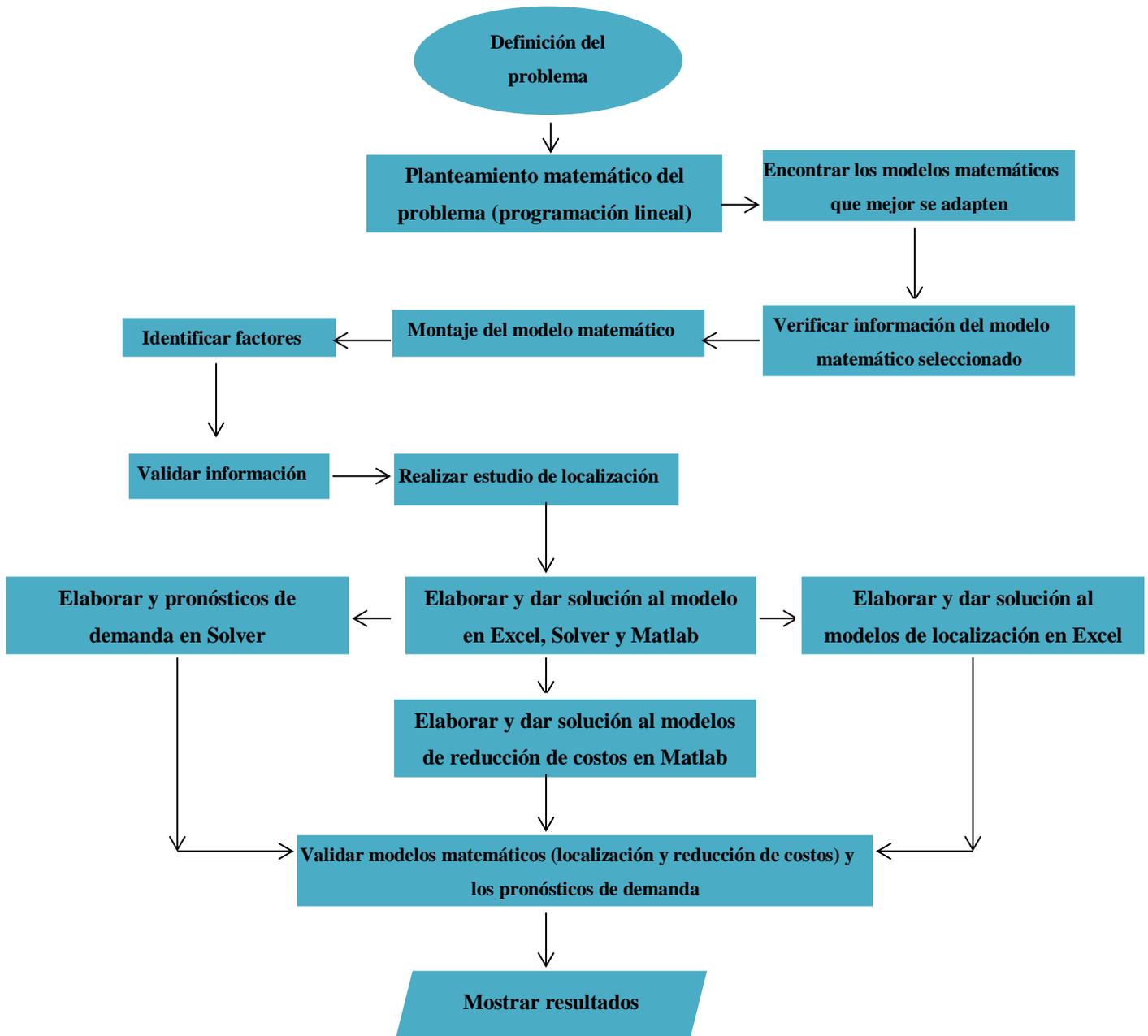
Para los modelos generados en Matlab, se tubo la asesoría de un desarrollador independiente para programar los modelos matemáticos en el software, corriendo y validando los resultados de cada modelo en comparación con los resultados de las plantillas generadas en Excel, excepto el modelos de reducción de costos, el cual solo se desarrollo en Matlab.

Este tipo de modelos localización puede ser usado de diversas formas, dependiendo de que se requiere, solo se debe entender el concepto y principio para el correcto uso de las variables, el principio es el mismo (variables de atracción).

Las herramientas generadas en este estudio son de fácil uso, ya que el principio de este tipo de modelos de gravedad es sencillo, de este modo la información generada por este estudio puede ser usada de manera sencilla.

Figura 1. Definición del problema y planteamiento matemático (programación lineal).

Diagrama de pasos generales para realizar los modelos de localización, reducción de costos y también los pronósticos de demanda.



# Capítulo 2

## Teoría de localización

### 2.1 Marco teórico

Según Arya y Lardner (2002), la programación lineal (PL) permite definir un modelo matemático que optimiza la función objetivo en términos de maximizar/minimizar el resultado. Para Richard, Jacobs y Aquilano (2007), es el producto de la relación y los alcances/restricciones de las variables consideradas en el modelo propuesto.

Entre los siglos XVII y XVIII, se empezaron a cimentar los inicios de la programación lineal. Grandes matemáticos, como Isaac Newton, estuvieron interesados en la solución de funciones con restricciones, pero fue Jean Baptiste-Joseph Fourier (1768-1830) quien estructuraría lo que hoy se conoce como programación lineal y sus aplicaciones.

Koopmans y Kantorovitch, entre los años 1941 y 1942, plantearon el primer problema de transporte basado en el modelo de programación lineal. Este avance marcó el inicio del desarrollo vertiginoso de este modelo matemático. Desde la Segunda Guerra Mundial, esta herramienta tuvo sus primeras aplicaciones y optimizó el transporte de suministros y pertrechos a las líneas de batalla y dio excelentes resultados. Luego, esta técnica fue extendida al campo Industrial <sup>6</sup>(Daskin y Wallace, 1992).

La programación lineal permite resolver muchos de los problemas que se enfrentan en la Investigación de Operaciones.

---

<sup>6</sup> Forecast horizons and dynamic facility location planning. Mark S. Daskin y Wallace Hopp. 1992.  
<https://www.researchgate.net/publication/226210429>

## 2.2 Modelos de localización-asignación

El inicio de estos estudios es la teoría de los lugares centrales propuesta por Walter Christaller, en 1933, como modelo de localización espacial óptima de núcleos urbanos a nivel regional. Para diseñar una formulación, se manejan los conceptos de umbral y alcance deductivos, y así se explican ciertas regularidades empíricas que se presentan en la sistematización de Beavon (1980).

La distancia y los costos de traslado son los principales factores de las configuraciones territoriales.

La teoría de la localización genera un doble objetivo: encontrar la localización óptima de instalaciones de servicios y determinar la asignación de demanda en dichos centros.

A partir de esto, se desarrollan modelos de localización-asignación, que, de acuerdo con Ramírez y Bosque Sendra (2001), responden a las siguientes características:

- Son modelos matemáticos, ya que este lenguaje es apto para captar y simular en lo mayor posible la realidad.
- Son modelos meso-espaciales, pues, debido a los aspectos por resolver, se encuentran claramente delimitados por un territorio.
- Son modelos normativos porque se busca la mejor solución a un problema.

Con estos modelos, en este trabajo se intenta evaluar las localizaciones actuales de los centros de servicio con base en la distribución de la demanda y se busca generar alternativas para lograr una distribución espacial más eficiente y equitativa. Posteriormente, se investigan las

ubicaciones óptimas (localización) y se determinan las mejores vinculaciones de la demanda (asignación) <sup>7</sup>(Parra, 2010).

## 2.3 Orientación de la localización-asignación

La orientación que se le brindará en este trabajo al modelo de localización y asignación estará influenciada por la naturaleza del servicio. Si el servicio es privado, se apuntará a mejorar su *eficiencia territorial o espacial*; en cambio, si es un servicio público, se mejorará su equidad de territorio o espacio. Ambos se refieren al mejoramiento de acceso al servicio como la suma del total de desplazamientos (valores de accesibilidad).

Por lo tanto, se contemplarán diferentes posibilidades para la aplicación metodológica, según sea el objetivo en la localización de los centros de negocio <sup>8</sup>(Food Truck Latino).

## 2.4 Los sitios candidatos y sus combinaciones

Los modelos de localización y asignación tienen una oferta distribuida de manera puntual, una demanda que, simplificada, se asigna a un centroide para cada área y una red de transporte que las vincula. La aplicación de métodos que tienden a la búsqueda de nuevas localizaciones para ofrecer cierta oferta debe considerar en primera instancia la determinación de posibles sitios candidatos —una cantidad de puntos de selección— con la finalidad de elegir los mejores resultados.

Existen dos posibilidades para la consideración sitios candidatos: obtenerlos mediante procedimientos de superposición temática y técnicas de evaluación multicriterio, o considerar cada centroide de demanda como un posible sitio para la instalación.

---

<sup>7</sup> Revisión del estado del arte en modelos de localización y relocalización de vehículos para atención de emergencias. Oscar Javier Parra Ortega. 2010

<sup>8</sup> Food Truck Latino. [www.foodtrucklatino.com](http://www.foodtrucklatino.com)

Estas técnicas se han desarrollado ampliamente en Buzai y Baxendale (2006) y la utilización de centroides de áreas como sitios candidatos ha sido estudiado metodológicamente por Fotheringham *et al.* (1995).

Para no evaluar infinitas localizaciones, los modelos trabajan con las combinaciones de  $p$  centros en  $n$  puntos candidatos, siendo  $p < n$ , en donde  $p$  serán los mejores sitios obtenidos (Church y Sorensen, 1994; Lea y Simmons, 1995).

El principal tratamiento heurístico cumple los siguientes pasos:

- Selecciona aleatoriamente una solución inicial.
- Asigna la demanda a la solución.
- Calcula los valores de solución de la función objetivo.
- Sustituye aleatoriamente un sitio candidato por otro.
- Calcula los valores de solución de la función objetivo.
- Si el segundo valor es mejor, usa este; si es peor, se queda con el primero.
- Vuelve a realizar el procedimiento hasta que no encuentre un valor mejor en la solución.

El algoritmo continua calculando hasta que no puede encontrarse una mejor solución, pero como esta quizá no sea la mejor global, generalmente el procedimiento se repite varias veces partiendo de distribuciones aleatorias. El proceso finaliza cuando se repite una misma solución, pero si luego de los varios procedimientos, se encuentran soluciones diferentes, solo se elige la mejor, aquella que se aproxima más a la función objetivo <sup>9</sup>(Araneda y Moranga).

---

<sup>9</sup> La decisión de localización en la cadena de suministro. Raúl Humberto Araneda Martínez y Reinaldo Javier Moraga Suazo. Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

## **2.5 Métodos de localización**

### **2.5.1 Métodos cualitativos**

Buscan dar importancia a los gustos o deseos subjetivos de una localización que quede cerca o lejos de otra; los criterios que prevalecen son la comodidad o los accesos para la atención al cliente.

### **2.5.2 Método Delfi**

Es aplicado en situaciones más complejas de localización de instalaciones y distribución de plantas.

### **2.5.3 Métodos cuantitativos**

Se valen de las herramientas y los modelos matemáticos para obtener un resultado cercano al óptimo y apoyar la toma de decisiones en lo referente a la localización de instalaciones.

### **2.5.4 Método de los factores ponderados**

En este método se relacionan los factores relevantes (regulación gubernamental, ambiental, cultural, clima, disponibilidad de materias primas, número y cercanía de proveedores, sistemas de transporte, mercado y costo de la mano de obra, tecnología disponible, proximidad de los clientes, tamaño del mercado, costo del terreno, costos de construcción/alquiler, servicios públicos, ambiente para los negocios, mercado financiero, tráfico vehicular, número y nivel de competidores, exenciones tributarias, etcétera). Se asigna un peso a la importancia relativa de cada factor y una escala de calificación de los factores, que luego serán evaluados y calificados. Finalmente se decidirá, de acuerdo con la calificación de factores, la localización que mayor puntaje obtenga.

Dentro de los problemas de localización se pueden identificar tres elementos esenciales: instalaciones (conjuntos de objetos que serán localizados para ofrecer un servicio o producto) localizaciones (conjunto de posibles puntos para situar las instalaciones) y clientes (usuarios de las instalaciones que demandan ciertos servicios o productos) <sup>10</sup>(Sánchez, 2003; <sup>11</sup>Moore, 2000).

## **2.6 Instalación**

Se debe determinar cierto espacio y posición para optimizar su relación con respecto a otros objetos ya existentes. Otra propiedad importante para las instalaciones está dada por su tipo; esto especifica sus características (capacidad, servicio y consideraciones sobre su estructura).

Los modelos también se pueden diferenciar de acuerdo a servicio sencillo o multiservicios.

Algunos de los problemas de localización también pueden clasificarse como capacitados o no capacitados.

### **2.6.1 Localización**

Es el lugar físico en donde se va a ubicar la instalación. El conjunto de ubicaciones es comúnmente llamado espacio-solución y se puede representar de manera discreta.

### **2.6.2 Espacio discreto**

Cuando se especifica una lista de posibles lugares para ubicar instalaciones, se proporciona flexibilidad, ya que es posible incorporar características geográficas y económicas al modelo.

---

<sup>10</sup> Técnicas Participativas Para La Planeación. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero. 2003

<sup>11</sup> Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Jeffrey H Moore. Prentice Hall. 2000

### **2.6.3 Clientes**

Se asume que los clientes se distribuyen uniformemente o que se localizan en un punto específico o en los vértices de una red.

### **2.6.4 Demanda**

A cada cliente se le asigna un valor que expresa la cantidad de servicio que requiere. Este representa la cantidad de producto o servicio requerido por un usuario o por un área o región geográfica.

## **2.7 Comportamiento**

En algunos casos, el cliente es libre de escoger desde cuál instalación desea ser atendido. También los clientes se pueden comportar de manera individual o grupal.

En general, los problemas de transporte se ocupan (en forma literal o imaginaria) de la distribución desde cualquier grupo de centros de suministro (orígenes) y hacia cualquier grupo de centros de recepción (destinos) para que se minimice el costo total de distribución.

### **2.7.1 Suposición de requerimientos**

Cada origen tiene un suministro fijo de unidades, que tiene que distribuirse entre los destinos. Cada destino tiene una demanda fija de unidades, que tiene que recibirse desde los orígenes.

### **2.7.2 Propiedades de soluciones factibles**

Un problema de transporte tendrá soluciones factibles sí y solo si la suma de sus recursos es igual a la suma de sus demandas (equilibrio entre suministro total de todos los orígenes y la demanda total de todos los destinos).

En algunos problemas reales, los recursos en realidad representan cantidades máximas (y no cantidades fijas) para distribuir.

## 2.8 Suposición de costo

El costo de distribuir unidades de cualquier origen a cualquier destino es directamente proporcional al número de unidades distribuidas. Por lo tanto, este costo es el costo unitario de distribución por el número de unidades distribuidas.

## 2.9 El modelo

Cualquier problema se ajusta al modelo de un problema de transporte si se puede describir por completo en términos de una tabla de parámetros (origen-destino: costos, recursos, demanda) y satisface tanto la suposición de requerimientos como la suposición de costo. El objetivo es minimizar el costo total de distribuir las unidades <sup>12</sup>(Moore, 2000).

## 2.10 Weighting method (método de los factores ponderados)

Este método realiza un análisis cuantitativo en el que se compararan entre sí las diferentes alternativas para determinar localizaciones válidas. El objetivo del estudio es buscar varias localizaciones aceptables. En cualquier caso, otros factores más subjetivos (como las propias preferencias de la empresa), determinarán la localización.

Se presentan los pasos a seguir:

1. Determinar una relación de los factores relevantes.
2. Asignar un peso a cada factor que refleje su importancia relativa.
3. Fijar una escala a cada factor. Ejemplo: 1-10, o bien, 1-100 puntos.
4. Hacer que las personas decisoras evalúen cada localización para cada factor.

---

<sup>12</sup> Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Jeffrey H Moore. Prentice Hall. 2000

5. Multiplicar la puntuación por los pesos para cada factor y obtener el total para cada localización.
6. Hacer una recomendación basada en la localización que haya obtenido la mayor puntuación, sin dejar de tener en cuenta los resultados obtenidos a través de métodos cuantitativos.

**Tabla 2 (método de factores ponderados), (Asuad, 2014).**

Factores	Peso relativo (%)	Alternativas		
		A	B	C
Proximidad a proveedores				
Costos laborales				
Transportes				
Costos Gubernamentales				
Costos de instalación				
Total				

**En la tabla 2 (método de factores ponderados):** Se califica cada criterio considerado para evaluación, al final la puntuación total para cada alternativa se calcula como la suma de las puntuaciones para cada factor, ponderado según su importancia relativa.

## 2.11 Center of gravity method (método del centro de gravedad)

### 2.11.1 Teoría del lugar central y la localización de los servicios de Christaller

El primer teórico que discutió el sistema urbano fue Walter Christaller, en 1933, al notar las diferencias de distribución en las ciudades y en los poblados en el sur de Alemania. Christaller pensó que la distribución de las ciudades se daría de una manera ordenada y que crearía una jerarquía según el tamaño y las funciones que las ciudades. Dicha jerarquía se explicaría a través de la teoría del lugar central, que establece las principales funciones de un centro urbano (proveer de servicios a su área o región).

El modelo es inductivo, ya que nace de observar la realidad: los lugares centrales concentran geográficamente la producción, por lo cual ese lugar minimiza las distancias y costos de transporte <sup>13</sup>(Asuad, 2014).

## **2.12 Teoría de los lugares centrales**

El principio fundamental se corresponde con la formación de lugares centrales: un espacio que concentra actividades económicas enfocadas en la población que se encuentra alrededor.

De acuerdo con Christaller, la tendencia de las empresas, cuyas áreas de mercado pueden compararse, es reagruparse en un mismo sitio, generalmente en un lugar que minimiza sus costos de transporte. Los servicios, entonces, tienden a centralizarse y pueden dar origen a una ciudad, cuyo tamaño y características dependen del área a la que sirva.

De aquí se deriva la suposición de que los centros urbanos existen en aquellos lugares donde los bienes y servicios deben ser comercializados y que su tamaño y la jerarquía del sistema de ciudades dependen de la producción del tipo de servicio <sup>14</sup>(Asuad, 2014).

### **2.12.1 Centralidad (principio)**

Las decisiones de localización y las interacciones económicas propician la formación de lugares centrales. Estos se focalizan de manera dual; por un lado, al lugar geométrico que ocupa al centro de un espacio; por otro, la centralidad indica un criterio de funcionabilidad que corresponde al tipo de actividades económicas que se desempeñan.

---

<sup>13</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P.6.

<sup>14</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P.6.

La centralidad funcional de una localidad se diferencia del desempeño económico que ejerce, el cual depende, a su vez, de su actividad comercial, el transporte, las comunicaciones, las finanzas, el turismo, el hospedaje, el ocio, la cultura, la salud, la educación, la administración pública y privada, etcétera.

Aunque se le considere un sector de la producción, su papel corresponde a las actividades de distribución y consumo de la actividad económica.

### **2.12.2 Supuestos básicos**

1. Existe una superficie homogénea sin límites. La única diferencia es la distancia en función de la ubicación.
2. Las características ambientales y de recursos no representan ventajas o desventajas.
3. No hay barreras físicas al movimiento; el desplazamiento puede ocurrir en todas direcciones.
4. Solo existe un tipo de transporte.
5. El costo de transporte está en función de la distancia.
6. La distribución de la población se presenta en forma uniforme; no hay ventajas de concentración.
7. El ingreso, la demanda y las preferencias son iguales en cuanto a la población.
8. Los consumidores y productores tienen un conocimiento perfecto de las estrategias de asignación posible y actúan con la lógica de la racionalidad económica.

### **2.12.3 Umbral y rango del mercado**

El proceso de concentración y centralización de los servicios se determina con base en el funcionamiento espacial del mercado por medio de los conceptos de umbral y rango del mercado. Estos conceptos expresan las fuerzas económicas que organizan las actividades en el espacio: costos de transporte y economías de aglomeración o economías de escala espaciales que conforman las áreas de mercado.

El umbral corresponde a la demanda mínima que requiere el productor para cubrir los gastos (incluyendo el beneficio de la empresa), lo cual depende de la densidad económica en el espacio, es decir, de la distribución geográfica de los consumidores.

El rango de un servicio es la distancia máxima que los consumidores están dispuestos a viajar para adquirir un producto; incluye el costo máximo de transporte que pueden pagar o la máxima distancia a la que se puede vender el producto <sup>15</sup>(Asuad, 2014).

## **2.13 Modelo matemático de Christaller**

En el modelo de Christaller, las áreas de mercado, definidas por el rango de servicio, toman forma hexagonal. Esto le permitió definir tres supuestos:

1. Los costos de transporte para el consumidor deben minimizarse.
2. Todas las áreas deben ser cubiertas (equilibrio de la oferta de servicio).
3. La competencia no debe sobreponerse a las áreas de mercado.

### **2.13.1 Jerarquía de los lugares centrales**

La teoría del lugar central distingue la jerarquía de las ciudades por el tipo de servicios que prestan: servicios de bienes de orden superior —escasos o sofisticados, corresponden a economías de escala importantes, su consumo es poco frecuente en relación con el ingreso, no requieren desplazamiento constante y sus costos de transporte son bajos— y los de orden inferior —son comunes, son propios de economías de escalas reducidas, de consumo frecuente y de poca importancia en relación al ingreso, requieren un desplazamiento importante y su costo de transporte es elevado—.

Los servicios de orden superior e inferior tienden a agruparse y generar diferencias de desempeño de funciones económicas, al igual que el tamaño desigual de los lugares centrales.

---

<sup>15</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P.12.

La jerarquía de lugares corresponde con la jerarquía de servicios, que a su vez corresponde a la diferencia de tamaño de los lugares centrales y de sus áreas de mercado. Por lo que el lugar central —aquel con mayor jerarquía— corresponde al de los servicios más sofisticados y, por lo tanto, de mayor orden.

Los servicios que siguen en jerarquía ofrecerán todos los servicios de las localidades de menor jerarquía, más los servicios propios de su rango de mercado. De tal forma, la jerarquía y escalonamiento en la prestación de servicios por los lugares centrales da lugar a una red urbana de diferentes tamaños<sup>16</sup>(Asuad, 2014).

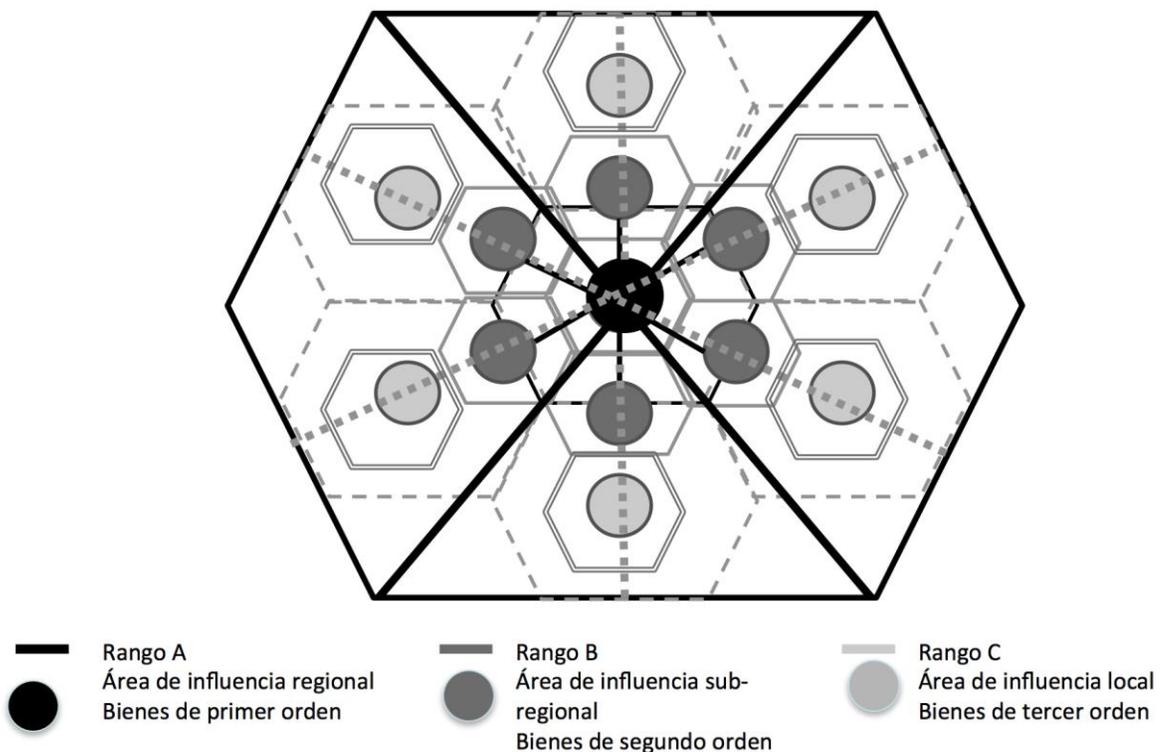


Figura 2. Sistema de Christaller, (Asuad, 2014): Cada habitante se encuentra dentro de una red de hexágonos superpuestos. Por lo tanto, la población se encuentra dentro de un sistema de zonas múltiples representadas por los rangos de los servicios.

<sup>16</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P. 40 - 43.

El sistema de Christaller parte del supuesto de que existe una jerarquía de  $N$  bienes diferentes, ( $B=1,2,3,\dots,N$ ), una jerarquía  $N$  de niveles de áreas de mercado ( $M=1,2,3,\dots,N$ ), una jerarquía de  $N$  niveles diferente de centros urbanos, ( $U=1,2,3,\dots,N$ ). Además, establece una correspondencia directa entre cada una de las jerarquías, de tal forma que los bienes producidos de primer orden corresponden a las ciudades de primer orden y a las áreas de mercado de mayor tamaño.

Este modelo genera un sistema de relaciones especiales que gravitan en su área de mercado circundante. A pesar de tener un enfoque geográfico, tiene consistencia económica interna con los siguientes postulados:

1. Los consumidores tienen un comportamiento óptimo y minimizan sus costos de transporte. Las áreas de mercado no se sobreponen.
2. El espacio geográfico es homogéneo. Las actividades de aglomeración son resultado de fuerzas económicas y no físico-geográficas.
3. El costo de transporte es proporcional a la distancia.
4. En el concepto de umbral, está implícita la idea de economías de escala.
5. Existe una igualdad en la oferta de servicio, que implícitamente cubre el territorio, a fin de que los consumidores tengan acceso a bienes y servicios.

A partir de ellos, un sistema perfecto de lugares centrales se caracteriza de la siguiente manera:

- La ciudad de mayor jerarquía ofrece toda la gama de actividades económicas, con excepción de actividades primarias y las dependientes de ese sector.
- Las ciudades del mismo rango de servicios tienen el mismo tamaño de población.
- Ofrecen la misma gama de servicios.
- Se sitúan a intervalos idénticos de distancia.
- Proveen a zonas de influencia del mismo tamaño.
- Las diferencias que surjan dan lugar a otros servicios y dependerán de los umbrales y rangos de mercado de los servicios.

A partir de aquí, se identificará genéricamente la existencia de servicios de alto orden, que están disponibles en algunas localidades, y los de bajo orden, que están disponibles en la mayoría de las localidades. Esta diferenciación en la producción y venta de los servicios determina la estructuración de las áreas de mercado.

El área de influencia de los centros de rango inferior se inserta con los centros de nivel superior a fin de beneficiarse de las economías de aglomeración. Se puede establecer, entonces, que la ciudad con la mayor jerarquía englobará al conjunto de los demás lugares centrales del sistema.

Un lugar de grado superior produce todos los servicios de los lugares centrales de menor jerarquía más los otros de su propia categoría, por lo que el tamaño de su población es proporcional al número de funciones que desempeña. Por tanto, los servicios de un lugar central se caracterizan por poseer cierto grado de especialización y por ser ofertados solamente en los lugares centrales de mayor jerarquía. A mayor especialización, mayor umbral de demanda.

El modelo permite concluir algo importante: cada uno de los grandes centros de servicio produce bienes y servicios relativos a su nivel jerárquico, además de todos los bienes y servicios de las ciudades de menor orden.

Las ventajas de los centros más grandes provienen de las funciones típicas de nivel que ocupan la jerarquía urbana, por lo que el tamaño de la ciudad puede ser una variable proxy de la función urbana y cada centro de elevado orden tiene un arreglo descendente de centros de menor orden, hasta que el nivel mínimo de aglomeración es alcanzado.

El modelo de Christaller fue establecido de manera cualitativa. La siguiente versión cuantitativa ha sido propuesta por Beckmann y Mc Pherson (1970), <sup>17</sup>(Asuad, 2014).:

---

<sup>17</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P.12.

Cada ciudad de un espacio (j) tiene una población en su área ( $P_j$ ), que es una fracción constante ( $c$ ) de ese espacio:

$$P_j = cP_j \quad (1)$$

donde :

$$0 < c < 1$$

La jerarquía de las ciudades de ese espacio es tal que ( $P_1$ ) es la población de un asentamiento de menor orden jerárquico y ( $r$ ) la población rural que depende de ella. De ahí que la población del área servida por la ciudad de mayor rango ( $P_1$ ) sea función del agregado de la población asentada de menor rango ( $P_1$ ) y de la población rural ( $r$ ), lo que se denota como:

$$P_1 = p_1 + r \quad (2)$$

Sustituyendo (1) en (2), se tiene que la población de mayor rango que sirve a una menor es igual a la participación de esa ciudad en el espacio (j), luego  $Cp_1$ , agregando su población rural ( $r$ ), lo que es lo mismo que la razón de la fracción de la población ( $c$ ) por la población rural entre el total de la población de las ciudades de ese espacio, representada como  $1-c$ :

$$P_1 = Cp_1 \text{ y } P_1 = Cp_1 + r$$

$$\therefore P_1 = Cp_1 + r \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{r}{1-c} \quad (4)$$

La población de la ciudad de orden 1 es igual al número de veces que representa la población de la ciudad de menor orden, incluyendo su población rural con respecto a las ciudades en su conjunto de ese espacio. A esta relación se le conoce como multiplicador urbano.

Se tiene un espacio (j), constituido por (n) niveles de centros urbanos y cada uno de ellos es servido por los centros urbanos de mayor jerarquía, incluyendo los centros satélites, a su alrededor.

Las ciudades de una región servidas por una ciudad de mayor orden, denominada ( $P_n$ ), se obtienen de la población de menor orden (-1) que controla (1+s), considerando que la población de la ciudad (n), ( $P_n$ ) se mantiene, lo que se especifica como:

$$P_n = P_{n-1} (1 + s) - P_{n-1} + P_n \quad (5)$$

Incluyendo la constante  $c$ :

$$P_n = P_{n-1} (1 + s) - cP_{n-1} + cP_n \quad (6)$$

$$= P_{n-1} (1 + s c) + cP_n$$

$$P_n = \frac{1+s-c}{1-c} * P_{n-1} \quad (7)$$

Debido a que en el modelo de Christaller,  $s$  y  $c$  son constantes a través de la jerarquía urbana, se asume una relación constante entre el tamaño de la población de la región y la de las ciudades de menor orden:

$$P_n = \left( \frac{1+s-c}{1-c} \right)^{n-1} * P_1 \quad (8)$$

Por lo que al sustituir el valor de  $p_1$  y simplificar la expresión, se tiene:

$$P_1 = \left( \frac{r}{1-c} \right) \quad (9)$$

$$P_n = \left( \frac{1+s-c}{1-c} \right)^{n-1} * P_1 \quad (10)$$

$$P_n = \left( \frac{1+s-c}{1-c} \right)^{n-1} \left( \frac{r}{1-c} \right) \quad (11)$$

$$P_n = \left( \frac{1+s-c}{1-c} \right)^n \left( \frac{rc}{1+s-c} \right) \quad (12)$$

Lo que significa que, conociendo los asentamientos de la población rural ( $r$ ), se está en condiciones de encontrar el tamaño del área del mercado y de la población de centros de cualquier orden.

La teoría de Christaller demuestra la existencia de la jerarquía urbana en la que se puede identificar el número de centros de cierto orden, el tamaño del área de mercado, las distancias entre centros del mismo orden y su distribución geográfica <sup>18</sup>(Asuad, 2014).

## 2.14 El modelo de Lösch

La segunda mayor contribución a la teoría del lugar central la propuso August Lösch (1944-1954). Su enfoque es totalmente deductivo y se considera un enfoque microeconómico para comprender el sistema urbano. Su explicación la realizó mediante un modelo abstracto y deductivo de equilibrio general, basado en la eficiencia económica de las empresas y del efecto de la demanda. Este modelo permite explicar el patrón de la distribución espacial de la actividad económica en el espacio, considerando su expresión a través del sistema urbano.

La economía abstracta de Lösch propone una serie de empresas que producen una variedad de bienes (basadas en la economía competitiva) y que asignan sus recursos de manera eficiente. Bajo estas condiciones, se asume que se propicia un patrón especial hacia el cual convergen las empresas.

El modelo de Lösch también genera una estructura hexagonal de las áreas de mercado, pero lo realiza a través de los siguientes supuestos económicos:

1. Competencia entre empresas: no existen las áreas de mercado sin atender, debido a que los beneficios potenciales atraen nuevas empresas.
  2. Racionalidad del consumidor: el consumidor selecciona al productor que ofrezca el bien al menor precio y, por tanto, selecciona al más cercano.
  3. Espacio homogéneo: el transporte fluye en todas direcciones y la producción se realiza con costos uniformes.
1. Los consumidores se distribuyen de manera homogénea y se caracterizan por individuos idénticos en renta y gustos.

---

<sup>18</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P. 40 - 43.

2. Los productos y los consumidores maximizan respectivamente los beneficios y las utilidades.
3. La demanda de la empresa individual presenta cierta elasticidad, ya que el precio de entrega se incrementa con la distancia.

El modelo de Lösch define las áreas de mercado haciendo explícitas las curvas de oferta y demanda; no obstante, las considera exógenamente, de ahí que se alcance el equilibrio espacial de un sector individual. El costo de transporte se incorpora al costo de la demanda, lo que implica considerar la distancia entre productor y consumidor (Asuad, 2014).

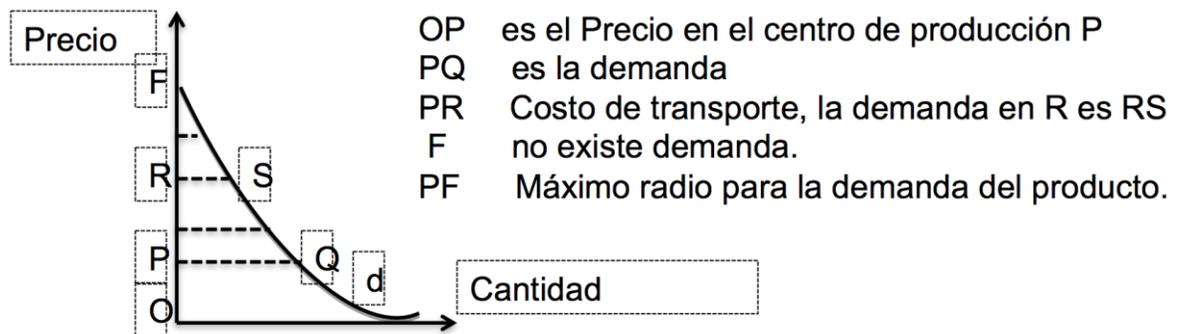


Figura 3. Demanda Lösch, (Asuad, 2014): Se consideran los precios de trasportar la demanda, teniendo que, a mayor demanda, será menor el costo de transporte.

La demanda individual espacial ha sido incorporada considerando la distancia entre productor y consumidor. Si se considera que el espacio es homogéneo y que el transporte fluye en todas direcciones, se puede reflejar en la gráfica de la manera siguiente (Asuad, 2014):

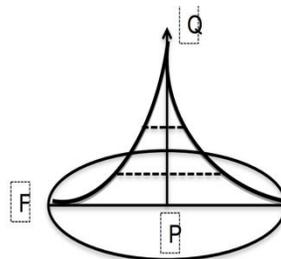


Figura 4. Demanda individual Lösch, <sup>19</sup>(Asuad, 2014): El volumen de la demanda individual corresponde al triángulo QPF, que muestra la cantidad de demanda, acorde a la localización y distancia, la cual puede ser modificada de acuerdo con la densidad de población

<sup>19</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P. 40 - 43.

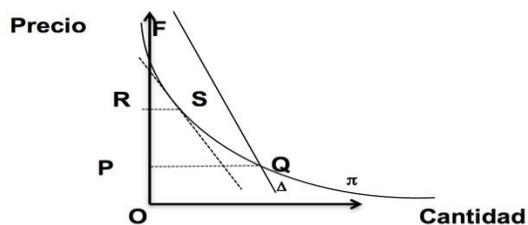


Figura 5. Curva de demanda Lösch, (Asuad, 2014). Aquí se tiene la relación en entre los aumentos de la distancia y los costos de transporte (P-F), la demanda (Q) disminuye hasta cero.

Si la curva de demanda de ese productor es el precio P, a medida que aumenta la distancia y los costos de transporte (P-F), su cantidad demandada tiende a cero. De ese modo, abastecería un área de mercado circular, de radio igual a la distancia que corresponde al coste de transporte igual a (P-F), debido que, para operar eficientemente, dada la semejanza tecnológica de la producción al costo mínimo, no es válido desplazar el producto a otras áreas, puesto que no sería competitivo.

Al analizar la demanda, se establece que los consumidores querrán los bienes en áreas especialmente acotadas, por lo que se logra el equilibrio espacial entre oferta y demanda y se da lugar a una estructura espacial de las áreas de mercado y del sistema urbano jerárquico que los ordena.

El supuesto de cierta elasticidad de la demanda dada por la distancia implica que la cantidad varía con la distancia.<sup>20</sup>(Asuad, 2014).

<sup>20</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P. 40 - 43.

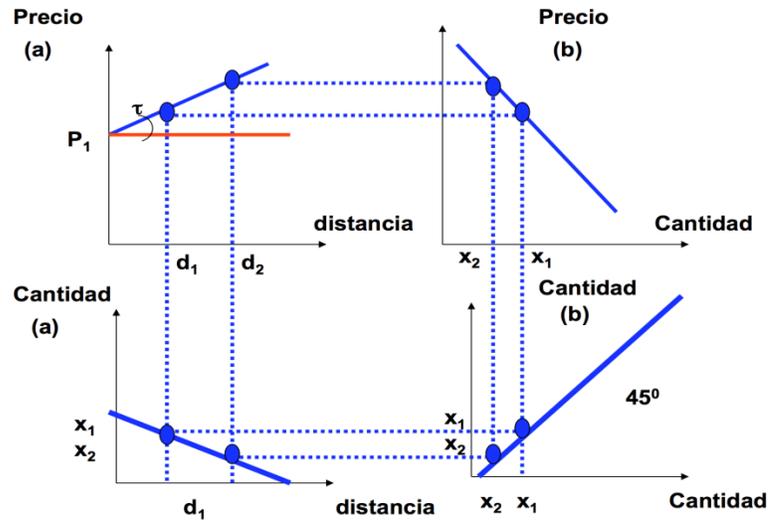


Figura 6. Elasticidad de la demanda Lössch , (Asuad, 2014): La relación del comportamiento creciente de los precios con respecto a la distancia mostrando su efecto en la reducción de la cantidad demandada por el aumento de la distancia.

La curva de la demanda espacial individual en un mercado lineal tendría una pendiente negativa con respecto a la distancia<sup>21</sup>(Asuad, 2014).

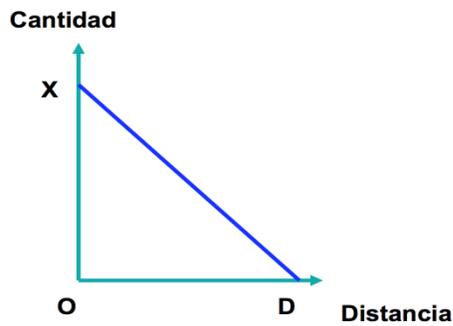


Figura 7. Curva de demanda espacial individual Lössch, (Asuad, 2014): A medida que aumenta la distancia, disminuye la demanda. Esto implica que los precios aumentan a medida que lo hace la distancia.

En un mercado circular, si se considera que el espacio es homogéneo, la demanda individual está representada gráficamente por el cono de la demanda (Asuad, 2014).

<sup>21</sup> Figura 5. (Asuad, 2014).

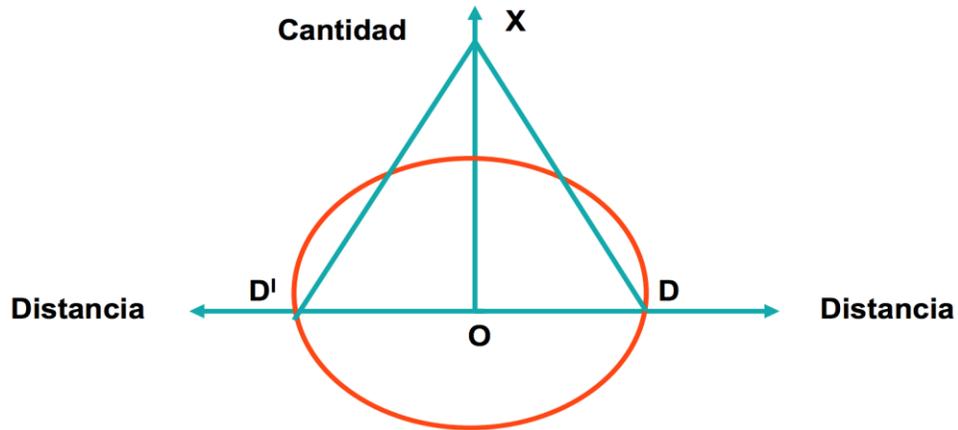


Figura 8. Mercado circular, (Asuad, 2014): La curva de la demanda espacial da lugar a un triángulo que abarca el eje vertical y que crea un círculo que representa el área de mercado.

La demanda total es la suma de dichas demandas individuales a diversas distancias de los  $n$  consumidores. Si se supone una densidad uniforme de consumidores  $q$  por cada unidad de distancia  $d$ , el total de la cantidad demandada será igual al área bajo la curva,  $DOD'X$  por la densidad de la población  $q$ , (Asuad, 2014).

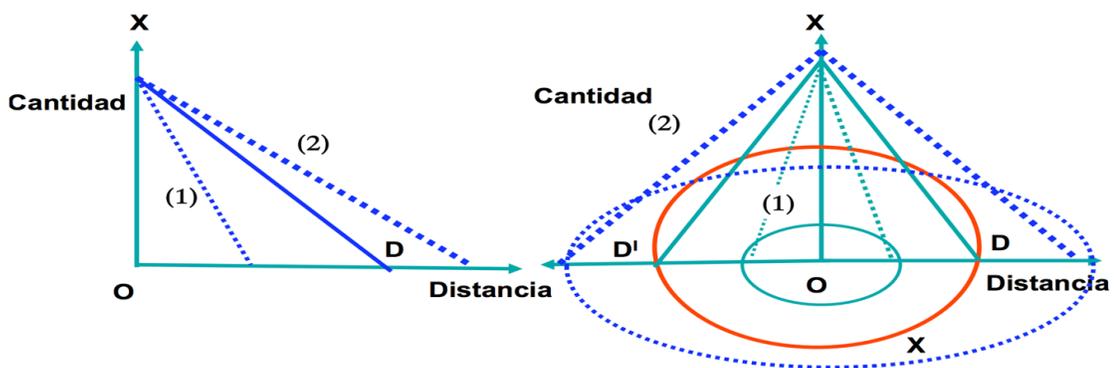


Figura 9. Área de mercado, (Asuad, 2014): El tamaño de área de mercado delineado por Lösch depende del costo de transporte y de las condiciones bajo las cuales el bien es ofrecido, de tal forma que un aumento del precio o del costo de transporte restringe la cantidad demandada y el área de mercado correspondiente. De la misma manera, una reducción del costo de transporte y del precio refleja un aumento de la cantidad demandada y del área de mercado correspondiente.

El equilibrio espacial de las empresas similares que producen el mismo producto se alcanza al acotar la oferta y la demanda, especialmente a áreas determinadas.<sup>22</sup>(Asuad, 2014).

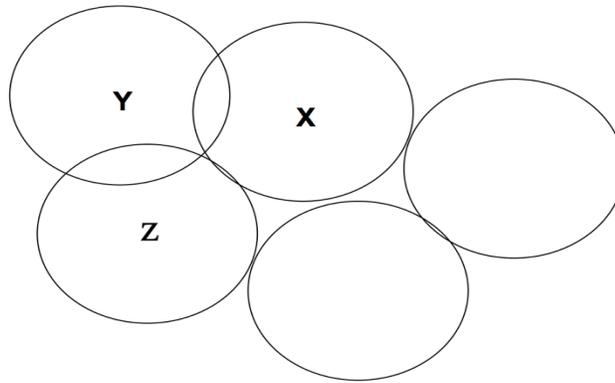


Figura 10. Equilibrio espacial entre empresas similares, (Asuad, 2014): El mercado espacial es ocupado dando lugar a la sobre posición de áreas de mercado y el beneficio de las empresas individuales se reduce por una disminución de la demanda al dividirse en varias empresas.

Si se asume que la competencia garantiza que la tierra es ocupada por empresas idénticas, el argumento de Lösch es que la economía espacial mostrará un patrón de hexágonos en el que los puntos  $k_1$  a  $k_8$  representan las localidades centrales de cada área de mercado individual de las empresas. El precio promedio de los bienes se minimiza sobre el espacio en la medida en que hay un número máximo de empresas que compiten en una economía espacial. El equilibrio de mercado forma una estructura de hexágonos regulares que no se superponen, lo que tiene la ventaja de captar una mayor demanda por milla cuadrada (el patrón ideal de una industria con empresas y productos semejantes): por un lado, los consumidores adquirirán los bienes ofrecidos a un menor precio (determinado por la mínima distancia entre compradores y vendedores); mientras que las empresas, por otro, obtendrán su máximo beneficio en el área de mercado sobre la cual tienen control <sup>23</sup>(Asuad, 2014).

---

<sup>22</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P. 40 - 43.

<sup>23</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P. 40 - 43.

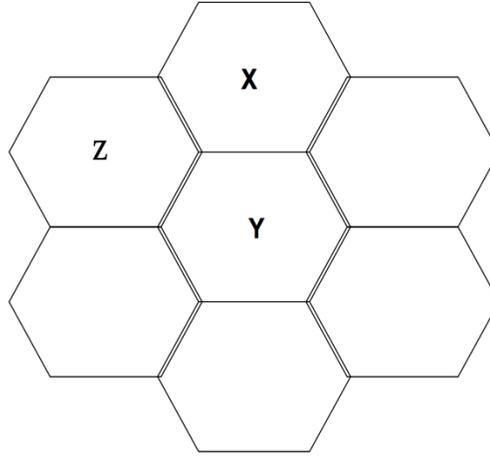


Figura 11. Equilibrio de mercado Lösch, (Asuad, 2014): Equilibrio de mercado en forma de estructuras de hexágonos (no se sobreponen), tiene la ventaja de captar una mayor demanda por distancia al cuadrado (el patrón ideal de una industria con empresas y productos semejantes)

Los supuestos matemáticos de este modelo son:

1. La condición de primer orden es la garantía de la maximización en cada localización, de tal manera que el cambio total obtenido del bien  $m$  en el centro de producción  $n$ , con respecto a la variación de la cantidad producida del bien  $m$  en el centro de producción  $n$ , se expresa así:

$$\frac{\Delta \Pi_{mn}}{\Delta X_{mn}} = 0 \quad \frac{\Delta \Pi_{mn}}{\Delta Y_{mn}} = 0$$

2. El territorio  $A$  debe ser cubierto enteramente por la oferta de cada bien individual ( $m$ ).

$$\sum_{m=1}^M A_m = A$$

3. La condición de la ausencia de beneficios extraordinarios en cada centro de producción y los precios de venta del bien  $m$  en el centro  $n$  ( $P_{mn}$ ) son iguales a los costos del bien  $m$  en el centro  $n$  ( $C_{mn}$ ).

$$P_{mn} = C_{mn}$$

4. La condición del tamaño del área de mercado mínimo es de la siguiente forma: el cambio marginal en el costo medio iguala los cambios marginales en el precio del bien en cada lugar de producción.

$$\frac{\Delta P_{mn}}{\Delta X_{mn}} = 0$$
$$\frac{\Delta C_{mn}}{\Delta Y_{mn}} = 0$$

5. La condición de igualdad en precios en cada frontera del área de mercado, este último medido por el costo de transporte unitario  $m, t$  y la distancia entre el centro de producción  $n$  y el límite de su área de mercado. <sup>24</sup>(Asuad, 2014).

$$P_{mn} + \omega_{mn} = P_{mn} + \omega_{mn}$$

## 2.15 Método del centro de gravedad

Es un modelo matemático que se utiliza para la localización de plantas de fabricación o almacenes de distribución respecto a puntos ya establecidos de la empresa, hacia los que se llevan productos o materias primas. Este método toma en cuenta tres factores de transporte:

- $c_i$ : Costo de transporte por unidad
- $v_i$ : Volumen transportado de la unidad  $i$
- $d_i$ : Distancia recorrida en el transporte de la unidad  $i$

El objetivo primordial de este método es encontrar la mejor ubicación de una instalación de una empresa con respecto a los demás elementos que la conforman para garantizar el mínimo costo total de transporte.

---

<sup>24</sup> Teorías de la distribución espacial de las actividades económicas. Normand Asuad, 2014. P. 40 - 43.

El costo total de Transporte o  $CTT$  se define como la sumatoria del producto entre el costo de transporte, el volumen transportado ( $v_i$ ) y la distancia recorrida ( $d_i$ ) :

$$CTT = \sum c_i v_i d_i \quad (13)$$

El subíndice  $i$  en cada término indica un elemento o instalación de la empresa. Es decir, ( $c_i$ ) indica el costo unitario de transporte desde o hacia la unidad  $i$ , ( $v_i$ ) indica el volumen de los materiales transportados desde o hacia  $i$  y ( $d_i$ ) es la distancia entre la unidad  $i$  y la instalación que se desea ubicar.

Por otro lado:

$$c_i v_i \equiv w_i \quad (14)$$

Se le define como peso o ( $w_i$ ) del  $i$ -ésimo elemento. También se le conoce como la importancia de cada punto  $i$  en el plano de ubicación.

## 2.15.1 Cálculo de distancias

En los modelos de localización-asignación, un procedimiento importante es la realización de cálculos de distancia desde los puntos de demanda y los puntos de oferta ( $d_{ij}$ ), es decir, desde los centroides de áreas que presentan la demanda abarcando las instalaciones existentes o los puntos candidatos <sup>25</sup>(Acuña, 2014).

Las coordenadas de localización en un espacio absoluto pueden ser calculadas con diferentes medidas de distancia, a las cuales se les denomina métricas.

---

<sup>25</sup> Modelos para localización de planta. Dr. Jorge Acuña A.  
<https://facilidadesfisicas.files.wordpress.com/2008/07/localizacion-de-planta2.pdf>

La distancia en línea recta o distancia euclidiana surge ante la consideración de un espacio ideal en el que no existan limitaciones para transitar:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (15)$$

Esta asume un desplazamiento a través de una cuadrícula regular que está dada por:

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (16)$$

Los resultados se obtienen a partir de la consideración de coordenadas absolutas sobre el espacio geográfico. Para la primera, es la resolución pitagórica del cálculo de la hipotenusa de un triángulo; para la segunda, es la suma de las unidades de medida de ambos catetos.

Con los problemas de subestimación provocados por localizaciones entre bloques o la aparición de barreras y con la aparición de calles en diferente dirección de la cuadrícula de circulación básica (Hodgson et al., 1995), se obtiene la métrica Lp:

$$d_{ij}^{\beta} = \left( |x_i - x_j|^{\rho} + |y_i - y_j|^{\rho} \right)^{\frac{\beta}{\rho}} \quad (17)$$

para  $\beta = 1, \rho = 1$

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

para  $\beta = 1, \rho = 2$

$$d_{ij} = \left( |x_i - x_j|^2 + |y_i - y_j|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Aparece un parámetro  $\beta$  que indica una modificación de los costos de desplazamientos con la distancia. Cuando  $\beta = 1$ , tenemos la distancia con  $\rho = 1$  y euclidiana con 2. La métrica Lp fue propuesta por Love y Morris (1972) y es una excelente alternativa de aplicación cuando no es posible realizar cálculos sobre la red de calles, pero se conoce la estructura vial urbana.

Si se conoce el tamaño del lado del píxel, por la sumatoria de píxeles, se obtiene un resultado perfecto al medir la distancia entre dos localizaciones que se encuentran en línea recta sobre una fila o sobre una columna. Esto implica que, si las localizaciones no respetan esta alineación, sólo habrá coincidencia perfecta en la distancia. Si la alineación no existe, debe ser calculada una distancia en línea recta en diagonal, pero los resultados serán aproximados.

Un avance que va desde el espacio absoluto al espacio relativo se produce cuando las distancias entre dos localizaciones se calculan en otras unidades de medida, tiempo o cualquier otro tipo de costo. Esto se basa en un mapa de fricción que incorpora en cada píxel un valor relativo al esfuerzo que debe ser realizado para atravesarlo. De esta manera, desde cada entidad puntual, se genera una superficie de costo que corresponde al costo o esfuerzo que se acumula en cada píxel en el área de estudio para llegar a dicha entidad <sup>26</sup>(Acuña, 2014).

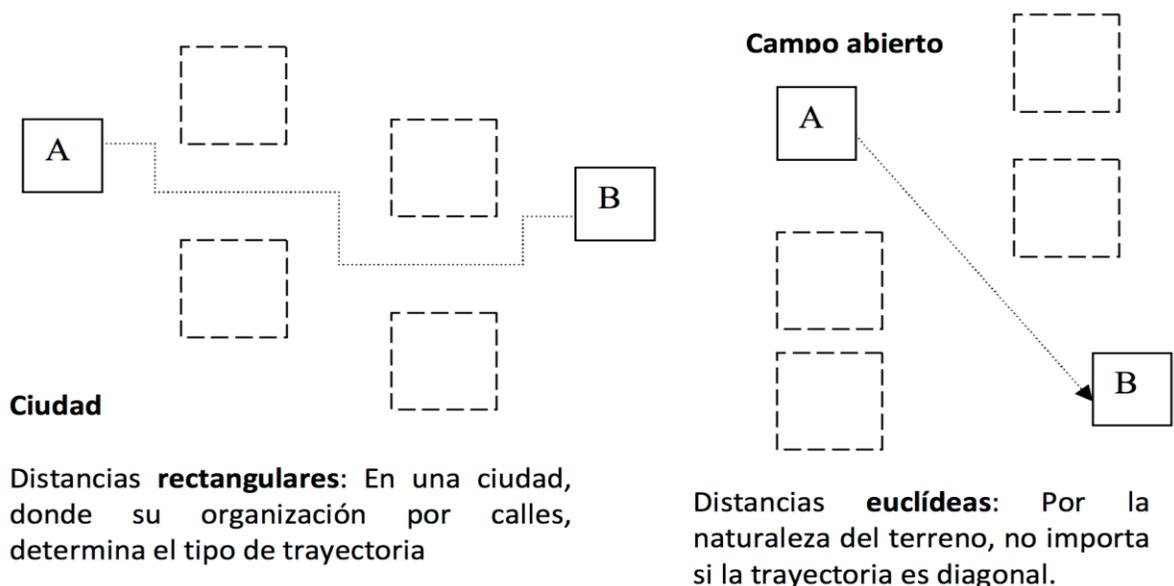


Figura 12 (distancias rectangulares y euclidianas), (Acuña, 2014): Hay dos formas de considerar la medida de las trayectorias que conectarán los puntos que se tomarán en cuenta: la primera mira la distancia rectangular y toma en cuenta solo movimientos de 90°; la segunda toma en cuenta la distancia euclidiana y permite movimientos en diagonal.

<sup>26</sup> Modelos para localización de planta. Dr. Jorge Acuña A.  
<https://facilidadesfisicas.files.wordpress.com/2008/07/localizacion-de-planta2.pdf>

La aplicación de uno de estos dos modos de medir distancias, en un problema de ubicación, depende de la organización y las características del lugar en donde se desee situar la nueva instalación.

### 2.15.2 Distancia rectangular

Considera solamente dos movimientos: vertical y horizontal. Para la representación de la distancia entre dos puntos  $A$  y  $B$  situados en un plano a escala  $K$ :

$$d = K (|x - x_i| + |y - y_i|) \quad (19)$$

Donde las  $x$  representan a la pareja abscisas y las  $y$  a la pareja ordenadas de los dos puntos (Acuña, 2014).

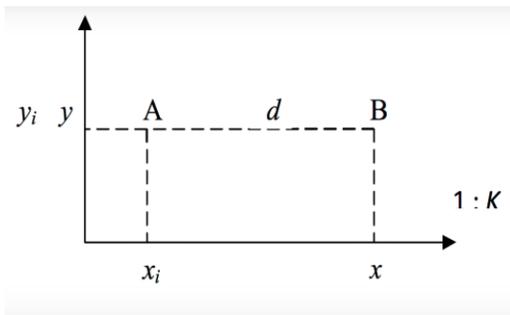


Figura 13. (distancias rectangulares), (Acuña, 2014): Se usa para obtener la distancia en ciudades grandes urbanas donde se tienen que seguir ciertos patrones o estructuras de la ciudad.

### 2.15.3 Distancia euclidiana

Esta es la distancia de una línea recta que une los puntos  $A$  y  $B$  con trayectorias rectas y se expresa así:

$$d = K \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (20)$$

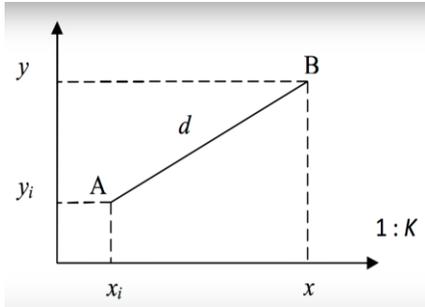


Figura 14 (distancia euclidiana), (Acuña, 2014): Se usa más en terrenos o en mediciones donde solo se necesita saber las distancias sin considerar la naturaleza de la superficie o terreno.

## 2.16 Centro de gravedad

Se define como el punto con coordenadas  $(x^*, y^*)$  que minimiza el *CTT*. Las coordenadas de este punto vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$x^* = \frac{\sum c_i v_i x_i}{\sum c_i v_i} \quad (21)$$

$$y^* = \frac{\sum c_i v_i y_i}{\sum c_i v_i} \quad (22)$$

El punto que arroja las expresiones no es necesariamente el punto eficiente en el que se deba ubicar la nueva instalación. Para encontrarlo, se deben realizar muchas iteraciones que arrojen posibles soluciones al problema, pero no se considerarán finales. La solución definitiva, luego de variar las coordenadas  $x^*$  y  $y^*$  iniciales, será aquella que arroje menor *CTT* <sup>27</sup>(Ares, 2003).

### 2.16.1 Determinación del punto óptimo de localización

Para las **distancias regulares**, se usará la mediana simple y el siguiente procedimiento:

1. Se hallará el valor medio de las cantidades desplazadas ponderadas por sus costos:

$$\frac{\sum c_i v_i}{2} \quad (23)$$

<sup>27</sup> Business plan de una empresa de transporte de mercancías. F.Ares (2003). <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6368/07.pdf>

1. 2. Se ordenarán los puntos según su ordenada y su abscisa en forma creciente. Se hará un acumulado del producto  $c_i v_i$  de todos los datos.
2. La ordenada y la abscisa que, en el acumulado de los datos, sean las primeras en sobrepasar el valor medio calculado, determinarán el punto óptimo de localización.

Para las **distancias euclidianas** se utilizará el método de centro de gravedad:

1. Se ubica el centro de gravedad  $(x^*, y^*)$  a partir de las ecuaciones.
2. Se hallan las distancias euclidianas para cada punto  $i$  del plano con la ecuación:

$$d_i = K \sqrt{(x^* - x_i)^2 + (y^* - y_i)^2}$$

3. Se halla el costo total de transporte por elemento,  $CTT_i$ . Este se calcula multiplicando el peso del elemento  $w_i$  por la distancia entre el elemento  $i$  y el centro de gravedad  $d_i$ .

$$CTT_i = w_i d_i = c_i v_i d_i \quad (24)$$

4. Se halla el  $CTT$  realizando la suma de los  $CTT_i$ .

$$CTT = \sum CTT_i \quad (25)$$

5. El punto resultante en el paso 1 y la distancia del paso 2 se reemplazan en la siguiente ecuación, que se obtuvo de la derivada parcial igualada a cero del  $CTT$  respecto a la abscisa y la ordenada: (Esto nos arroja las coordenadas del punto óptimo de localización).

$$x^* = \frac{\sum c_i v_i x}{\sum c_i v_i} \quad y^* = \frac{\sum c_i v_i y}{\sum c_i v_i}$$

Si se desea exactitud, se realiza este procedimiento con variaciones en el centro de gravedad hacia el norte, sur, este y oeste, y se comparan los resultados; el punto óptimo es aquel

que arroje el menor valor del *CTT*. Para esto, generalmente se utiliza un software que realiza las iteraciones <sup>28</sup>(Ares, 2003).

Si se desea un valor estimado, se realiza un cálculo por encima de las coordenadas del centro de gravedad -los valores arrojados por el paso 1 para el centro de gravedad se aproximan hacia cierto valor por encima de ellos; si se escoge un rango de 0.5, se le suma a la abscisa y a la ordenada este valor- y un cálculo por debajo - similar al anterior, pero el centro de gravedad se hallará en cierto valor por debajo del original. El valor óptimo es aquel que arroje el menor valor del *CTT* <sup>29</sup>(Acuña, 2014).

## 2.17 Modelos de localización

Los modelos de localización parten de que la demanda se distribuye en distintas formas (por ejemplo, de manera uniforme) a través de un área de servicio y de que las instalaciones pueden situarse en cualquier lugar dentro del área de estudio y aplicación.

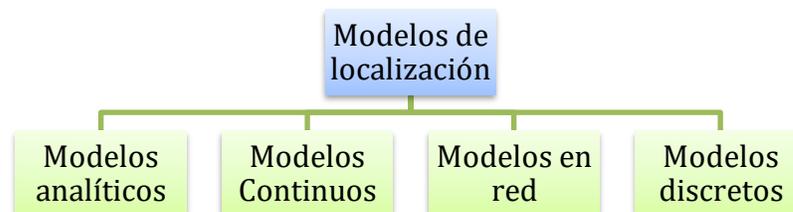


Figura 15 basada del artículo: “what you should know about location modeling” (Mark S. Daskin), (Daskin, 2008, p. 2): Categorización de los modelos de localización, acorde al trabajo de (Mark S. Daskin).

Dentro de estos, los **modelos analíticos** (que consideran a la demanda se distribuye de forma continua en la región) son considerados los más sencillos y normalmente son resueltos con técnicas simples, como el cálculo. Aunque supuestos de mayor fuerza son necesarios para

---

<sup>28</sup> Business plan de una empresa de transporte de mercancías. F.Ares (2003).

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6368/07.pdf>

<sup>29</sup> Modelos para localización de planta. Dr. Jorge Acuña A.

<https://facilidadesfisicas.files.wordpress.com/2008/07/localizacion-de-planta2.pdf>

desarrollarse con su debida complejidad en casos particulares, los conocimientos derivados de estos modelos tienden a ser aplicables en distintos contextos <sup>30</sup>(Daskin, 2008, p. 2).

Por otro lado, los **modelos continuos** asumen que las demandas surgen sólo en puntos discretos.

$$\text{Min } (x,y) \sum_{i=1}^n h_i \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (26)$$

Donde la demanda ocurre en  $n$  puntos discretos. La localización del punto de demanda  $i$  es dada por  $x_i, y_i$ , para una  $i = 1, 2, \dots, n$ , la intensidad y la instalación de la demanda es mostrada por  $h_i$ . En otras palabras, se quiere minimizar  $x, y$ . El problema es encontrar una locación que minimice la distancia total de la demanda ponderada entre la instalación y los puntos de demanda.

Los **modelos de red**, por su parte, asumen una red de arcos y nodos. Normalmente, las demandas se producen sólo en los nodos, pero las instalaciones se pueden ubicar en cualquier parte de la red. El enfoque de mucha de la literatura de modelos de red es encontrar algoritmos de tiempo polinomial, especialmente en redes de tipo árbol.

### 2.17.1 Modelos de localización discretos

En estos modelos, puede existir o no una distancia métrica subyacente. Las distancias o costos entre cualquier par de nodos pueden ser arbitraria, aunque en general surgen demandas en los nodos y las instalaciones están restringidas a un conjunto finito de lugares. Los modelos de localización discretos asumen que, si se desea tener un “servicio cubierto” o “servicio adecuado”, hay una cobertura crítica de la distancia (el tiempo dentro del cual se exige la necesidad de tener el servicio). Usualmente, se utilizan para diseñar servicios de emergencia, en los que se debe tener en cuenta que la cobertura y el servicio no son lo mismo. Por lo general, se dividen entre modelos de cobertura y los modelos basados en la mediana, aunque existen también modelos basados en ubicar localizaciones no deseadas de las instalaciones <sup>31</sup>(Daskin, 2008).

---

<sup>30</sup> What You Should Know About Location Modeling. Mark S. Daskin. 2008. P. 2.

<sup>31</sup> What You Should Know About Location Modeling. Mark S. Daskin. 2008. P. 2.

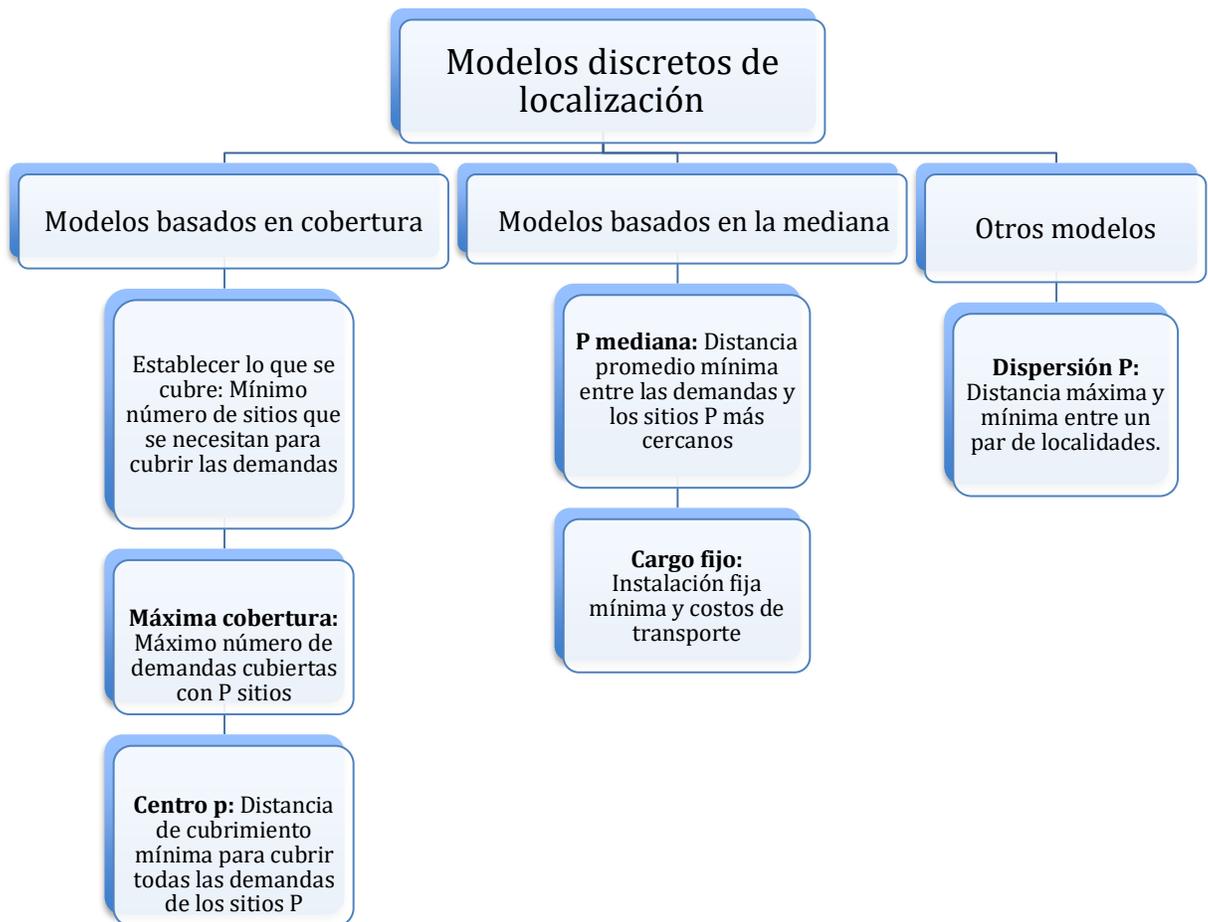


Figura 16 basada del artículo: “what you should know about location modeling” (Mark S. Daskin): Categorización de los modelos de localización discretos, acorde al trabajo de (Mark S. Daskin).

# Capítulo 3

## Modelación

Como resultado de los estudios realizados, se determinó realizar un plan de operaciones para la producción y comercialización de productos alimenticios. Este plan incluirá el estudio de localización de los sitios donde se ubicarán los negocios en los que se producirán y venderán los alimentos. Tómense en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los costos de renta de los locales son diferentes para cualquiera de los sitios o ubicaciones potenciales.
2. La superficie de los camiones de comida.
3. Tres opciones de transporte para abastecer la materia prima (1 tonelada (t1), otro con capacidad de 9 toneladas (t2) y un tercero con capacidad de 3,5 toneladas (t3)).
4. Se estudiarán cinco localidades (Paseos de Taxqueña, Educación, Ex ejido San Francisco Culhuacán, Campestre Churubusco y Avante. Todas estas colonias se encuentran en la delegación Coyoacán) para decidir en dónde colocar el camión de comida acorde a pronósticos de demanda y centros de gravedad comerciales, aunado a un modelo de minimización de costos.
5. La cantidad total de producto es colocada en el lugar de demanda.

**Tabla 3 Capacidad de los vehículos considerados para el estudio: Capacidad acorde a la carga y el consumo de gasolina o diésel acorde a la distancia.**

Transporte	Capacidad (toneladas)	Kilometraje Km/L
Pick up (1 ton)	1	10.2
Torton kw45 (9 ton)	9	3.5
Pick up FL 360 (3.5ton)	3,5	7.5

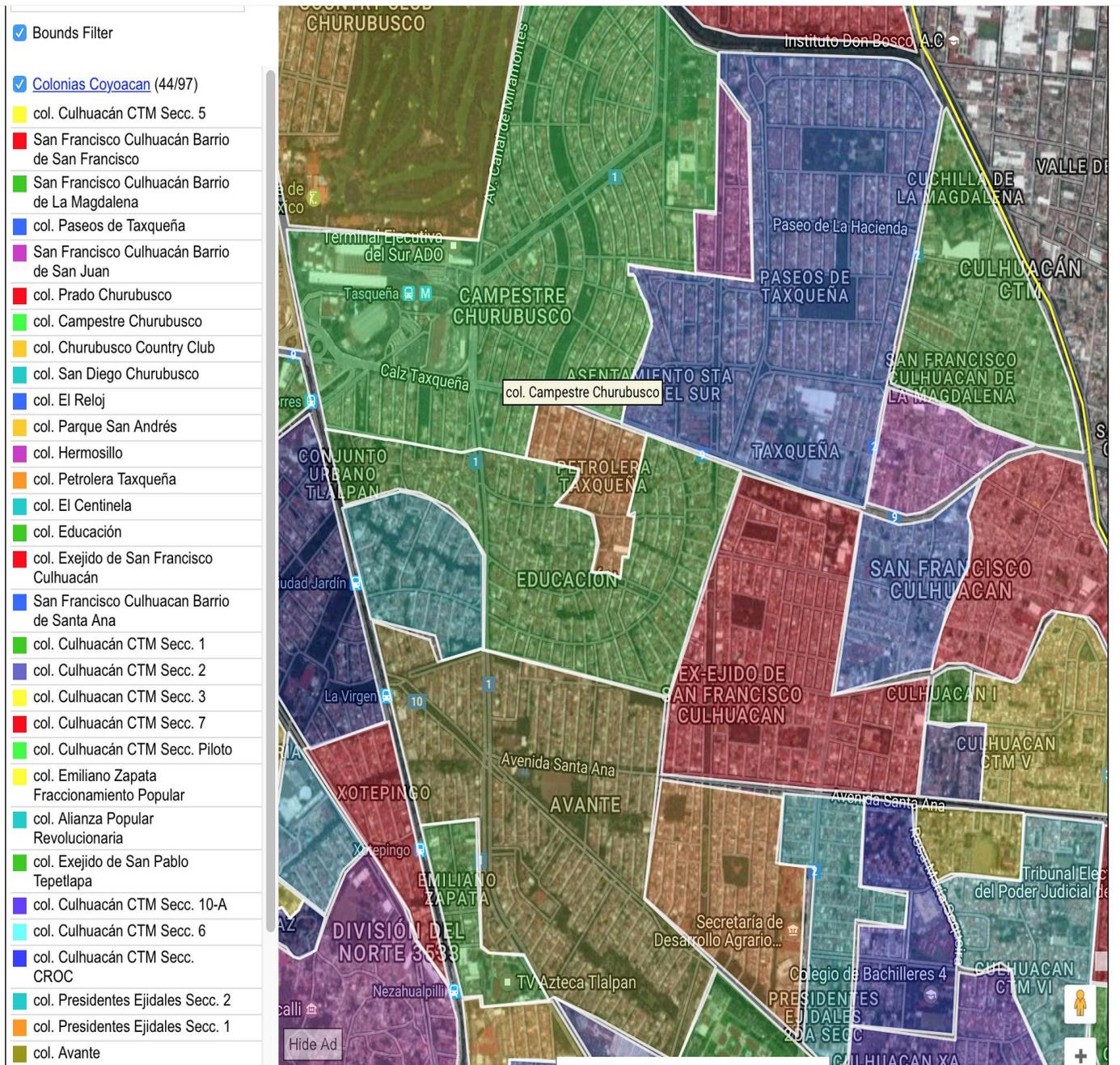


Figura 17: Mapa divisional y territorial de colonias en estudio (Educación, Campestre Churubusco, Ex ejido Culhuacán, Paseos de Taxqueña, Avante, en la delegación Coyoacán (Ciudad de México)).

<http://secure.iedf.org.mx/screc2010/coloniasRecibe.php?col=EDUCACION%20%7C%2003-039>

**Tabla 3.1 Precios de gasolinas en la Ciudad de México. Abril 2018.**

Precios de la gasolina en la Ciudad de México	
Magna	\$16.35
Premium	\$17.96
Diésel	\$18.39

**Tabla 3.2 Distancia entre colonias de estudio (en km).**

Colonias	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Educación	0	1.8 km	1.7 km	2 km	1.6 km
Campestre Churubusco	1.8 km	0	2.3 km	2 km	2.9 km
Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.7 km	2.3 km	0	2.3 km	0.9 km
Paseos de Taxqueña	2 km	2 km	2.3 km	0	2.4 km
Avante	1.6 km	2.9 km	0.9 km	2.4 km	0

**Tabla 3.3 Tiempo de traslado entre colonias de estudio (en minutos).**

Tiempo en minutos	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Educación	0.35	6.35	6.00	7.06	5.65
Campestre Churubusco	6.35	0.35	8.12	7.06	10.24
Ex ejido, San Fco Culhuacán	6.00	8.12	0.35	8.12	3.18
Paseos de Taxqueña	7.06	7.06	8.12	0.35	8.47
Avante	5.65	10.24	3.18	8.47	0.35

### 3.1 Modelo de Reilly

Con el enfoque e influencia en el análisis de flujos comerciales y con la introducción de los modelos de gravitación al estudio del flujo en los comercios minoristas, este tipo de modelo es una adaptación y analogía de la Ley de Gravitación Universal, de Newton.

$$F_{ij} = c \left[ M_i \frac{M_j}{D_{ij}^2} \right] \quad (42)$$

Donde  $M_i, M_j$  son masas,  $D_i, D_j$ , son distancias y  $c$  es una constante.

Los modelos de gravitación se consideran deterministas, con estimaciones que surgen de datos empíricos y que se basan en dos variables que presentan un comportamiento dinámico: masa o variable de atracción (es la población de las localidades que se piensan atraer comercialmente); y fricción de retraimiento (distancia o tiempo de ruta, viaje o transporte que separa cada punto intermedio del espacio de dos localidades para su atracción).

Esto expresa que las ventas que dos localidades,  $a$  y  $b$ , atraen de una ubicación intermedia son directamente proporcionales a sus poblaciones e inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias entre la localidad intermedia y las dos localidades consideradas. Esto implica que las decisiones de compra no sólo responden a la distancia que separa a los clientes de la ubicación de venta (teoría de los lugares centrales), sino que también debe tomarse en cuenta el poder de atracción del establecimiento comercial.

$$\frac{V_a}{V_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^1 * \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^2 \quad (43)$$

Donde  $V_a$  es el importe de las ventas de la localidad  $a$ , que atrae a una localidad intermedia  $t$ ;  $V_b$  es el importe de las ventas de la localidad  $b$ , que atrae a una localidad intermedia  $t$ .  $P_a$  y  $P_b$  son las poblaciones respectivas de la localidad  $a$  y la localidad  $b$ .  $D_a$  es la distancia de la localidad  $a$  a la localidad intermedia;  $D_b$  es la distancia de la localidad  $b$  a la localidad intermedia.

De la fórmula de Reilly se obtiene el siguiente modelo para el caso de  $V_a/V_b = 1$ :

$$D_{al} = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{P_b}{P_a}}} \quad (44)$$

$D_{al}$  corresponde al límite del área o subárea comercial de la localidad  $a$  medido en kilómetros a lo largo de la vía de comunicación que conduce a la localidad  $b$ , por lo que dicha distancia será el punto de indiferencia  $I$  en el que a los consumidores les dará igual ir a cualquiera de las localidades.  $D$  se refiere a la distancia en kilómetros entre las localidades.

En este tipo de modelos se puede sustituir la variable de la distancia en kilómetros por la variable de tiempo transcurrido a lo largo del viaje. También se puede sustituir la variable de población por la de equipamiento comercial, la cual se mide en metros cuadrados de superficie bruta alquilable o disponible.

**Tabla 3.4 Número de habitantes o población en las colonias de estudio**

	Habitantes
Educación	8,951
Campestre Churubusco	12,187
Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026
Paseos de Taxqueña	17,340
Avante	9,909

**Tabla 3.5. Estas son los resultados de las distancias o puntos de indiferencia expresados en metros en la cual a los clientes ya no les importa la distancia de traslado entre el punto de venta *a* y el punto de venta *b*.**

		(b)			
		Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Punto en (m) de indiferencia	(a) Educación	830.70	901.39	836.18	779.67
		(b)			
		Educación	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Punto en (m) de indiferencia	(a) Campestre Churubusco	969.30	1307.35	912.07	1524.94
		(b)			
		Campestre Churubusco	Educación	Paseos de Taxqueña	Avante
Punto en (m) de indiferencia	(a) Ex ejido, San Fco Culhuacán	992.65	798.61	894.60	411.41
		(b)			
		Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Educación	Avante
Punto en (m) de indiferencia	(a) Paseos de Taxqueña	1087.93	1405.40	1163.82	1366.79
		(b)			
		Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Educación
Punto en (m) de indiferencia	(a) Avante	1375.06	488.59	1033.21	820.33

**Tabla 3.6 Distancias de los puntos de indiferencia (expresados en metros)**

Distancia en metros	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Educación	0	1800	1700	2000	1600
Campestre Churubusco	1800	0	2300	2000	2900
Ex ejido, San Fco Culhuacán	1700	2300	0	2300	900
Paseos de Taxqueña	2000	2000	2300	0	2400
Avante	1600	2900	900	2400	0

	Habitantes
Educación	8,951
Campestre Churubusco	12,187
Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026
Paseos de Taxqueña	17,340
Avante	9,909

**Tabla 3.7. Distancias y puntos de indiferencia entre colonias de estudio: Fórmula**

$$(((\text{distancia entre colonias de estudio}) / (1 + \sqrt{\left(\frac{\text{hábitantes colonia en comparación}}{\text{hábitantes colonia base de estudio Educación}}\right)})))))$$

Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Educación	8,951	830.70
Educación	1800	Campestre Churubusco	Campestre Churubusco	12,187	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Educación	8,951	901.39
Educación	1700	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Educación	8,951	836.18
Educación	2000	Paseos de Taxqueña	Paseos de Taxqueña	17,340	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Educación	8,951	779.67
Educación	1600	Avante	Avante	9,909	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Campestre Churubusco	12,187	969.30
Campestre Churubusco	1800	Educación	Educación	8,951	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Campestre Churubusco	12,187	1307.35
Campestre Churubusco	2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Campestre Churubusco	12,187	912.07
Campestre Churubusco	2000	Paseos de Taxqueña	Paseos de Taxqueña	17,340	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Campestre Churubusco	12,187	1524.94
Campestre Churubusco	2900	Avante	Avante	9,909	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	992.65
Ex ejido, San Fco Culhuacán	2300	Campestre Churubusco	Campestre Churubusco	12,187	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	798.61
Ex ejido, San Fco Culhuacán	1700	Educación	Educación	8,951	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	894.60
Ex ejido, San Fco Culhuacán	2300	Paseos de Taxqueña	Paseos de Taxqueña	17,340	
Datos de entrada			Habitantes		Datos de salida
Distancia			Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	411.41
Ex ejido, San Fco Culhuacán	900	Avante	Avante	9,909	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Paseos de Taxqueña	2000	Campestre Churubusco		Paseos de Taxqueña	17,340		1087.93
					Campestre Churubusco	12,187	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Paseos de Taxqueña	2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán		Paseos de Taxqueña	17,340		1405.40
					Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Paseos de Taxqueña	2000	Educación		Paseos de Taxqueña	17,340		1163.82
					Educación	8,951	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Paseos de Taxqueña	2400	Avante		Paseos de Taxqueña	17,340		1366.79
					Avante	9,909	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Avante	2900	Campestre Churubusco		Avante	9,909		1375.06
					Campestre Churubusco	12,187	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Avante	900	Ex ejido, San Fco Culhuacán		Avante	9,909		488.59
					Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Avante	2400	Paseos de Taxqueña		Avante	9,909		1033.21
					Paseos de Taxqueña	17,340	

Datos de entrada					Habitantes		Datos de salida
Distancia							
Avante	1600	Educación		Avante	9,909		779.67
					Educación	8,951	

### 3.1.1 Adaptación del modelo de Reilly.

En este caso de estudio, la localidad intermedia  $t$  corresponde a la colonia Educación. En cada bloque, se tomaron las poblaciones respectivas de la combinación entre colonias aledañas  $a$  y  $b$ , al igual que sus distancias respecto a la localidad intermedia, que es el factor de estudio, y se consideró la combinación de las 5 colonias para saber qué localización puede atraer mayor demanda y, también, de qué colonias proviene esta.

Por ejemplo, si la colonia Campestre Churubusco corresponde a la localidad  $a$ , y la colonia Ex ejido de San Francisco corresponde a la localidad  $b$ , entonces:

$$\frac{V_a}{V_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^1 * \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^2 = \left(\left(\frac{Población (a)}{Población (b)}\right)^1 * \left(\frac{Distancia (b)}{Distancia (a)}\right)^2\right) = \left(\left(\frac{12187}{7026}\right)^1 * \left(\frac{1700}{1800}\right)^2\right) = \frac{35220430000}{22764240000} = 1.55$$

**Tabla 3.8. En esta tabla se pueden verificar las equivalencias de cubrir la demanda de las ventas esperadas de  $V_a/V_b$  con respecto a las poblaciones en estudio.**

Modelo de Reilly								
Educación	Campestre Churubusco		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Paseos de Taxqueña		Avante	
	1.55	Campestre Churubusco	0.65	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.15	Paseos de Taxqueña	1.03	Avante
		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Campestre Churubusco		Campestre Churubusco		
	0.87	Campestre Churubusco	0.56	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.78	Paseos de Taxqueña	0.89	Avante
		Paseos de Taxqueña		Paseos de Taxqueña		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Paseos de Taxqueña
	0.97	Campestre Churubusco	0.63	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.12	Paseos de Taxqueña	1.59	Avante
		Avante		Avante		Avante		Ex ejido, San Fco Culhuacán

Campestre Churubusco	Educación		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Paseos de Taxqueña		Avante	
	2.08	Educación	0.48	Ex ejido, San Fco Culhuacán	3.26	Paseos de Taxqueña	0.89	Avante
		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Educación		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Ex ejido, San Fco Culhuacán
	0.64	Educación	0.31	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.57	Paseos de Taxqueña	0.27	Avante
		Paseos de Taxqueña		Paseos de Taxqueña		Educación		Paseos de Taxqueña
	2.34	Educación	1.13	Ex ejido, San Fco Culhuacán	3.68	Paseos de Taxqueña	0.43	Avante
		Avante		Avante		Avante		Educación

Ex ejido, San Fco Culhuacán	Educación		Campestre Churubusco		Paseos de Taxqueña		Avante	
	1.34	Educación	0.74	Campestre Churubusco	1.42	Paseos de Taxqueña	5.31	Avante
		Campestre Churubusco		Educación		Campestre Churubusco		Campestre Churubusco
	0.94	Educación	0.70	Campestre Churubusco	1.06	Paseos de Taxqueña	3.73	Avante
		Paseos de Taxqueña		Paseos de Taxqueña		Educación		Paseos de Taxqueña
	0.25	Educación	0.19	Campestre Churubusco	0.27	Paseos de Taxqueña	3.95	Avante
		Avante		Avante		Avante		Educación

Paseos de Taxqueña	Educación		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Campestre Churubusco		Avante	
	1.68	Educación	0.44	Ex ejido, San Fco Culhuacán	2.29	Campestre Churubusco	127.75	Avante
		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Campestre Churubusco		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Campestre Churubusco
	0.73	Educación	0.59	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.36	Campestre Churubusco	68.92	Avante
Campestre Churubusco		Educación		Educación		Educación		
1.30	Educación	0.77	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.77	Campestre Churubusco	36.92	Avante	
	Avante		Avante		Avante		Ex ejido, San Fco Culhuacán	

Avante	Educación		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Paseos de Taxqueña		Campestre Churubusco	
	2.41	Educación	5.99	Ex ejido, San Fco Culhuacán	2.08	Paseos de Taxqueña	0.17	Campestre Churubusco
		Campestre Churubusco		Campestre Churubusco		Campestre Churubusco		Ex ejido, San Fco Culhuacán
	1.16	Educación	2.88	Ex ejido, San Fco Culhuacán	0.35	Paseos de Taxqueña	0.48	Campestre Churubusco
Paseos de Taxqueña		Paseos de Taxqueña		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Paseos de Taxqueña		
0.40	Educación	2.48	Ex ejido, San Fco Culhuacán	0.86	Paseos de Taxqueña	0.41	Campestre Churubusco	
	Ex ejido, San Fco Culhuacán		Educación		Educación		Educación	

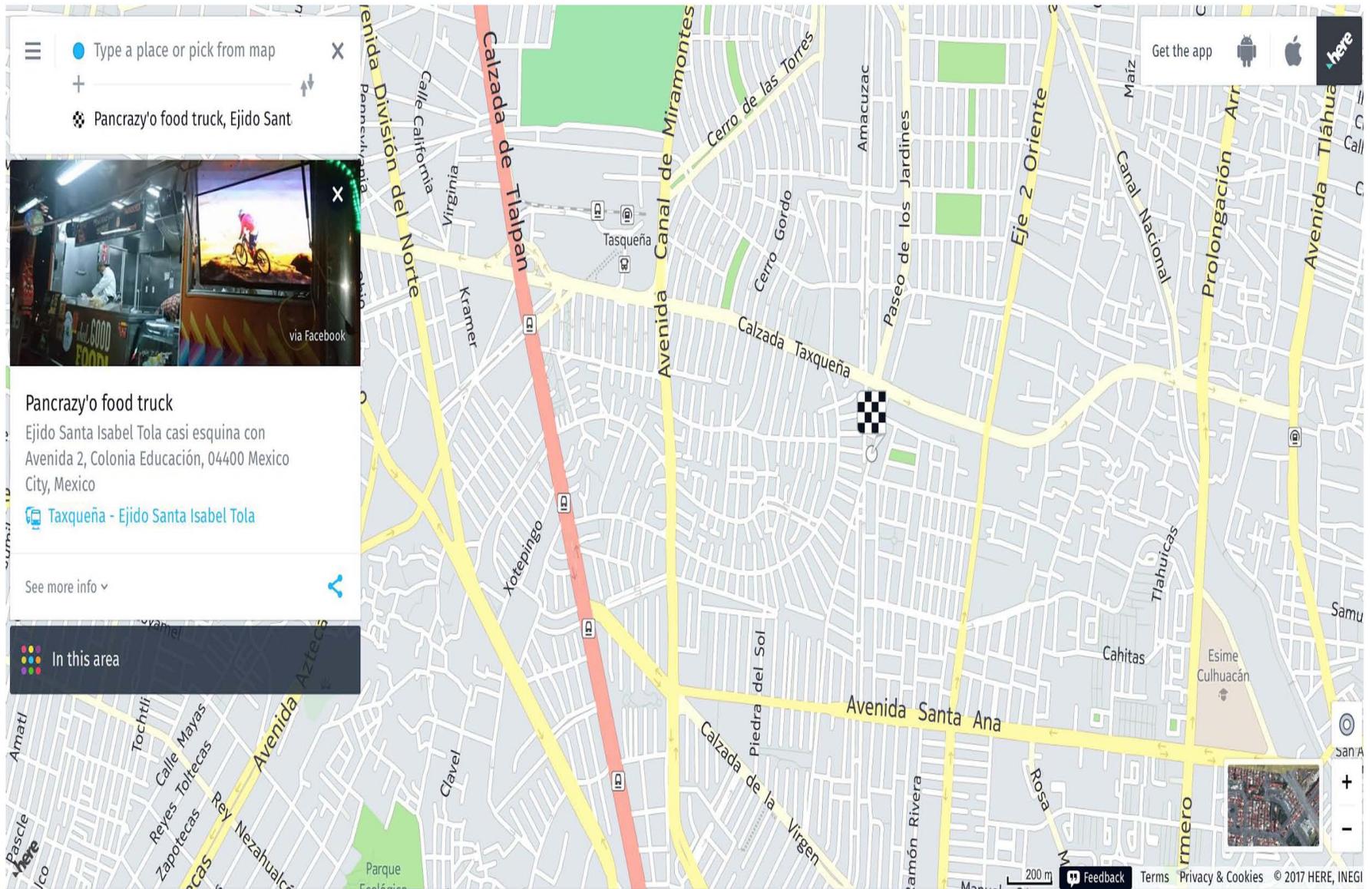


Figura 18 Ubicación exacta al momento del estudio del camión de comida (Pan Crazy's ), Abril 2018, Colonia Educación, Del. Coyoacán, México D.F.

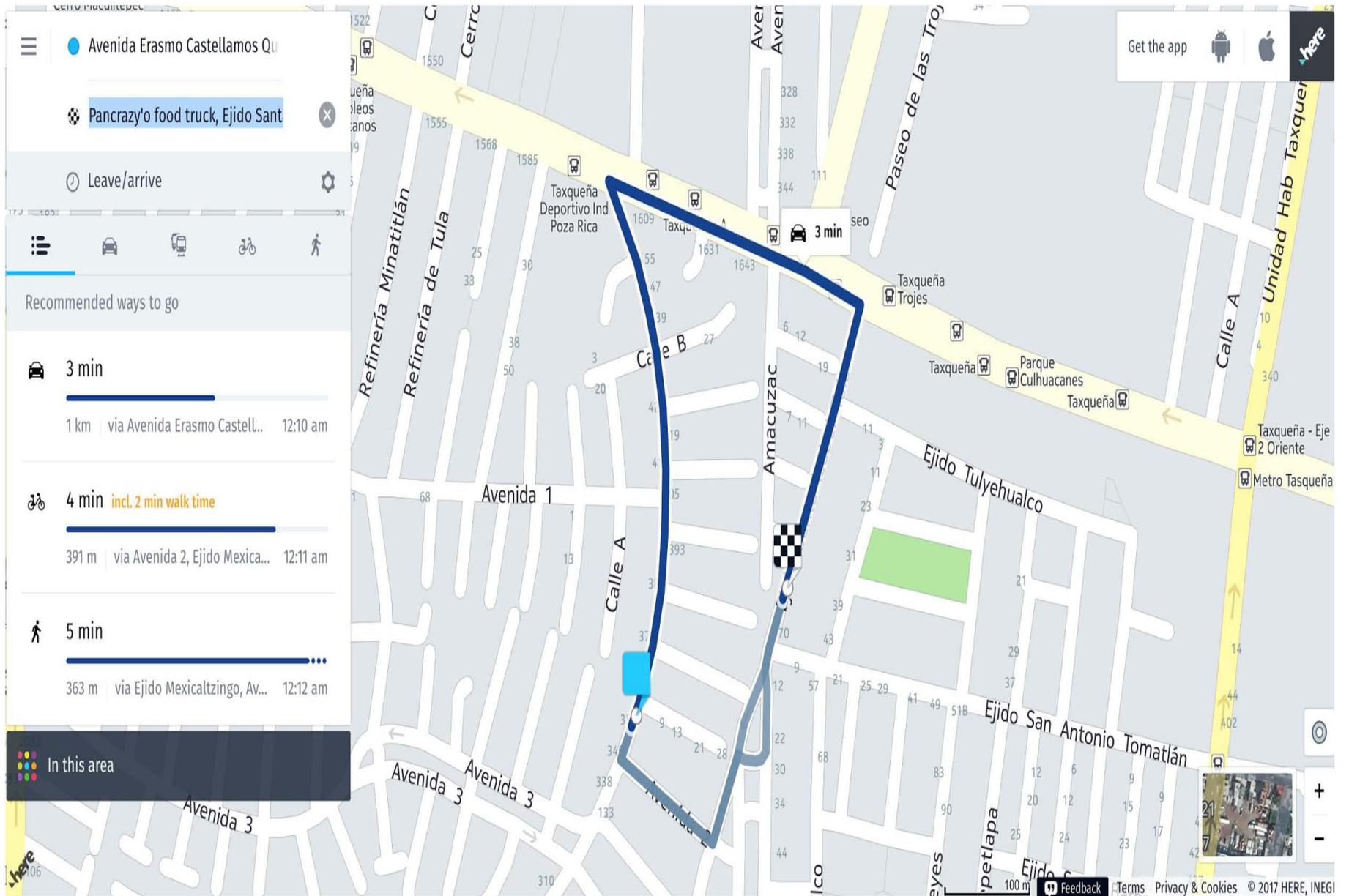


Figura 19 Ubicación (a nivel territorial de manzana) del camión de comida, Pancrazy'o, Abril 2018, Colonia Educación, Del. Coyoacán, México D.F.

## 3.2 Modelo de Huff

En 1959, David Huff creó el enfoque explicativo-estocástico, que se basa en el uso de modelos de probabilidad de elección. Estos introducen variables en la decisión de cada individuo o cliente para comprar algo y toman en cuenta la competencia (fundamental para ubicar un establecimiento comercial).

$$P_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{k=1}^n U_{ik}} \quad (45)$$

Donde  $P_{ij}$  es la probabilidad de que el cliente  $i$  visite el local o establecimiento  $j$ ;  $U_{ij}$  es la utilidad del establecimiento  $j$  para el cliente  $i$ , y  $n$  es el número de locales a considerar por el cliente.

$$P_{ij} = \frac{S_j^\alpha T_{ij}^\beta}{\sum_{k=1}^n S_k^\alpha T_{ik}^\beta} \quad (46)$$

Donde  $P_{ij}$  es la probabilidad de que el cliente  $i$  visite el local o establecimiento  $j$ ;  $S_j$  son los metros cuadrados de superficie de venta del equipamiento comercial existente en el municipio  $j$ ;  $S_k$  son los metros cuadrados de superficie de venta del equipamiento comercial existente en el municipio  $k$  o destino;  $T_{ij}$  es el tiempo empleado en el desplazamiento para llegar de la base  $i$  del consumidor al local o municipio  $j$ ;  $T_{ik}$  es el tiempo empleado en el desplazamiento para llegar de la base  $i$  del consumidor al municipio  $k$ ;  $\alpha$  es el parámetro que refleja la sensibilidad del cliente al tamaño, en metros cuadrados, del equipamiento comercial existente;  $\beta$  es el parámetro que refleja la sensibilidad del cliente en el tiempo de desplazamiento;  $n$  es el número de localidades o municipios considerados por el consumidor como otros posibles centros de atracción, junto con el municipio  $j$ . Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se calculan con base en datos empíricos y suelen coincidir con los de la ley de Reilly:  $\alpha = 1$  y  $\beta = -2$ .

Huff abrió una nueva perspectiva en modelos de gravitación comercial: los clientes son el foco de atención, y no los negocios. Frente a la tesis de Reilly de que los almacenes, comercios o establecimientos son los que ejercen la atracción sobre los clientes, Huff propone que los consumidores son los que deciden, con distintas probabilidades, dónde hacer sus compras.

Para las siguientes fórmulas, tómesese en cuenta que  $S_a$  es la superficie de establecimiento comercial  $a$  en metros cuadrados;  $S_b$  y  $S_c$  son lo mismo, pero para las localidades  $a$  y  $c$ .

$T_a$  es el tiempo de viaje entre el lugar de origen o procedencia del cliente  $i$  hacia el establecimiento  $a$ ;  $T_b$  y  $T_c$  son los tiempos de viaje de procedencia del cliente  $i$  a las localidades  $b$  y  $c$  respectivamente.

$P_{ia}$  es la probabilidad de que el cliente  $i$  haga sus compras en la localización  $a$ ; respectivamente,  $P_{ib}$  y  $P_{ic}$  son las probabilidades de que el cliente  $i$  haga sus compras en la localización  $a$  o  $c$ .

$$P_{ia} = \frac{S_a * T_a^{-2}}{S_a * T_a^{-2} + S_b * T_b^{-2} + S_c * T_c^{-2}} \quad (47)$$

$$P_{ib} = \frac{S_b * T_b^{-2}}{S_a * T_a^{-2} + S_b * T_b^{-2} + S_c * T_c^{-2}} \quad (48)$$

$$P_{ic} = \frac{S_c * T_c^{-2}}{S_a * T_a^{-2} + S_b * T_b^{-2} + S_c * T_c^{-2}} \quad (49)$$

**Tabla 3.9. Datos de uso y aplicación de modelo de Huff, en este caso se usó el tiempo de viaje como variable de fricción en el lugar de las distancias entre dos puntos**

Modelo de Huff					
Valores de entrada, superficie del camión de comida (food truck o establecimiento) Y velocidad del vehículo ((K/h), (m/s))					
Probabilidad de que el cliente valla a comprar	Superficie en (m) del camión	alfa	beta	Promedio de velocidad en auto en el DF	
	4 metros de largo por 2 de ancho	1	-2	17	km/h
	8			17000	60

Distancia en metros	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Educación	0	1800	1700	2000	1600
Campestre Churubusco	1800	0	2300	2000	2900
Ex ejido, San Fco Culhuacán	1700	2300	0	2300	900
Paseos de Taxqueña	2000	2000	2300	0	2400
Avante	1600	2900	900	2400	0

Valores de entrada de tiempo de traslado entre colonias (minutos)					
Tiempo en minutos	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Educación	0.35	6.35	6.00	7.06	5.65
Campestre Churubusco	6.35	0.35	8.12	7.06	10.24
Ex ejido, San Fco Culhuacán	6.00	8.12	0.35	8.12	3.18
Paseos de Taxqueña	7.06	7.06	8.12	0.35	8.47
Avante	5.65	10.24	3.18	8.47	0.35

Valores de salida, resultado del modelo de Huff, porcentaje o probabilidad de que el cliente visite el camión colocado en las siguientes colonias.

**Tabla 3.9. En este caso se usó el tiempo de viaje como variable de fricción en el lugar de las distancias entre dos puntos, Fórmula:**

$$\frac{((\text{superficie en } m^2 \text{ del camión}) * (\text{tiempo de traslado entre colonias (a)})^{-2})}{((\text{superficie camión } m^2) * ((\text{tiempo traslado colonias (a)})^{-2}) + (\text{tiempo traslado colonias (b)})^{-2}) + (\text{tiempo traslado colonias (c)})^{-2}) + (\text{tiempo traslado colonias (d)})^{-2})}$$

Educación		%
Probabilidad de que el cliente (i, Campestre Churubusco) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Educación).	Probabilidad de ir de Campestre Churubusco a Educación	0.36
Probabilidad de que el cliente (i, Ex Ejido San Francisco Culhuacán) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Educación).	Probabilidad de ir de Ex Ejido San Fco Culhuacán a Educación	0.18
Probabilidad de que el cliente (i, Paseos de Taxqueña) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Educación).	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a Educación	0.29
Probabilidad de que el cliente (i, Avante) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Educación).	Probabilidad de ir de Avante a Educación	0.20
<b>Suma de porcentajes</b>		<b>1</b>
Probabilidad de que el cliente (i, Avante) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Educación).	Probabilidad de ir de Educación a Educación	0.99

Campestre Churubusco		%
Probabilidad de que el cliente (i, Educación) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Educación a Campestre Churubusco	0.24
Probabilidad de que el cliente (i, Ex Ejido San Francisco Culhuacán) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Ex ej San Fco Culhuacán a Campestre Chu	0.10
Probabilidad de que el cliente (i, Paseos de Taxqueña) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a Campestre Chu	0.29
Probabilidad de que el cliente (i, Avante) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Avante a Campestre Chu	0.06
<b>Suma de porcentajes</b>		<b>0.69</b>
Probabilidad de que el cliente (i, Campestre Churubusco) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Campestre Chu a Campestre Chu	0.99

Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Churubusco		%
Probabilidad de que el cliente (i, Campestre Churubusco) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Campestre Churubusco a Sn Fco Culhuacán	0.22
Probabilidad de que el cliente (i, Educación) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Educación a San Francisco Culhuacán	0.27
Probabilidad de que el cliente (i, Paseos de Taxqueña) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a San Fco Culhuacán	0.22
Probabilidad de que el cliente (i, Avante) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Churubusco).	Probabilidad de ir de Avante a San Francisco Culhuacán	0.64
<b>Suma de porcentajes</b>		<b>1</b>
Probabilidad de que el cliente (i, Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Churubusco) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Chu).	Probabilidad de ir de Sn Fco Culhuacán a Sn Fco Culhuacán	0.98

Avante		%
Probabilidad de que el cliente (i, Campestre Churubusco) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Avante).	Probabilidad de ir de Campestre Churubusco a Avante	0.14
Probabilidad de que el cliente (i, Ex Ejido San Francisco Culhuacán) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Avante).	Probabilidad de ir de Ex ej. San Francisco Culhuacán a Avante	0.63
Probabilidad de que el cliente (i, Paseos de Taxqueña) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Avante).	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a Avante	0.20
Probabilidad de que el cliente (i, Educación) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Avante).	Probabilidad de ir de Educación a Avante	0.30
Suma de porcentajes		1
Probabilidad de que el cliente (i, Avante) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Avante).	Probabilidad de ir de Avante a Avante	0.98

Paseos de Taxqueña		%
Probabilidad de que el cliente (i, Campestre Churubusco) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Paseos de Taxqueña).	Probabilidad de ir de Campestre Churubusco a Paseos Taxqueña	0.29
Probabilidad de que el cliente (i, Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Chu) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Paseos de Taxqueña).	Probabilidad de ir de Ex Ej. San Fco Culhuacán a Paseos Taxqueña	0.10
Probabilidad de que el cliente (i, Educación) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Paseos de Taxqueña).	Probabilidad de ir de Educación a Paseos Taxqueña	0.19
Probabilidad de que el cliente (i, Avante) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Paseos de Taxqueña).	Probabilidad de ir de Avante a Paseos Taxqueña	0.88
Suma de porcentajes		1
Probabilidad de que el cliente (i, Paseos de Taxqueña) haga sus compras en la sucursal, comercio, localización (a, Paseos de Taxqueña).	Probabilidad de ir de Paseos Taxqueña a Paseos Taxqueña	0.99

La utilización de modelos de gravitación comercial es de gran utilidad para determinar el área de mercado o zona de influencia comercial, pues actúan como núcleos centrales de atracción comercial sobre lugares o poblaciones. Se pueden usar también las variables de masa y fricción (población y superficie de venta como las variables de masa; y la distancia y tiempo como las variables de fricción) o sustituirse por otras, como número de empleados, imagen, oferta de productos, costes de transporte, etcétera.

### 3.3 Modelo matemático (minimización de costos de localización)

- $i$  = Un índice para los sitios de las instalaciones.
- $I_0$  = Todo el grupo inicial de sitios candidatos “cerrados” para abrir instalaciones.
- $I_c$  = Todo el grupo inicial de sitios candidatos de instalaciones “abiertas” que pueden cerrar.
- $I = I_0 \cup I_c$  = Todo el grupo o universo de sitios candidatos para las instalaciones.
- $j$  = Un índice sobre los nodos de demanda.
- $J$  = Todo el universo de nodos de demanda.
- $t$  = Un índice en el tiempo.
- $T$  = Un índice del último periodo de tiempo en el cual las decisiones de ubicación fueron efectuadas o tomadas.
- $\tau$  = El número de periodos de tiempo totales en el horizonte de planeación.
- $h_{jt}$  = Demanda del nodo de  $j$ , que es el nodo de demanda en el tiempo  $t$ .
- $k$  = Vehículo que se seleccionará para proveer la materia prima que abastecerá la demanda.
- $K$  = Todo el conjunto posible de vehículos que se pueden utilizar para proveer la demanda.
- $C_a$  = Centro de abastecimiento (Central de Abastos)
- $U$  = Las rutas que se usaran para abastecer la materia prima hacia la instalación  $i$ , yendo de  $i$  a  $C_a$  y de  $C_a$  a  $i$  usando el vehículo  $k$  en el tiempo  $t$ .
- $Q$  = Capacidad del vehículo  $k$ .
- $W_i$  = Capacidad de la instalación  $i$ .
- $C_{it}$  = La suma de todos los costos fijos (de abrir y cerrar o cambiar de localización el punto de venta) en periodos de  $t$  a  $\tau$  (al final del horizonte de planeación) si la instalación es abierta en el sitio  $i$  en el inicio del periodo  $t$  para  $i \in I_0$ . A esto hay que sumarle el costo fijo de cerrar una instalación en el nodo  $i$  al final del periodo  $t$  para  $i \in I_c$ .
- $C_{fijt}$  = La suma de todos los costos fijos de operar una locación en un nodo  $i$  para los nodos de demanda  $j$  con demanda  $h_{jt}$  desde el periodo 1 el periodo mínimo para  $t$ .
- $C_{fkxt}$  = Costo fijo de mantenimiento de uso de vehículos  $k$  en el tiempo  $t$ .
- $d_{icat}$  = El costo total de enviar el material demandado desde  $C_a$  al nodo de apertura de la instalación  $i$ , desde el nodo  $i$  hacia el nodo  $C_a$  y de  $C_a$  a  $i$  en el periodo  $t$  con el vehículo  $k$ .
- Se asume que todos los costos son positivos.

$$X_{it} = \begin{cases} 1, & \text{si la instalación en el sitio } (i) \text{ es abierta al inicio del periodo } t \text{ para } i \in I_0 \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$X_{it} = \begin{cases} 1, & \text{si la instalación en el sitio } (i) \text{ es cerrada al final del periodo } \tau \text{ para } i \in I_c \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

- $\alpha = 1$ , si la instalación en el sitio  $i$ ,  $i \in I$  es abierta en algún periodo  $t$  dentro del horizonte de planeación  $\tau$ , para  $(t \in \tau)$ ,  $\alpha = 1 = X_{i\alpha}$

$$\alpha \subseteq t \in \tau$$

- $\beta = t$ , la instalación tiene que cerrar en algún momento  $t$ ,  $t \in \tau$ , o al final de horizonte de planeación  $\tau$ ,  $\beta = 1 = t$  si y solo si es la  $t$  del periodo final o último periodo, cerrando así el ciclo del horizonte de planeación  $\tau$ .

$$\beta \subseteq t \in \tau$$

$$y_{ijtk} = \begin{cases} 1, & \text{si la fracción del nodo de demanda } (j) \text{ es satisfecha por la instalación en } (i) \\ & \text{durante el periodo } (t) \text{ por el vehículo } (k). \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$f_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{si el cliente } (j) \text{ es asignado a la instalación } (i) \text{ en el tiempo } (t) \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

- Se define el siguiente problema de optimización:

$$\text{Min} Z = \sum_{i \in I} \sum_{t=1}^{\tau} C_{it} X_{it} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} \sum_{k \in K} d_{icat} Y_{ijtk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} C f_{ijt} X_{it} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} C_{fkxt} Y_{ijtk} \quad (50)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in I} Y_{ijtk} = 1 \quad \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (51)$$

$$\sum_{\alpha=1}^t X_{i\alpha} - y_{ijtk} \geq 0 \quad \forall i \in I_0, \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (52)$$

$$\sum_{\beta=t}^{\tau} X_{i\beta} - y_{ijtk} \geq 0 \quad \forall i \in I_c, \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (53)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{t \in \tau} h_{jt} Y_{ijtk} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (54)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ijtk} - \sum_{j \in J} Y_{jtk} = 0 \quad \forall i \in I, k \in K \quad (55)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} h_{jt} f_{ijt} \leq W_i X_{it}, W_i X_{i\alpha} \quad \forall i \in I \quad (56)$$

$$X_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, t \in \tau, \quad (57)$$

$$Y_{ijtk} \in \{0,1\}. \quad \forall i \in I, j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (58)$$

$$f_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in \tau, \quad (59)$$

La función objetivo (50) minimiza la suma de todos los costos de apertura de nuevas instalaciones y también de cerrar las instalaciones,<sup>32</sup> más la sumatoria de los costos de transportar el material o materia prima entre las instalaciones de  $i$  a los nodos de demanda  $j$ ,<sup>33</sup> más la sumatoria del costo fijo de operación de la instalación en los nodos  $i$  para satisfacer la demanda del nodo  $h_{jt}$  del nodo de demanda  $j$  en el periodo de tiempo  $t$ ,<sup>34</sup> más el costo de mantenimiento en general de los vehículos  $k$  de ruta.

La restricción (51) estipula que cada demanda del nodo  $j$  debe ser satisfecha por la instalación  $i$  en el periodo  $t$  por la ruta para el vehículo  $k$ .

Las restricciones (52) y (53) aseguran que la demanda en  $j$  no es asignada a una instalación en el nodo  $i$  en el periodo  $t$ , a no ser que la instalación sea abierta en el nodo  $i$  en el periodo  $t$ . La restricción (52) aplica principalmente a los sitios candidatos para abrir una instalación y establece que las demandas del nodo  $j$  en el periodo  $t$  con el vehículo  $k$  deben ser asignadas a una instalación en el nodo  $i$  si y solo si la instalación en el nodo  $i$  es abierta en uno de los periodos incluidos en  $(\tau)$ ,  $\alpha = 1 = X_{i\alpha}$ ,  $\alpha \subseteq t \in \tau$ .

La restricción (54) aplica si estos sitios, que fueron inicialmente abiertos para establecer que la demanda en el nodo  $j$  en el periodo  $t$ , pueden ser asignados a una instalación ya abierta en el nodo  $i$  abastecida por el vehículo  $k$  y si y solo si la instalación en el nodo  $i$  es cerrada al final del periodo  $t$  o en un periodo subsecuente ( $\beta = t, \beta \subseteq t \in \tau$ ). El modelo asume que todas las instalaciones abiertas eventualmente serán cerradas al final del periodo  $\tau$ , permitiendo que todas las demandas sean asignadas a las instalaciones en todo el horizonte de planeación.

---

<sup>32</sup> En el costo de apertura para  $i \in I_0$  se consideraron las sumatorias de todas las inversiones básicas para arrancar el proyecto desde la inversión de compra, renta o adaptación del vehículo o punto de venta, inversión de marketing y publicidad, un stock de materia prima para elaborar los productos al inicio del periodo  $t = 1$  como mínimo, utensilios y herramientas de trabajo y gastos administrativos con alguna autoridad o delegación gubernamental. Y en el caso de  $i \in I_c$ , que es para la sumatoria de costos de cerrar o cambiar de ubicación del nodo  $i$  al final del periodo  $\tau$ , serían los costos administrativos con algún tipo de autoridad por el cambio de locación y ubicación; en caso de cerrar definitivamente el negocio, sería la suma de los costos de algún activo fijo con su debida depreciación en el vehículo y la herramienta o utensilios de trabajo, etcétera.

<sup>33</sup> El valor de  $d_{iCat}$  es la distancia total en kilómetros entre los gastos operativos de transporte, como son los kilómetros por litro que brinda el vehículo  $k$  más algún tipo de gasto de pago de chofer, estacionamientos y, en su caso, algún tipo de caseta.

<sup>34</sup> Pago de trabajadores, costo de materia prima por  $h_{jt}$  para satisfacer la demanda.

La restricción (54) nos indica que la demanda  $h_{jt}$  del nodo de demanda  $j$  no debe superar la capacidad  $Q$  del vehículo  $k$ .

La restricción (55) nos indica que la ruta debe terminar justo en el depósito  $i$  donde empezó.

La restricción (56) nos da el límite de capacidad del depósito  $i$ , que es  $W_i X_{it}, W_i X_{i\alpha}$ , y que no debe ser sobrepasada por la demanda  $h_{jt}$  de  $j$ .

La restricción (57) es una de integridad en la locación de la variable  $X_{it}$ . La restricción (58) es una de integridad en el flujo de la variable  $y_{ijtk}$ . La restricción (59) es una de integridad de la variable  $f_{ijt}$ .

No se abrirá o se cerrará una instalación más de una vez. Esto resulta de la no negatividad de los coeficientes  $C_{it}, C_{fijt}, C_{fkxt}$  y del hecho de que las restricciones (53) y (54) implican que  $\sum_{t=1}^{\tau} X_{it} \leq 1$  para todos los nodos  $i$ . Este problema  $P(\tau: T, X_T)$  es un modelo de localización dinámica de carga fija capacitado, donde las facilidades serán abiertas o cerradas a lo más una vez.

## **3.4 Planteamiento de algoritmo y su programación (modelos matemáticos Reilly, Huff y reducción de costos en Matlab)**

### **3.4.1 Programa en general (menú)**

El programa está formado por dos funciones

**ACostos:** Se tiene una sola sección, la cual es el menú, a través del cual el usuario puede suministrar toda la información. Puede seleccionar tres opciones: tomar datos desde un archivo de Excel, suministrar datos nuevos y guardarlos en un archivo. mat o cargar datos previamente guardados en un archivo. mat.

## ACostos\_Solver:

- **Dimensiones de matrices:** sección en la cual obtienen valores de comparación entre cada matriz suministrada.
- **Buscando errores:** se verifica que todas las matrices tengan las dimensiones apropiadas.
- **Posicionando variables:** se posicionan todas las variables en el vector correspondiente.
- **Condición 1 a condición 7:** aquí se reparten en 11 secciones diferentes las condiciones establecidas transformadas, tal y como fueron planteadas al ajustarlas al método.
- **Función objetivo:** en esta sección se crea la matriz que determinará la función objetivo.
- **Definiendo intervalos y definiendo variables con valores enteros:** en estas secciones se establecen las variables binarias.
- **Solver:** sección en la cual se ejecuta la subrutina intlinprog con todos los datos creados y suministrados.
- **Dando valores a las variables:** de haber una solución óptima al problema, en esta sección se crea la estructura correspondiente donde se guardará la solución.
- **Mostrando resultados:** en esta sección se muestra el valor de las variables en el Command Window.
- **Mandando variables a Workspace:** se guarda la estructura solución en el Workspace para que pueda ser visualizada por el usuario.

### 3.4.2 Modelo matemático de costos

#### Datos de entrada

**Tabla 3.10. Datos de entrada del modelo matemático de costos: Datos y especificaciones de los valores de entrada para el algoritmo y su programación.**

Variable	Descripción	Naturaleza
$I_0$	Todo el grupo inicial de sitios candidatos “cerrados” para abrir instalaciones	Matriz de elementos reales enteros
$I_c$	Todo el grupo inicial de sitios candidatos de “instalaciones abiertas” que pueden cerrar	Matriz de elementos reales enteros
$I$	$I_0 \cup I_c =$ Todo el grupo o universo de sitios candidatos para las instalaciones	Valor real entero
$J$	Todo el universo de nodos de demanda	Valor real entero
$\tau$	El número de periodos de tiempo totales en el horizonte de planeación	Valor real entero
$h_{jt}$	Demanda del nodo de $j$ , que es el nodo de demanda en el tiempo $t$	Matriz de elementos reales
$K$	Todo el conjunto posible de vehículos que se pueden utilizar para proveer la demanda	Valor real entero
$Ca$	Centro de abastecimiento de materia prima	Matriz de elementos reales

		enteros
$Q_k$	Capacidad del vehículo $k$	Matriz de elementos reales enteros
$W_i$	Capacidad de la instalación $i$	Matriz de elementos reales enteros
$C_{it}$	La suma de todos los costos fijos (de abrir y cerrar o cambiar de localización el punto de venta) en periodos de $t$ a $\tau$ (al final del horizonte de planeación), si la instalación es abierta en el sitio $i$ en el inicio del periodo $t$ para $i \in I_0$ ; más el costo fijo de cerrar una instalación en el nodo $i$ al final del periodo $t$ para $i \in I_c$	Matriz de elementos reales
$C_{fijt}$	La suma de todos los costos fijos de operar una locación en un nodo $i$ para los nodos de demanda $j$ con demanda $h_{jt}$ desde el periodo 1 el periodo mínimo para $t$	Matriz de elementos reales
$C_{fkxt}$	Costo fijo de mantenimiento de uso de vehículos $k$ en el tiempo $t$	Matriz de elementos reales
$d_{ijt}$	Costo total de enviar el material demandado del nodo $j$ , desde el nodo $i$ hacia el nodo $j$ en el periodo $t$	Matriz de elementos reales

### Datos de salida

$$X_{it} = \begin{cases} 1, & \text{si la instalación en el sitio } (i) \text{ es abierta al inicio del periodo } t \text{ para } i \in I_0 \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$X_{it} = \begin{cases} 1, & \text{si la instalación en el sitio } (i) \text{ es cerrada al final del periodo } \tau \text{ para } i \in I_c \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

- Si la instalación en el sitio  $i$ ,  $i \in I$ , es abierta en algún periodo  $t$  dentro del horizonte de planeación  $\tau$ , para  $t \in \tau$ , entonces  $\alpha = 1 = X_{i\alpha}$

- La instalación tiene que cerrar en algún momento  $t$ ,  $t \in \tau$ , o al final de horizonte de planeación  $\tau$ ,  $\beta = 1 = t$  si y solo si es la  $t$  del periodo final o último periodo, cerrando así el ciclo del horizonte de planeación  $\tau$ .

$$y_{ijtk} = \begin{cases} 1, & \text{si la fracción del nodo de demanda } (j) \text{ es satisfecha por la instalación en } (i) \\ & \text{durante el periodo } (t) \text{ por el vehículo } (k). \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$f_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{si el cliente } (j) \text{ es asignado a la instalación } (i) \text{ en el tiempo } (t) \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Con la siguiente función de costos:

$$Z = \sum_{i \in I} \sum_{t=1}^{\tau} C_{it} X_{it} \text{alfa} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} \sum_{k \in K} d_{ijt} Y_{ijtk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} C_{fijt} X_{it} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} C_{fkxt} Y_{ijtk}$$

Entonces, se plantea el problema de optimización en el que se debe buscar el valor mínimo de  $Z$  sujeto a:

$$\sum_{i \in I} Y_{ijtk} = 1 \quad \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (60)$$

$$\sum_{\alpha=1}^t X_{i\alpha} - y_{ijtk} \geq 0 \quad \forall i \in I_0, \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (61)$$

$$\sum_{\beta=t}^{\tau} X_{i\beta} - y_{ijtk} \geq 0 \quad \forall i \in I_c, \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (63)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{t \in \tau} h_{jt} Y_{ijtk} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (64)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ijtk} - \sum_{j \in J} Y_{jitk} = 0 \quad \forall i \in I, k \in K \quad (65)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} h_{jt} f_{ijt} \leq W_i X_{it}, W_i X_{i\alpha} \quad \forall i \in I, \quad (66)$$

Con elementos de salida binarios, esto es:

$$X_{it} \in \{0,1\}; Y_{ijtk} \in \{0,1\}; f_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in \tau, k \in K,$$

El problema planteado es un problema de optimización restringida que puede solucionarse utilizando programación lineal mixta entera/binaria. Se recomienda (debido a errores de redondeo y a la capacidad máxima del almacenamiento con variables flotantes y dobles cambiar las inecuaciones y fijar una tolerancia:

La minimización de  $Z$  sujeto a condiciones lineales  $[A]\{x\} \leq \{B\}$ , por lo que las ecuaciones se escriben:

$$\sum_{i \in I} Y_{ijtk} \leq 1 + Tol \quad \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (67)$$

$$-\sum_{i \in I} Y_{ijtk} \leq -1 + Tol \quad \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (68)$$

$$-\sum_{\alpha=1}^t X_{i\alpha} + y_{ijtk} \leq 0 \quad \forall i \in I_0, \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (69)$$

$$-\sum_{\beta=t}^{\tau} X_{i\beta} + y_{ijtk} \leq 0 \quad \forall i \in I_c, \forall j \in J, t \in \tau, k \in K, \quad (70)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{t \in \tau} h_{jt} Y_{ijtk} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (71)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ijtk} - \sum_{j \in J} Y_{jitk} \leq 0 + Tol \quad \forall i \in I, k \in K \quad (72)$$

$$-\sum_{j \in J} Y_{ijtk} + \sum_{j \in J} Y_{jitk} \leq 0 + Tol \quad \forall i \in I, k \in K \quad (74)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in \tau} h_{jt} f_{ijt} - W_i X_{it}, W_i X_{i\alpha} \leq 0, \quad \forall i \in I \quad (75)$$

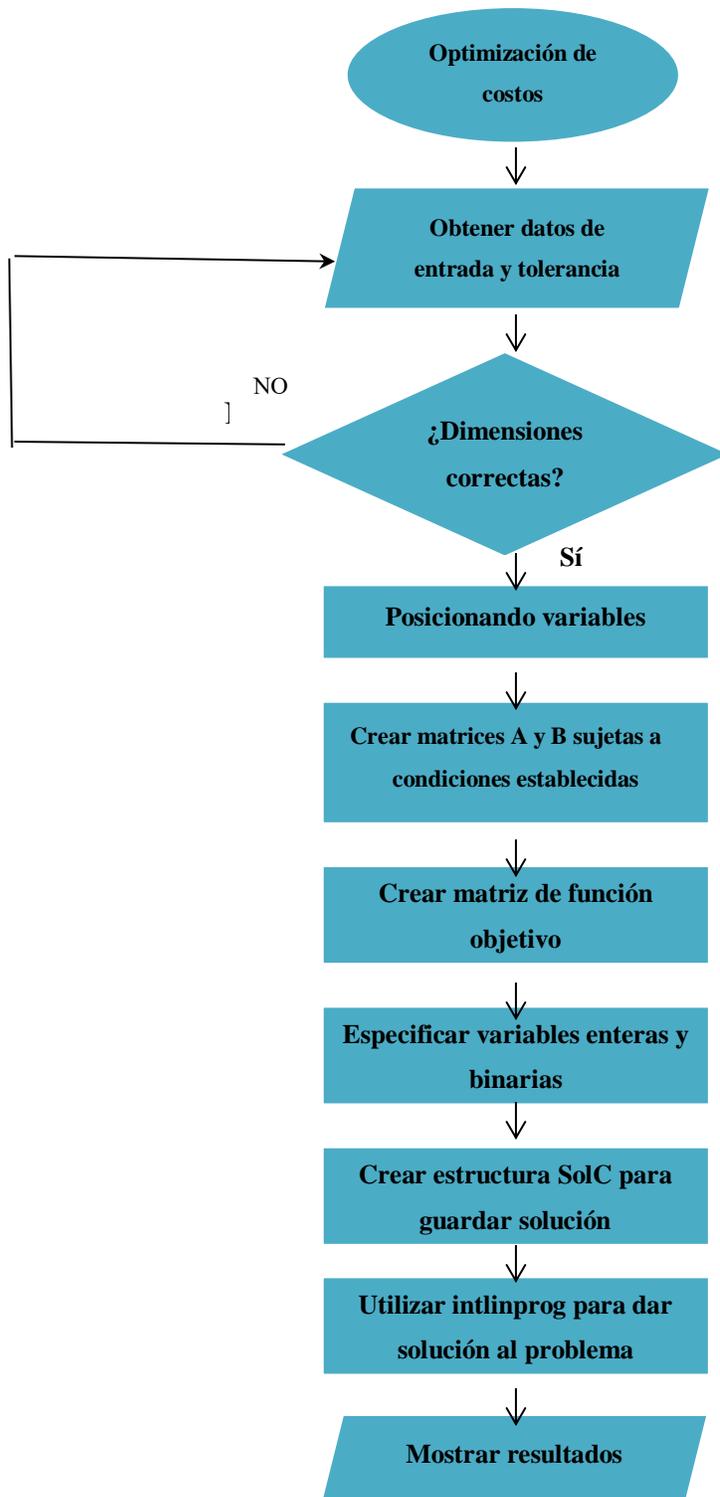
Donde  $Tol$  es una tolerancia especificada por el programador.

Ahora bien, la matriz  $A$  contiene los coeficientes de las variables de los polinomios, entonces  $A$  es una matriz de orden  $n \times m$ , donde  $n$  es la cantidad de inecuaciones y  $m$  es la cantidad de variables,  $x$  es un vector columna ( $m \times 1$ ) que contendrá las variables, por lo que  $B$  es un vector columna ( $n \times 1$ ) que contiene el lado derecho de las inecuaciones (o el opuesto del término independiente de los polinomios). Bajo esa perspectiva, se plantea el siguiente algoritmo:

1. Obtener los valores de entrada.
2. Especificación de tolerancia.
3. Verificar dimensiones de las matrices en busca de errores.
4. Especificar las posiciones de las variables en el vector  $\{x\}$ .
5. Crear matriz  $A$  y  $B$  a partir de las condiciones a las que está sujeta el problema.
6. Crear vector de función objetivo a partir de las variables y sus coeficientes.
7. Especificar variables binarias.
8. Utilizar subrutina `intlinprog` fijando una tolerancia de resultados.
9. Guardar solución en estructura *SolC*.
10. Mostrar resultados.

En diagrama de flujo

Figura 20 Estructura del programa: ACostos.m



### 2.4.3 Modelo de Huff

#### Datos de entrada

Tabla 3.11. Datos de entrada modelo de Huff: Datos y especificaciones de los valores de entrada para el algoritmo y su programación.

Variable	Descripción	Naturaleza
$T_{ij}$	Tiempo empleado en el desplazamiento para llegar de la base $i$ del consumidor al local o municipio $j$	Matriz de elementos reales
$S_j$	Metros cuadrados de superficie en venta, con todo el equipamiento comercial existente en el municipio $j$	Matriz de elementos reales
$N$	Número de todas las localidades o municipios considerados por el consumidor como otros posibles centros de atracción, junto con el municipio $j$	Valor entero

#### Datos de salida

$P_{ij}$ : Probabilidad de que el cliente  $i$  visite el local o establecimiento  $j$ .

$$P_{ij} = \frac{S_j^\alpha T_{ij}^\beta}{\sum_{k=1}^n S_j^\alpha T_{ij}^\beta}$$

En donde  $\alpha = 1$  y  $\beta = -2$ . Es un problema explícito que puede ser resuelto directamente.

El algoritmo es:

1. Obtención de valores de entrada.
2. Calcular la probabilidad  $P$  para cada  $ij$ .
3. Guardar solución en estructura *SolH*.
4. Mostrar resultados.

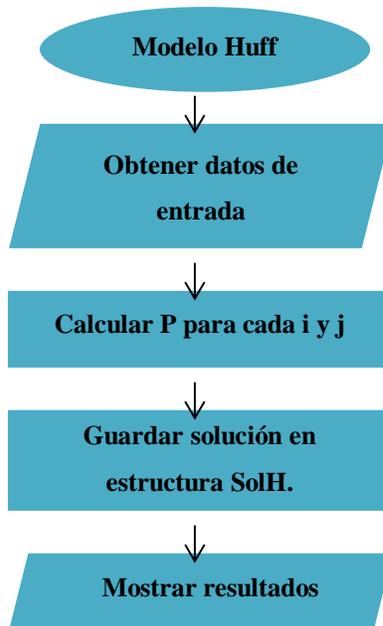


Figura 21 Estructura del programa: Huff.m (diagrama de flujo)

Este programa está formado por dos funciones: **Huff**, **Huff\_Solver**.

**ACostos**: tiene una sola sección, la cual es el menú, a través del cual el usuario puede suministrar toda la información. Puede seleccionar tres opciones: tomar datos desde un archivo de Excel, suministrar datos nuevos y guardarlos en un archivo. mat, o cargar datos previamente guardados en un archivo. mat.

**ACostos\_Solver**: está formada por una sola sección en la cual se especifica  $\alpha = 1$  y  $\beta = -2$ , se calcula el valor de la probabilidad.

Se guardan los datos de la solución y se muestran resultados.

### 3.4.4 Modelo de Reilly

#### Datos de entrada

Tabla 3.12. Datos de entrada modelo de Reilly: Datos y especificaciones de los valores de entrada para el algoritmo y su programación.

Variable	Descripción	Naturaleza
$P_a$	Población de la localidad $a$	Valor real
$P_b$	Población de la localidad $a$	Valor real
$D_a$	Distancia del punto de referencia $t$ a la localidad $a$	Valor real
$D_b$	Distancia del punto de referencia $t$ a la localidad $b$	Valor real

### Datos de salida

$\frac{V_a}{V_b}$ : relación entre importe de ventas de la localidad  $a$  que atrae de  $t$  y el importe de ventas de la localidad  $b$  que atrae de  $t$ .

$$\frac{V_a}{V_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^1 * \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^2$$

Solución obtenida de manera explícita en el código **Reilly.m**:

1. Obtención de datos de entrada.
2. Solución de la ecuación.
3. Mostrar y guardar resultados.

### 3.4.5 Modelo de Reilly (punto de indiferencia)

#### Datos de entrada

Tabla 3.13. Datos de entrada modelo de Reilly con punto de indiferencia Datos y especificaciones de los valores de entrada para el algoritmo y su programación.

Variable	Descripción	Naturaleza
$P_a$	Población de la localidad $a$	Valor real
$P_b$	Población de la localidad $a$	Valor real
$D_{ab}$	Distancia de la localidad ( $a$ ) a la localidad $b$ .	Valor real

#### Datos de salida

$D_{ab}$ : límite del área o saborea comercial de la localidad o municipio  $ha$  medido en kilómetros a lo largo de la carretera, calle o vía de comunicación que conduce a la localidad  $b$ , por lo que dicha distancia es el punto de indiferencia (I) entre ambas localidades ( $a$ ,  $b$ ).

$$D_{al} = \frac{D_{ab}}{1 + \sqrt{\frac{P_b}{P_a}}} \quad (76)$$

Solución obtenida de manera explícita en el código **ReillyPI.m**:

1. Obtención de datos de entrada.
2. Solución de la ecuación.
3. Mostrar y guardar resultados.

### **3.4.6 IDO: Investigación de operaciones (programa)**

El acceso a todos los códigos antes mostrados es a través del código **IDO.m**, el cual posee un menú donde se puede escoger que modelo se utilizará y, posteriormente, hacer la redirección de forma automática al código implicado.

En otras palabras, para usar el programa, basta con ingresar en Matlab y seleccionar como carpeta de trabajo la carpeta en la que están todos los códigos del programa. Después, se escribe en la ventana de comandos “IDO”. A partir de ahí, podrá continuar con el programa de forma natural.

# Capítulo 4 Resultados

## 4.1 Modelo de Reilly

El modelo de Reilly tenía como objetivo conocer los valores esperados de venta o el peso esperado de las ventas que se busca atraer de las colonias en comparación, tomando como base o punto de ubicación alguna de ellas. Se tomó la distancia de la colonia base hacia alguna de las otras dos colonias en comparación, se multiplicó el peso o valor de la población de las dos colonias que se están comparando por la división de sus distancias al cuadrado. Después, se procedió a la división final. El resultado más cercano a 1 es donde se podrá atraer más población a menor distancia respecto de la ubicación de la colonia base. Los resultados que sobrepasan el 1 nos indican que estará sobrada o no es posible cubrir la demanda, con una oferta insuficiente.

**Tabla 4.1 Datos de entrada y resultados del modelo de Reilly: Podemos ver los resultados, en los cuales el sitio donde la diferencia es menor es la colonia Paseos de Taxqueña, aparte es la que tiene menor sobrepaso de demanda y el segundo menor porcentaje de faltante de cubrir demanda.**

$$\begin{aligned}
 & (\text{sobrepaso de la demanda}) - (\text{faltantes de cubrir demanda}) = \text{Diferencia} \\
 & = ((\text{sobrepaso de la demanda}), \text{es la suma de sitios donde no se cubre la demanda}) - \\
 & ((\text{faltantes de cubrir demanda}), \text{son la suma de los sobrantes de la capacidad de oferta})
 \end{aligned}$$

Reilly			
Nodo de instalación (i)	Nodo de demanda (j)		
	Sobrepaso de demanda	Faltante de cubrir demanda	Diferencia
Educación	2.22	1.43	Periodo 1 3.66
Campestre Churubusco	6.35	2.63	Periodo 2 8.97
Ex ejido, San Fco Culhuacán	10.82	2.90	Periodo 3 13.72
Paseos de Taxqueña	2.12	1.46	Periodo 4 3.58
Avante	19.34	3.71	Periodo 5 23.05

$$\frac{V_a}{V_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^1 * \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^2 = \left(\left(\frac{\text{Población (a)}}{\text{Población (b)}}\right)^1 * \left(\frac{\text{Distancia (b)}}{\text{Distancia (a)}}\right)^2\right)$$

Valores de entrada Periodo 4				
Población		Distancia		
Educación	8,951	Paseos de Taxqueña	2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán
Ex ejido, San Fco Culhuacán	12,187		2000	Educación 0.97
Educación	8,951		2000	Campestre Churubusco
Campestre Churubusco	12,187		2000	Educación 0.73
Educación	8,951		2400	Avante
Avante	9,909		2000	Educación 1.30

Valores de entrada Periodo 4					
Población		Distancia			
Ex ejido, San Fco Culhuacán	12,187	Paseos de Taxqueña	2000	Campestre Churubusco	
Campestre Churubusco	12,187		2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán	0.75
Ex ejido, San Fco Culhuacán	12,187		2000	Educación	
Educación	8,951		2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.02
Ex ejido, San Fco Culhuacán	12,187		2400	Avante	
Avante	9,909		2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán	1.33
Valores de entrada Periodo 4					
Población		Distancia			
Campestre Churubusco	12,187	Paseos de Taxqueña	2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán	
Ex ejido, San Fco Culhuacán	12,187		2000	Campestre Churubusco	1.32
Campestre Churubusco	12,187		2000	Educación	
Educación	8,951		2000	Campestre Churubusco	1.36
Campestre Churubusco	12,187		2400	Avante	
Avante	9,909		2000	Campestre Churubusco	1.77

Valores de entrada Periodo 4					
Población		Distancia			
Avante	9,909	Paseos de Taxqueña	2000	Campestre Churubusco	
Campestre Churubusco	12,187		2400	Avante	0.56
Avante	9,909		2000	Educación	
Educación	8,951		2400	Avante	0.76
Avante	9,909		2300	Ex ejido, San Fco Culhuacán	
Ex ejido, San Fco Culhuacán	12,187		2400	Avante	0.74
					2.12
					1.45

Podemos ver los resultados, en los cuales el sitio donde la diferencia es menor es la colonia Paseos de Taxqueña, aparte es la locación que tiene menor sobrepaso de demanda y el segundo menor porcentaje de faltante de cubrir demanda. El resultado hará posible ubicar el camión de comida y así tener una mayor atracción de mercado de demanda a la colonia Paseos de Taxqueña.

```

Users \MauricioQuiroz \Documents \MATLAB
Command Window
INVESTIGACION DE OPERACIONES
V0.1Alfa

Ingrese el nombre del archivo .mat que desea crear: 1234
Poblacion de la localidad A: 12187
Poblacion de la localidad B: 7026
Distancia de la localidad A a T: 1800
Distancia de la localidad B a T: 1700
Va/Vb = 35220430000 / 22764240000 = 1.5472
fx >>

```

Figuras 22. Programa en Matlab del modelo de Reilly

$$\frac{V_a}{V_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^1 * \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^2 = \left(\left(\frac{\text{Población (a)}}{\text{Población (b)}}\right)^1 * \left(\frac{\text{Distancia (b)}}{\text{Distancia (a)}}\right)^2\right) = \left(\left(\frac{12187}{7026}\right)^1 * \left(\frac{1700}{1800}\right)^2\right) = \frac{35220430000}{22764240000} = 1.55$$

## 4.2 Punto de indiferencia

### Resultados

Para estos cálculos, se tomó la distancia entre colonias Educación y Avante, por ejemplo, divididas entre  $1 +$  la raíz del número de habitantes totales en la colonia en comparación (en este caso Avante), entre el número de habitantes de la colonia base (Educación). Y sucesivamente con las otras colonias.

Con el modelo de Reilly, se observa que, si se ubica el camión de comida en la colonia Educación, la colonia aledaña es la más baja en cuanto a valor de indiferencia al cliente le da lo mismo ir a la colonia Avante o a la Educación, porque solo las separan 779.67 metros. La distancia entre colonias no es determinante, pero influye bastante; también influye la población de cada colonia.

Para este caso, si se ubica el camión en Paseos de Taxqueña, esta es la colonia que presenta mayores rangos de distancia: el cliente tendría un mayor rango de distancia para que no considere escoger otro lugar donde abastecer su demanda.

Suma de las distancias (m) de los puntos de indiferencia				
(a)				
Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
3347.94	4713.66	3097.27	5023.94	3717.19

**Tabla 4.2. Resultados del modelo de Reilly con punto de indiferencia**

Datos Finales de salida		(j)			
(i)		Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Punto en (m) de indiferencia	Educación	830.70	901.39	836.18	779.67
(i)		Educación	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Punto en (m) de indiferencia	Campestre Churubusco	969.30	1307.35	912.07	1524.94
(i)		Campestre Churubusco	Educación	Paseos de Taxqueña	Avante
Punto en (m) de indiferencia	Ex ejido, San Fco Culhuacán	992.65	798.61	894.60	411.41
(i)		Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Educación	Avante
Punto en (m) de indiferencia	Paseos de Taxqueña	1087.93	1405.40	1163.82	1366.79
(i)		Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Educación
Punto en (m) de indiferencia	Avante	1375.06	488.59	1033.21	779.67

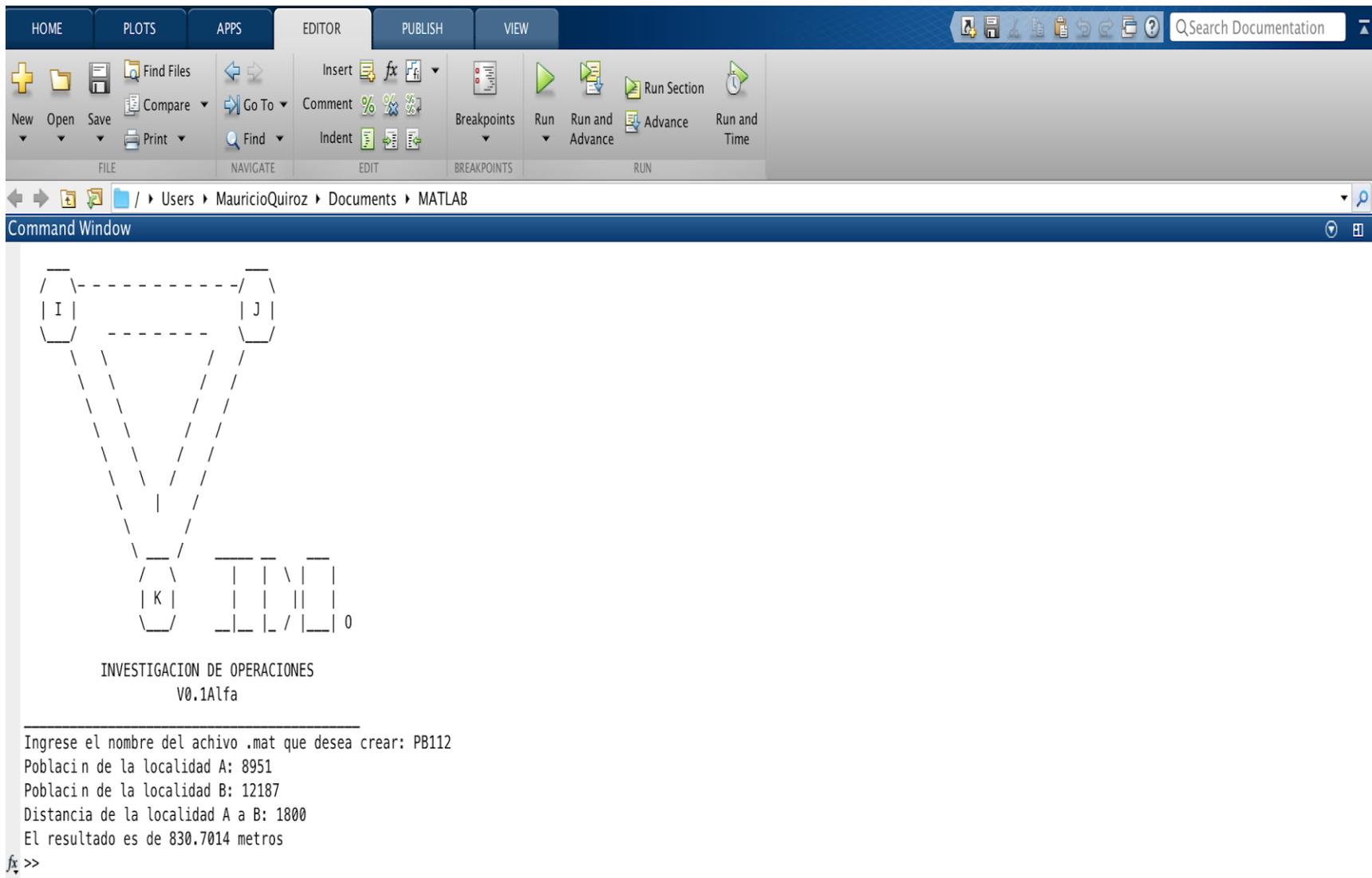


Figura 23. Programación de modelo de Reilly con punto de indiferencia.

$$\left( \left( \left( \text{distancia entre colonias de estudio} \right) / \left( 1 + \sqrt{\left( \frac{\text{hábitantes colonia en comparación}}{\text{hábitantes colonia base de estudio Educación}} \right)} \right) \right) \right)$$

## 4.3 Modelo de Huff

Tabla 4.3. Resultados Modelo de Huff

$$\frac{((\text{superficie en } m^2 \text{ del camión}) * (\text{tiempo de traslado entre colonias (a)})^{-2})}{((\text{superficie camión } m^2) * ((\text{tiempo traslado colonias (a)})^{-2}) + (\text{tiempo traslado colonias (b)})^{-2}) + (\text{tiempo traslado colonias (c)})^{-2}) + (\text{tiempo traslado colonias (d)})^{-2})}$$

Huff					
Nodo de instalación (i)	Probabilidad de ir de Campestre Chu a Educación	Probabilidad de ir de Ex ej. San Fco Culhuacán a Educación	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a Educación	Probabilidad de ir de Avante a Educación	Periodo 1
Educación	0.36	0.18	0.29	0.20	Nodo de demanda (j)
Nodo de instalación (i)	Probabilidad de ir de Educación a Campestre Chu	Probabilidad de ir de Ex ej. San Fco Culhuacán a Campestre Chu	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a Campestre Chu	Probabilidad de ir de Avante a Campestre Chu	Periodo 2
Campestre Churubusco	0.24	0.10	0.29	0.06	Nodo de demanda (j)
Nodo de instalación (i)	Probabilidad de ir de Campestre Chu a Sn Fco Culh	Probabilidad de ir de Educación a Sn Fco Culh	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a Sn Fco Culh	Probabilidad de ir de Avante a Sn Fco Culh	Periodo 3
San Francisco Culhuacán	0.22	0.27	0.22	0.64	Nodo de demanda (j)
Nodo de instalación (i)	Probabilidad de ir de Campestre Chu a Avante	Probabilidad de ir de Ex ej. San Fco Culhuacán a Avante	Probabilidad de ir de Paseos de Taxqueña a Avante	Probabilidad de ir de Educación a Avante	Periodo 4
Avante	0.14	0.63	0.20	0.30	Nodo de demanda (j)
Nodo de instalación (i)	Probabilidad de ir de Campestre Chu a Paseos Tax	Probabilidad de ir de Ex ej. San Fco Culhuacán a Paseos Tax	Probabilidad de ir de Educación a Paseos Tax	Probabilidad de ir de Avante a Paseos Tax	Periodo 4
Paseos de Taxqueña	0.29	0.10	0.19	0.88	

En este modelo, se investigan las probabilidades de que un cliente visite el camión situado en una colonia base elegida. Con esto se puede predecir de qué colonia proviene mayoritariamente la demanda dependiendo de dónde se coloque el camión de comida. Esto se logra multiplicando la superficie de nuestro camión por el tiempo de desplazamiento de la colonia base donde se encuentra situado el camión de comida (elevado a la -2), entre la multiplicación de la superficie del punto de venta por la distancia de cada una de las demás colonias en comparación (elevado a la -2).

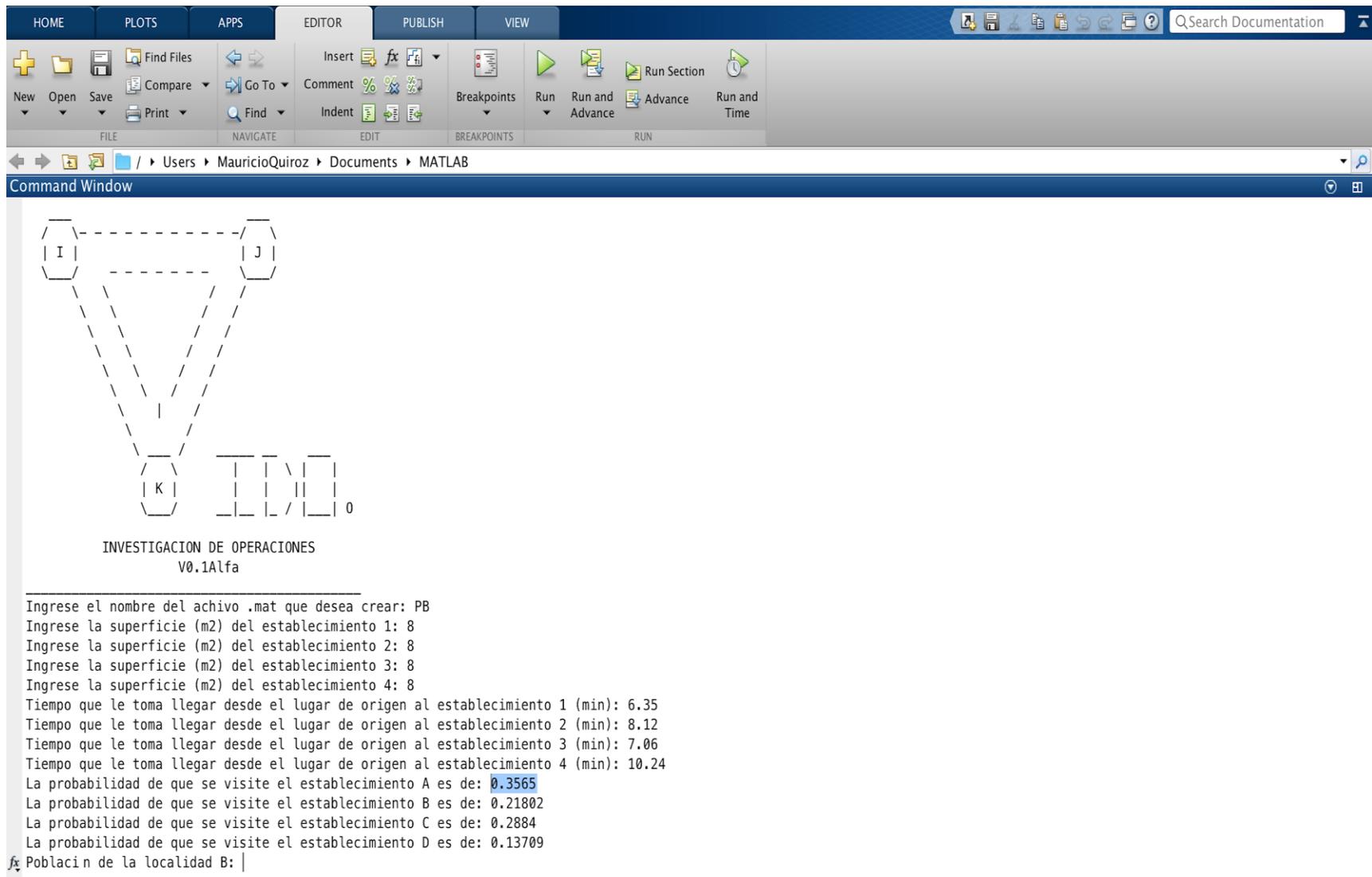


Figura 24. Programación de modelo de Huff

Huff	
Nodo de instalación (i)	Probabilidad de ir de Campestre Chu a Educación
Educación	0.36

## 4.4 Modelo de costos

Modelo matemático (minimización de costos de localización)

**Tabla 4.4. Resultados y datos de entrada a detalle del modelo de reducción de costos**

$i$  = Un índice para los sitios de las instalaciones

$I_0$  = Todo el grupo inicial de sitios candidatos "cerrados" para abrir instalaciones

$I_0$ = Todo el grupo inicial de sitios candidatos "cerrados" para abrir instalaciones		
	Colonias	Estos son los sitios candidatos en mi proyecto (dentro de estas colonias), el punto de partida o donde se localiza el camión de comida actualmente es un punto en la colonia Educación
$I_{01}$	Educación	
$I_{02}$	Campestre Churubusco	
$I_{03}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán	
$I_{04}$	Paseos de Taxqueña	
$I_{05}$	Avante	

	Abierto	Educación		Abierto	Campestre Churubusco		Abierto	Ex ejido, San Fco Culhuacán
Cerrados	$I_{01}$	Campestre Churubusco	Cerrados	$I_{01}$	Educación	Cerrados	$I_{01}$	Educación
	$I_{02}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán		$I_{02}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán		$I_{02}$	Campestre Churubusco
	$I_{03}$	Paseos de Taxqueña		$I_{03}$	Paseos de Taxqueña		$I_{03}$	Paseos de Taxqueña
	$I_{04}$	Avante		$I_{04}$	Avante		$I_{04}$	Avante
	Abierto	Paseos de Taxqueña		Abierto	Avante			
Cerrados	$I_{01}$	Educación	Cerrados	$I_{01}$	Campestre Churubusco			
	$I_{02}$	Campestre Churubusco		$I_{02}$	Educación			
	$I_{03}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán		$I_{03}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán			
	$I_{04}$	Avante		$I_{04}$	Paseos de Taxqueña			

$I_C$  = Todo el grupo inicial de sitios candidatos "de instalaciones abiertas" que pueden cerrar

$I_C$ = Todo el grupo inicial de sitios candidatos "de instalaciones abiertas" que pueden cerrar		
	Colonias	Estos son los sitios candidatos en mi proyecto (dentro de estas colonias), el punto de partida o donde se localiza el camión de comida actualmente es un punto en la colonia Educación
$I_{c1}$	Educación	
$I_{c2}$	Campestre Churubusco	
$I_{c3}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán	
$I_{c4}$	Paseos de Taxqueña	
$I_{c5}$	Avante	

	Abierto	Educación		Abierto	Campestre Churubusco		Abierto	Ex ejido, San Fco Culhuacán
Cerrados	$I_{c1}$	Campestre Churubusco	Cerrados	$I_{c1}$	Educación	Cerrados	$I_{c1}$	Educación
	$I_{c2}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán		$I_{c2}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán		$I_{c2}$	Campestre Churubusco
	$I_{c3}$	Paseos de Taxqueña		$I_{c3}$	Paseos de Taxqueña		$I_{c3}$	Paseos de Taxqueña
	$I_{c4}$	Avante		$I_{c4}$	Avante		$I_{c4}$	Avante

	Abierto	Paseos de Taxqueña		Abierto	Avante
Cerrados	$I_{01}$	Educación	Cerrados	$I_{c1}$	Campestre Churubusco
	$I_{02}$	Campestre Churubusco		$I_{c2}$	Educación
	$I_{03}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán		$I_{c3}$	Ex ejido, San Fco Culhuacán
	$I_{04}$	Avante		$I_{c4}$	Paseos de Taxqueña

$I = I_0 \cup I_c =$  Todo el universo de sitios candidatos para instalaciones

Colonias	Estos son los sitios candidatos en mi proyecto (dentro de estas colonias), el punto de partida o donde se localiza el camión de comida actualmente es un punto en la colonia Educación
Educación	
Campestre Churubusco	
Ex ejido, San Fco Culhuacán	
Paseos de Taxqueña	
Avante	

**Tabla 4.4. Resultados y datos de entrada a detalle del modelo de reducción de costos**

J = Todo el universo de nodos de demanda

j = Los nodos de demanda son las colonias donde se puede localizar el camión de comida

Las colonias son los nodos de demanda en general	
Colonias	J = Todo el universo de nodos de demanda
j <sub>1</sub> Educación	
j <sub>2</sub> Campestre Churubusco	
j <sub>3</sub> Ex ejido, San Fco Culhuacán	
j <sub>4</sub> Paseos de Taxqueña	
j <sub>5</sub> Avante	

t = Un índice en el tiempo

Cualquier periodo de tiempo que se use o que se escoja para su estudio, dentro de nuestro universo de planeación que es de un año, 12 meses, tomaremos lapsos bimestrales, serán 6 periodos en total, puede tomar cualquier valor entre 1, 2,3,4,5,6

τ = Periodos bimestrales (6 en total = 1 año)						
Bimestres	t1	t2	t3	t4	t5	t6
	Diciembre - Enero	Febrero - Marzo	Abril - Mayo	Junio -Julio	Agosto - Septiembre	Octubre - Noviembre

- T = Un índice en el último periodo de tiempo en el cual las decisiones de ubicación fueron tomadas y efectuadas.
- τ = El número de periodos de tiempo en el cual las decisiones de ubicación fueron efectuadas y tomadas.

- Serán 6 posibles índices (periodos bimestrales), al final de cada periodo se tomara una decisión (cambiarse o no), de igual modo puede tomar cualquier valor entre cualquier bimestre de estudio en el año (1,2,3,4,5,6).
- Serán 6 en total los periodos de decisión dentro de nuestro año de estudio.

t = Un índice en el tiempo

Periodos de tiempo para análisis (12 meses, 6 bimestres)		
Bimestres	$\tau$ = El número de periodos de tiempo en el cual las decisiones de ubicación fueron efectuadas y tomadas	
t1	Diciembre - Enero	
t2	Febrero - Marzo	
t3	Abril - Mayo	
t4	Junio -Julio	
t5	Agosto - Septiembre	
t6	Octubre - Noviembre	

- k = Vehículo que se seleccionara para proveer la materia prima que abastecerá la demanda.
- K = Todo el conjunto posible de vehículos que se pueden utilizar para proveer la demanda
- K = vehículo que se seleccionara, acorde a su capacidad y el menor costo de transporte, serán 3 vehículos los que se considerarán
- K = 3 posibles vehículos

U = Las rutas se dejaran solo como la distancia de la Central de Abastos a las colonias, dependiendo en cual se tenga ubicado al camión, se multiplicara por dos por ser ida y vuelta, sin generar sub-tours y terminando siempre el origen o instalación (i), usando el vehículo (k) en el tiempo (t).

Transporte K	
Pick up (1 ton)	K <sub>1</sub>
Torton kw45 (9 ton)	K <sub>2</sub>
Pick up FL 360 (3.5ton)	K <sub>3</sub>

U = 5	5 rutas en total		
Distancia de la Central de Abastos a la colonia Educación			
	Origen (i)	Distancia (KM)	Distancia (m)
U1	Educación	10.2	10200
		20.4	20400
			ida y vuelta
Distancia de la Central de Abastos a la colonia Campestre Churubusco			
	Origen (i)	Distancia (KM)	Distancia (m)
U2	Campestre Churubusco	9.1	9100
		18.2	18200
			ida y vuelta

Distancia de la Central de Abastos a la colonia Ex ejido, San Fco Culhuacán			
	Origen (i)	Distancia (KM)	Distancia (m)
U3	Ex ejido, San Fco Culhuacán	10.2	10200
		20.4	20400

ida  
ida y vuelta

Distancia de la Central de Abastos a la colonia Paseos de Taxqueña			
	Origen (i)	Distancia (KM)	Distancia (m)
U4	Paseos de Taxqueña	10.7	10700
		21.4	21400

ida  
ida y vuelta

Distancia de la Central de Abastos a la colonia Avante			
	Origen (i)	Distancia (KM)	Distancia (m)
U5	Avante	11.1	11100
		22.2	22200

ida  
ida y vuelta

Q = Capacidad del vehículo (k).

Transporte	Q = Capacidad (toneladas)	Kilometraje Km/L
Pick up (1 ton)	Q1 = 1	10.2
Torton kw45 (9 ton)	Q2 = 9	3.5
Pick up FL 360 (3.5ton)	Q3 = 3,5	7.5

W<sub>i</sub> = Capacidad de la instalación (i).

Aquí dividiré la capacidad del vehículo, por la demanda proyectada más alta de cada producto que se vende

Hamburguesa Básica	321	Demanda más alta proyectada por semana
Hamburguesa de pollo	222	Demanda más alta proyectada por semana
Hamburguesa doble	210	Demanda más alta proyectada por semana
Baguette	271	Demanda más alta proyectada por semana
Tacos	1756	Demanda más alta proyectada por semana
Enchiladas	187	Demanda más alta proyectada por semana

$C_{it}$  = La suma de todos los costos fijos (de abrir y cerrar o cambiar de localización el punto de venta) en periodos de  $t$  a  $\tau$  (al final del horizonte de planeación), si la instalación es abierta en el sitio (i) en el inicio del periodo  $t$  para  $i \in I_0$ ; más el costo fijo de cerrar una instalación en el nodo (i) al final del periodo  $t$  para  $i \in I_c$ .

## Costos para iniciar operaciones

Rubro	Costo estimado	Notas
Food Truck+Equipo	\$400,000.00	
Stock de producto inicial	\$10,000.00	
Permisos y licencias	\$1,500.00	Solo si aplica
Sitio web	\$5,000.00	Varía dependiendo de la complejidad, incluso puede ser gratis
Redes sociales		Gratis
Sistema de cobro en punto de venta	\$1,000.00	Dispositivo para celular
Playeras/uniformes	\$2,500.00	
Desechables (platos, papel, etc.)	\$3,000.00	
Gastos inesperados	\$10,000.00	Planea algunos gastos no tomados en cuenta
Ollas, sartenes, etc.	\$10,000.00	
Extinguidor	\$1,000.00	
<b>Mínimo total</b>	<b>\$444,000.00</b>	

$C_{fijt}$  = La suma de todos los costos fijos de operar una locación en un nodo (i) para los nodos de demanda (j) con demanda  $h_{jt}$  desde el periodo 1 el periodo mínimo para (t).

## Costos de operación

Rubro	Costo estimado	Notas
Cuotas/rentas/eventos	\$1,000.00	Depende de la cantidad de eventos o locaciones
Teléfono-Internet	\$600.00	
Gas	\$3,000.00	Depende del uso
Empleo	\$12,000.00	Depende de la cantidad de gente y horas trabajadas (2 personas)
Resurtido de comida/bebida	\$10,000.00	Depende de la operación
Resurtido de desechables	\$3,000.00	Depende de la operación
<b>Total</b>	<b>\$29,600.00</b>	

$C_{fkxt}$  = Costo fijo de mantenimiento de uso de vehículos (k) en el tiempo (t)

### Costos de Mantenimiento

Rubro	Costo estimado
Reparaciones	\$2,000.00
<b>Total</b>	<b>\$2,000.00</b>

$D_{iCat}$  = El costo total de enviar el material demandado desde Ca al nodo de apertura de la instalación (i), desde el nodo (i) hacia el nodo (Ca) y de (Ca) a (i) en el periodo (t) con el vehicula (k).

Transporte	Q = Capacidad (toneladas)	Kilometraje Km/L
Pick up (1 ton)	Q1 = 1	10.2
Torton kw45 (9 ton)	Q2 = 9	3.5
Pick up FL 360 (3.5ton)	Q3 = 3,5	7.5

Precios de la gasolina en la Ciudad de México	
Magna	\$16.35
Premium	\$17.96
Diesel	\$18.39

Colonia	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante
Central de Abastos	10200	12000	11900	12200	11800
Distancia en metros					

Costos de transportar de la Central de Abastos a las Colonias de estudio (Pick up (1 ton))							
	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante	Colonia	
Magna	\$32.70	\$38.47	\$38.15	\$39.11	\$37.83	Central de Abastos	Distancia en metros
Premium	\$35.92	\$42.26	\$41.91	\$42.96	\$41.55		
Diesel	\$36.78	\$43.27	\$42.91	\$43.99	\$42.55		

Costos de transportar de la Central de Abastos a las Colonias de estudio (Torton kw45 (9 ton))							
	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante	Colonia	
Magna	\$95.30	\$112.11	\$111.18	\$113.98	\$110.25	Central de Abastos	Distancia en metros
Premium	\$104.68	\$123.15	\$122.13	\$125.21	\$121.10		
Diesel	\$107.19	\$126.10	\$125.05	\$128.20	\$124.00		

Costos de transportar de la Central de Abastos a las Colonias de estudio (Pick up FL 360 (3.5ton))							
	Educación	Campestre Churubusco	Ex ejido, San Fco Culhuacán	Paseos de Taxqueña	Avante	Colonia	
Magna	\$44.47	\$52.32	\$51.88	\$53.19	\$51.45	Central de Abastos	Distancia en metros
Premium	\$48.85	\$57.47	\$56.99	\$58.43	\$56.51		
Diesel	\$50.02	\$58.85	\$58.36	\$59.83	\$57.87		

Se asume que todos los costos son positivos.

$X_{it} = \begin{cases} 1, & \text{si la instalación en el sitio (i) es abierta al inicio del periodo } t \text{ para } i \in I_o, \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$

1
0

$X_{it} = \begin{cases} 1, & \text{si la instalación en el sitio (i) es cerrada al final del periodo } \tau \text{ para } i \in I_c, \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$

1
0

$\alpha = 1$ , si la instalación en el sitio (i),  $i \in I$  es abierta en algún periodo (t) dentro del horizonte de planeación  $\tau$ , para  $t \in \tau$ ,  $\alpha = 1 = X_{i\alpha}$   
 $\alpha \subseteq t \in \tau$

1
---

$\beta = t$ , la instalación tiene que cerrar en algún momento (t),  $t \in \tau$ , o al final de horizonte de planeación ( $\tau$ ),  $\beta = 1 = t$ , si y solo si es la (t) del periodo final o ultimo periodo, cerrando así el ciclo del horizonte de planeación ( $\tau$ ).  
 $\beta \subseteq t \in \tau$

$y_{ijtk} = \begin{cases} 1, & \text{si la fracción del nodo de demanda (j) es satisfecha por la} \\ & \text{instalación en (i) durante el periodo (t) por el vehículo (k),} \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$

1
0

$f_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{si el cliente (j) es asignado a la instalación (i) en el tiempo (t),} \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$

1
0

$X_t = \{X_{it}\}$   
 $Y_t = \{Y_{ijtk}\}$   
 $f_t = \{f_{ijt}\}$

1
0
1
0
1
0

**Tabla 4.4. Resultados y datos de entrada a detalle del modelo de reducción de costos**

The screenshot shows the MATLAB Command Window with the following text:

```

Costo de enviar material al nodo 1 desde el centro de abastecimiento : 32.70
Costo de enviar material al nodo 2 desde el centro de abastecimiento : 38.47
Costo de enviar material al nodo 3 desde el centro de abastecimiento : 38.15
Costo de enviar material al nodo 4 desde el centro de abastecimiento : 39.11
Costo de enviar material al nodo 5 desde el centro de abastecimiento : 37.83
Capacidad del veh culo 1 : 1000
Capacidad del veh culo 2 : 9000
Capacidad del veh culo 3 : 3500
Obteniendo dimensiones de matrices.
No hay errores.
Estableciendo posiciones de las variables
Creando Matriz A y b
Creando matriz de funci0n objetivo
Definiendo variables acotadas
Definiendo variables con valores enteros y binarios
Se iniciar0 el proceso de optimizaci0n
Si desea cancelar, utilice el comando Ctrl + C, de lo contrario presione Enter
LP:      Optimal objective value is 619502.902000.

Cut Generation:  Applied 11 Gomory cuts, 15 mir cuts,
                  and 9 strong CG cuts.
                  Lower bound is 2.990559e+06.
                  Relative gap is 0.00%.

Optimal solution found.

Intlinprog stopped at the root node because the objective value is within a gap tolerance of the optimal value, options.TolGapAbs = 0 (the default value). The intcon
variables are integer within tolerance, options.TolInteger = 1e-06 (the selected value).

El valor optimo de la funci0n objetivo es 2990558.78

SolC =

    X: [5x1 double]
    Y: [4-D double]
    F: [5x5 double]

Para ver resultados obtenido utilice la estructura Sol
Por ejemplo: Para ver la matriz X escriba Sol.X
Por ejemplo: Para ver la matriz Y escriba Sol.Y
Ingrese la 1 instalacin abierta que pueda cerrar:

```

Figura 25 (Resultados de la programación del modelo de reducción de costos)  
 El modelo de costos indica que el valor objetivo óptimo es \$619,502.902.

## 4.5 Conclusiones

En este trabajo se localizan los puntos de venta móviles (food trucks) a través de modelos de gravedad y modelos de estimación de la demanda, logrando minimizar los costos de operación para el camión de comida Pan Crazyo's.

Actualmente, el camión está ubicado en la colonia Educación en la Ciudad de México en la delegación Coyoacán. De acuerdo con el análisis efectuado, si se traslada el *food truck* a la colonia Paseos de Taxqueña, se puede cubrir de mayor manera la demanda proyectada, suponiendo con esto, que se pueden tener mejores ventas.

El modelo de Reilly señala que la colonia aledaña, la Avante, en la que tiene el punto de indiferencia más bajo respecto a la ubicación actual (se encuentra a solo 779.67 metros). Si se ubica el camión en la colonia Paseos de Taxqueña (la colonia que presenta rangos de distancia mayores), a la que un cliente le sería equivalente ir a cualquiera de los dos puntos. Esto puede ser una ventaja, pues al tener mayores rangos de distancia, se extiende el rango en la que el cliente aun no considera otras opciones de localización del camión de comida para comprar sus productos, lo que puede suponer una demanda más “*estable*”.

Según el modelo de Huff, en la ubicación actual en la colonia Educación, la demanda vendría mayoritariamente de las colonias Campestre y Paseos de Taxqueña (estas dos son las que mayor número de habitantes registran entre las colonias de estudio). Si se sitúa el camión en Paseos de Taxqueña, las colonias donde se podría atraer mayor clientela son Avante y Campestre Churubusco.

En cuanto a la reducción de costos, se desarrolló una herramienta que puede brindar información de la inversión necesaria para abrir el negocio de la comida móvil en alguna de las colonias de análisis. Con esta herramienta se podría conocer el comportamiento del negocio en lo financiero y sería posible hacer un juego de costos para definir en ¿dónde? se está gastando de

más y en dónde se puede ahorrar, ¿cuáles? son los gastos fundamentales, la base financiera del proyecto, y con esto hacer proyecciones respecto al tiempo sobre el retorno de la inversión.

A través de las herramientas desarrolladas en Matlab, se generó una plataforma para usar y analizar los datos, y así ayudar a la toma de decisiones de las personas interesadas en este giro de negocio. Otros análisis (Reilly, Reilly punto de indiferencia y Huff) fueron desarrollados en Excel y también se pueden usar como una plantilla para introducir los datos y generar información y con esto poder llevar a cabo un análisis.

Este estudio permite la toma de decisión basada a través de la programación matemática, en este caso, se sabe que se puede tener una mejor proyección de ventas en otra localidad (Paseos de Taxqueña); se reflejan también los puntos de indiferencia y la probabilidad de que los clientes acudan al negocio en el caso de otra localización.

El análisis efectuado permite localizar los camiones de comida de tal manera que se minimicen los costos de operación y se satisfaga la demanda de la zona aledaña a su localización, sirve como herramienta de apoyo, para saber si se invierte o no en negocios de comida móvil o en su respectivo caso, cómo lograr un mejor rendimiento financiero y ahorrar en costos fijos de operación. Con esto, los negocios de comida móvil puedan ser más estables y su proyecto e inversión más sustentables.

## 4.6 Recomendaciones

Para las personas interesadas en emprender un negocio, es muy importante hacer varios cálculos antes de empezar su idea o proyecto:

- La localización del negocio debe ser la mejor posible, lugares muy transitados o con mucho flujo de personas.
- Es importante ubicar las instalaciones cercanas al negocio (escuelas, fabricas, centros laborales, unidades habitacionales, colonias, etc).
- Es importante también ubicar y estudiar a la competencia de los alrededores (sus productos, calidad, servicio y precio).
- Los costos de renta (en caso de que el giro de negocio lo requiera).
- Los horarios donde se tiene mayor afluencia de gente en la locación del negocio.
- Calcular bien y llevar un seguimiento de las demandas, para así no comprar materia prima de más, y en su caso que nunca falte producto, y mucho menos se eche a perder.
- Tener un lugar limpio siempre es buena presentación, además de que es extremadamente importante en un lugar de venta de comida (salubridad).
- Una de las ventajas de tener un negocio móvil, se pueden trazar y establecer rutas de ventas por días o por semanas y tener un tipo de programación de ciertas ubicaciones en ciertos horarios.
- Es importante calcular bien el costo real de poner en venta el producto (con todos los gastos totales que implica), para saber realmente el precio en el que se pondrá en venta, y la factibilidad de vender el producto en el respectivo precio, junto con los porcentajes de ganancia de producto por venta unitaria.

## **Anexos**

### **Análisis de la demanda por el método de Holt:**

**Análisis de la demanda por el método de Holt (Hamburguesa básica).**

**Análisis de la demanda por el método de Holt (Hamburguesa de pollo).**

**Análisis de la demanda por el método de Holt (Hamburguesa doble).**

**Análisis de la demanda por el método de Holt (Baguette).**

**Análisis de la demanda por el método de Holt (Tacos).**

**4.5 Pronósticos de demanda por producto.** Se tienen los históricos de los valores de las ventas de seis meses del camión de comida Pancrazyo`s food truck.

En este caso se tienen los pronósticos de demanda del producto (hamburguesa básica).

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)	Lt (Nivel, suavizado)	Tt (Tendencia)	Ft+n (pronostico)	Pronóstico	Error	Error al cuadrado	Error absoluto
		0		30.60	11.93					
Hamburguesa Básica	Julio	1	60	44.28	12.28	42.53	44.48	15.52	240.97	15.52
		2	70	57.90	12.55	56.55	58.30	11.70	136.94	11.70
		3	54	68.80	12.22	70.44	69.40	-15.40	237.12	15.40
		4	90	81.91	12.40	81.01	82.71	7.29	53.09	7.29
	Agosto	5	100	94.88	12.51	94.31	95.88	4.12	16.99	4.12
		6	125	109.15	12.86	107.39	110.35	14.65	214.63	14.65
		7	115	121.31	12.72	122.01	122.71	-7.71	59.45	7.71
		8	130	133.63	12.64	134.03	135.23	-5.23	27.34	5.23
	Septiembre	9	120	143.64	12.12	146.27	145.44	-25.44	647.36	25.44
		10	150	155.18	12.00	155.76	157.18	-7.18	51.60	7.18
		11	132	163.67	11.30	167.18	165.87	-33.87	1,146.87	33.87
		12	185	175.97	11.50	174.96	178.37	6.63	44.01	6.63
	Octubre	13	180	186.72	11.35	187.46	189.32	-9.32	86.82	9.32
		14	163	194.56	10.65	198.07	197.36	-34.36	1,180.57	34.36
		15	200	204.69	10.54	205.21	207.69	-7.69	59.07	7.69
		16	214	215.11	10.52	215.23	218.31	-4.31	18.54	4.31
	Noviembre	17	233	226.36	10.67	225.62	229.76	3.24	10.49	3.24
		18	250	238.33	10.93	237.03	241.93	8.07	65.21	8.07
		19	242	248.53	10.78	249.25	252.33	-10.33	106.61	10.33
		20	281	261.48	11.21	259.31	265.48	15.52	241.02	15.52
	Diciembre	21	300	275.42	11.76	272.69	279.62	20.38	415.33	20.38
		22	294	287.86	11.90	287.18	292.26	1.74	3.02	1.74
		23	321	301.88	12.32	299.76	306.48	14.52	210.72	14.52
		24	315	314.28	12.34	314.21	319.08	-4.08	16.69	4.08

En este caso se tienen los pronósticos de demanda del producto (hamburguesa de pollo).

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)	Lt (Nivel, suavizado)	Tt (Tendencia)	Ft+n (pronostico)	Pronóstico	Error	Error al cuadrado	Error absoluto
Hamburguesa de pollo	Julio	0		-1.05	8.56					
		1	20	8.76	8.81	7.51	8.96	12.49	156.10	12.49
		2	45	20.31	9.36	17.56	20.71	27.44	752.71	27.44
		3	30	29.7	9.36	29.67	30.30	0.33	0.11	0.33
	Agosto	4	40	39.16	9.38	39.06	39.96	0.94	0.88	0.94
		5	60	49.69	9.61	48.54	50.69	11.46	131.31	11.46
		6	50	58.37	9.43	59.30	59.57	-9.30	86.47	9.30
		7	65	67.52	9.37	67.80	68.92	-2.80	7.82	2.80
	Septiembre	8	68	76.	9.19	76.89	77.60	-8.89	78.97	8.89
		9	72	83.87	8.93	85.19	85.67	-13.19	174.00	13.19
		10	67	90.22	8.41	92.80	92.22	-25.80	665.68	25.80
		11	58	94.57	7.6	98.63	96.77	-40.63	1,651.10	40.63
	Octubre	12	83	100.25	7.22	102.17	102.65	-19.17	367.52	19.17
		13	98	106.52	7.03	107.47	109.12	-9.47	89.69	9.47
		14	115	113.7	7.06	113.55	116.50	1.45	2.10	1.45
		15	125	121.18	7.14	120.75	124.18	4.25	18.04	4.25
	Noviembre	16	108	126.29	6.74	128.32	129.49	-20.32	412.84	20.32
		17	132	132.92	6.71	133.02	136.32	-1.02	1.04	1.02
		18	145	140.17	6.82	139.63	143.77	5.37	28.79	5.37
		19	173	149.59	7.34	146.99	153.39	26.01	676.38	26.01
	Diciembre	20	188	160.04	7.96	156.94	164.04	31.06	965.00	31.06
		21	200	171.2	8.6	168.01	175.40	31.99	1,023.66	31.99
		22	183	180.13	8.67	179.81	184.53	3.19	10.19	3.19
		23	208	190.71	9.05	188.79	195.31	19.21	368.86	19.21
24		222	201.99	9.5	199.77	206.79	22.23	494.34	22.23	

En este caso se tienen los pronósticos de demanda del producto (hamburguesa doble).

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)	Lt (Nivel, suavizado)	Tt (Tendencia)	Ft+n (pronostico)	Pronóstico	Error	Error al cuadrado	Error absoluto
		0.		-32.33	9.34					
Hamburguesa doble	Julio	1	10	-19.69	10.	-22.99	-19.59	32.99	1,088.48	32.99
		2	7	-8.02	10.33	-9.69	-7.82	16.69	278.66	16.69
		3	23	4.38	10.75	2.31	4.68	20.69	428.08	20.69
		4	16	15.21	10.76	15.13	15.61	0.87	0.76	0.87
	Agosto	5	23	25.68	10.71	25.98	26.18	-2.98	8.87	2.98
		6	42	36.95	10.82	36.39	37.55	5.61	31.52	5.61
		7	38	46.79	10.62	47.77	47.49	-9.77	95.36	9.77
		8	32	54.87	10.11	57.41	55.67	-25.41	645.71	25.41
	Septiembre	9	48	63.29	9.77	64.98	64.19	-16.98	288.45	16.98
		10	52	70.95	9.35	73.06	71.95	-21.06	443.52	21.06
		11	58	78.08	8.91	80.31	79.18	-22.31	497.61	22.31
		12	72	85.49	8.61	86.98	86.69	-14.98	224.5	14.98
	Octubre	13	56	90.28	7.85	94.09	91.58	-38.09	1,451.04	38.09
		14	63	94.62	7.14	98.13	96.02	-35.13	1,234.04	35.13
		15	48	96.38	6.07	101.76	97.88	-53.76	2,890.02	53.76
		16	83	100.51	5.68	102.45	102.11	-19.45	378.34	19.45
	Noviembre	17	115	107.07	5.86	106.18	108.77	8.82	77.71	8.82
		18	135	115.13	6.3	112.92	116.93	22.08	487.47	22.08
		19	176	126.88	7.39	121.43	128.78	54.57	2,978.35	54.57
		20	185	139.34	8.4	134.27	141.34	50.73	2,573.4	50.73
	Diciembre	21	180	150.97	9.05	147.75	153.07	32.25	1,040.26	32.25
		22	193	163.32	9.71	160.02	165.52	32.98	1,087.68	32.98
		23	210	176.72	10.45	173.03	179.02	36.97	1,367.12	36.97
		24	194	187.85	10.58	187.17	190.25	6.83	46.65	6.83

En este caso se tienen los pronósticos de demanda del producto (Baguette).

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)	Lt (Nivel, suavizado)	Tt (Tendencia)	Ft+n (pronostico)	Pronóstico	Error	Error al cuadrado	Error absoluto
		0.		28.74	10.1					
Baguette	Julio	1	50	39.96	10.33	38.84	40.06	11.16	124.50	11.16
		2	45	49.76	10.22	50.28	49.96	-5.28	27.93	5.28
		3	63	60.28	10.28	59.98	60.58	3.02	9.14	3.02
		4	72	70.71	10.31	70.56	71.11	1.44	2.07	1.44
	Agosto	5	68	79.71	10.05	81.02	80.21	-13.02	169.41	13.02
		6	76	88.39	9.77	89.76	88.99	-13.76	189.45	13.76
		7	87	97.05	9.55	98.16	97.75	-11.16	124.60	11.16
		8	93	105.24	9.28	106.60	106.04	-13.60	184.91	13.60
	Septiembre	9	113	114.37	9.25	114.52	115.27	-1.52	2.30	1.52
		10	102	121.45	8.82	123.62	122.45	-21.62	467.22	21.62
		11	135	130.74	8.91	130.27	131.84	4.73	22.37	4.73
		12	167	142.39	9.46	139.66	143.59	27.34	747.74	27.34
	Octubre	13	186	155.26	10.14	151.85	156.56	34.15	1,166.35	34.15
		14	205	169.36	10.93	165.40	170.76	39.60	1,567.77	39.60
		15	194	181.67	11.21	180.30	183.17	13.70	187.75	13.70
		16	223	195.89	11.81	192.88	197.49	30.12	907.49	30.12
	Noviembre	17	215	208.43	11.96	207.70	210.13	7.30	53.32	7.30
		18	204	218.75	11.63	220.38	220.55	-16.38	268.44	16.38
		19	236	230.94	11.74	230.37	232.84	5.63	31.65	5.63
		20	242	242.61	11.73	242.68	244.61	-0.68	0.46	0.68
	Diciembre	21	250	253.9	11.64	254.34	256.00	-4.34	18.81	4.34
		22	271	266.09	11.75	265.54	268.29	5.46	29.77	5.46
		23	220	272.06	10.59	277.84	274.36	-57.84	3,345.35	57.84
		24	215	275.88	9.24	282.65	278.28	-67.65	4,576.25	67.65

En este caso se tienen los pronósticos de demanda del producto (Tacos).

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)	Lt (Nivel, suavizado)	Tt (Tendencia)	Ft+n (pronostico)	Pronóstico	Error	Error al cuadrado	Error absoluto
		0.		1,085.6	54.49					
Tacos	Julio	1	600	1,086.1	43.69	1,140.1	1,086.2	-540.1	291,729.1	540.12
		2	745	1,091.3	35.99	1,129.8	1,091.5	-384.8	148,066.7	384.79
		3	456	1,060.2	22.56	1,127.3	1,060.5	-671.3	450,651.4	671.31
		4	809	1,055.4	17.09	1,082.7	1,055.8	-273.7	74,933.5	273.74
	Agosto	5	768	1,042.0	11.00	1,072.5	1,042.5	-304.5	92,693.4	304.46
		6	898	1,037.5	7.90	1,053.0	1,038.1	-155.0	24,028.4	155.01
		7	943	1,035.2	5.85	1,045.4	1,035.9	-102.4	10,487.9	102.41
		8	987	1,035.6	4.77	1,041.0	1,036.4	-54.0	2,918.4	54.02
	Septiembre	9	1045	1,040.9	4.86	1,040.4	1,041.8	4.6	21.2	4.61
		10	1113	1,052.4	6.21	1,045.7	1,053.4	67.3	4,527.1	67.28
		11	1200	1,072.8	9.04	1,058.7	1,073.9	141.3	19,978.5	141.35
		12	1189	1,092.5	11.18	1,081.8	1,093.7	107.2	11,486.3	107.17
	Octubre	13	1234	1,116.8	13.79	1,103.7	1,118.1	130.3	16,972.0	130.28
		14	1278	1,145.3	16.73	1,130.5	1,146.7	147.5	21,745.4	147.46
		15	1345	1,180.3	20.39	1,162.0	1,181.8	183.0	33,482.4	182.98
		16	1321	1,212.7	22.80	1,200.7	1,214.3	120.3	14,469.5	120.29
	Noviembre	17	1589	1,270.9	29.87	1,235.5	1,272.6	353.5	124,933.8	353.46
		18	1654	1,336.1	36.93	1,300.8	1,337.9	353.2	124,781.5	353.24
		19	1721	1,407.8	43.89	1,373.0	1,409.7	348.0	121,093.8	347.99
		20	1687	1,475.2	48.60	1,451.7	1,477.2	235.3	55,362.6	235.29
	Diciembre	21	1728	1,544.3	52.68	1,523.8	1,546.4	204.2	41,682.7	204.16
		22	1632	1,600.4	53.38	1,596.9	1,602.6	35.1	1,229.5	35.06
		23	1679	1,656.3	53.89	1,653.8	1,658.6	25.2	633.7	25.17
		24	1756	1,714.8	54.80	1,710.2	1,717.2	45.8	2,094.7	45.77

En este caso se tienen los pronósticos de demanda del producto (enchiladas).

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)	Lt (Nivel, suavizado)	Tt (Tendencia)	Ft+n (pronostico)	Pronóstico	Error	Error al cuadrado	Error absoluto	
		0.		21.11	6.49						
Enchiladas	Julio	1	30	27.84	6.53	27.60	27.94	2.40	5.76	2.40	
		2	42	35.14	6.69	34.37	35.34	7.63	58.14	7.63	
		3	38	41.44	6.61	41.82	41.74	-3.82	14.62	3.82	
		4	48	48.05	6.61	48.05	48.45	-0.05	0.00	0.05	
	Agosto	5	54	54.59	6.6	54.66	55.09	-0.66	0.43	0.66	
		6	45	59.57	6.27	61.19	60.17	-16.19	261.99	16.19	
		7	67	65.96	6.3	65.84	66.66	1.16	1.35	1.16	
	Septiembre	8	89	73.93	6.63	72.25	74.73	16.75	280.52	16.75	
		9	75	80.	6.52	80.56	80.90	-5.56	30.88	5.56	
			10	92	87.07	6.63	86.52	88.07	5.48	30.03	5.48
			11	105	94.83	6.85	93.70	95.93	11.30	127.75	11.30
			12	83	99.81	6.48	101.68	101.01	-18.68	349.04	18.68
		Octubre	13	112	106.87	6.6	106.30	108.17	5.70	32.54	5.70
			14	124	114.52	6.81	113.46	115.92	10.54	111.06	10.54
			15	105	119.69	6.48	121.32	121.19	-16.32	266.39	16.32
			16	98	123.35	5.92	126.17	124.95	-28.17	793.50	28.17
		Noviembre	17	123	128.64	5.79	129.27	130.34	-6.27	39.30	6.27
			18	145	135.49	6.	134.43	137.29	10.57	111.67	10.57
			19	127	140.04	5.71	141.49	141.94	-14.49	210.01	14.49
			20	168	147.98	6.16	145.76	149.98	22.24	494.83	22.24
		Diciembre	21	180	156.72	6.67	154.14	158.82	25.86	668.89	25.86
			22	145	161.56	6.31	163.40	163.76	-18.40	338.49	18.40
			23	187	169.78	6.69	167.86	172.08	19.14	366.15	19.14
			24	173	176.12	6.62	176.47	178.52	-3.47	12.03	3.47

Promedios de venta de productos (se tomó el promedio de ventas reales de cada producto (hamburguesa básica), por periodos de cada 4 semanas en la locación actual (Col. Educación), y se hizo una estimación de la demanda con relación a las poblaciones de cada colonia en comparación.

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)												
		0													
Hamburguesa Básica	Julio	1	60												
		2	70												
		3	54												
		4	90	68.50	Educación	8,951	68.50	Educación	8,951	68.50	Educación	8,951	68.50	Educación	8,951
	Agosto	5	100	93.26	Campestre Churubusco	12,187	53.77	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	132.70	Paseos de Taxqueña	17,340	75.83	Avante	9,909
		6	125												
		7	115												
		8	130	117.50	Educación	8,951	117.50	Educación	8,951	117.50	Educación	8,951	117.50	Educación	8,951
	Septiembre	9	120	159.98	Campestre Churubusco	12,187	92.23	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	227.62	Paseos de Taxqueña	17,340	130.08	Avante	9,909
		10	150												
		11	132												
		12	185	146.75	Educación	8,951	146.75	Educación	8,951	146.75	Educación	8,951	146.75	Educación	8,951
	Octubre	13	180	199.80	Campestre Churubusco	12,187	115.19	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	284.29	Paseos de Taxqueña	17,340	162.46	Avante	9,909
		14	163												
		15	200												
		16	214	189.25	Educación	8,951	189.25	Educación	8,951	189.25	Educación	8,951	189.25	Educación	8,951
Noviembre	17	233	257.67	Campestre Churubusco	12,187	148.55	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	366.62	Paseos de Taxqueña	17,340	209.50	Avante	9,909	
	18	250													
	19	242													
	20	281	251.50	Educación	8,951	251.50	Educación	8,951	251.50	Educación	8,951	251.50	Educación	8,951	
Diciembre	21	300	342.42	Campestre Churubusco	12,187	197.41	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	487.21	Paseos de Taxqueña	17,340	278.42	Avante	9,909	
	22	294													
	23	321													
	24	315	307.50	Educación	8,951	307.50	Educación	8,951	307.50	Educación	8,951	307.50	Educación	8,951	
	Promedio	180.17	418.67	Campestre Churubusco	12,187	241.37	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	595.69	Paseos de Taxqueña	17,340	340.41	Avante	9,909	

180.17	8,951
245.30	12,187

180.17	8,951
141.42	7,026

180.17	8,951
349.02	17,340

180.17	8,951
199.45	9,909

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)												
Hamburguesa de pollo	Julio	0													
		1	20												
		2	45	Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		3	30	33.75	Educación	8,951	33.75	Educación	8,951	33.75	Educación	8,951	33.75	Educación	8,951
	Agosto	4	40	45.95	Campestre Churubusco	12,187	26.49	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	65.38	Paseos de Taxqueña	17,340	37.36	Avante	9,909
		5	60												
		6	50	Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		7	65	60.75	Educación	8,951	60.75	Educación	8,951	60.75	Educación	8,951	60.75	Educación	8,951
	Septiembre	8	68	82.71	Campestre Churubusco	12,187	47.69	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	117.69	Paseos de Taxqueña	17,340	67.25	Avante	9,909
		9	72												
		10	67	Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		11	58	70.00	Educación	8,951	70.00	Educación	8,951	70.00	Educación	8,951	70.00	Educación	8,951
	Octubre	12	83	95.31	Campestre Churubusco	12,187	54.95	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	135.60	Paseos de Taxqueña	17,340	77.49	Avante	9,909
		13	98												
		14	115	Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		15	125	111.50	Educación	8,951	111.50	Educación	8,951	111.50	Educación	8,951	111.50	Educación	8,951
	Noviembre	16	108	151.81	Campestre Churubusco	12,187	87.52	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	216.00	Paseos de Taxqueña	17,340	123.43	Avante	9,909
		17	132												
		18	145	Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		19	173	159.50	Educación	8,951	159.50	Educación	8,951	159.50	Educación	8,951	159.50	Educación	8,951
	Diciembre	20	188	217.16	Campestre Churubusco	12,187	125.20	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	308.99	Paseos de Taxqueña	17,340	176.57	Avante	9,909
		21	200												
		22	183	Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		23	208	203.25	Educación	8,951	203.25	Educación	8,951	203.25	Educación	8,951	203.25	Educación	8,951
Promedio	24	222	276.73	Campestre Churubusco	12,187	159.54	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	393.74	Paseos de Taxqueña	17,340	225.00	Avante	9,909	
		106.46													
			106.46	8,951	106.46	8,951	106.46	8,951	106.46	8,951	106.46	8,951	106.46	8,951	
			144.95	12,187	83.56	7,026	206.23	17,340	117.85	9,909					

Promedios de venta de productos (se tomó el promedio de ventas reales de cada producto (hamburguesa de pollo), por periodos de cada 4 semanas en la locación actual (Col. Educación), y se hizo una estimación de la demanda con relación a las poblaciones de cada colonia en comparación.

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)												
Baguette	Julio	0													
		1	50												
		2	45			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		3	63	57.50	Educación	8,951	57.5	Educación	8,951	57.50	Educación	8,951	57.50	Educación	8,951
	Agosto	4	72	78.29	Campestre Churubusco	12,187	45.1	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	111.39	Paseos de Taxqueña	17,340	63.65	Avante	9,909
		5	68			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		6	76			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		7	87	81.00	Educación	8,951	81.0	Educación	8,951	81.00	Educación	8,951	81.00	Educación	8,951
	Septiembre	8	93	110.28	Campestre Churubusco	12,187	63.6	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	156.91	Paseos de Taxqueña	17,340	89.67	Avante	9,909
		9	113			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		10	102			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		11	135	129.25	Educación	8,951	129.3	Educación	8,951	129.25	Educación	8,951	129.25	Educación	8,951
	Octubre	12	167	175.98	Campestre Churubusco	12,187	101.5	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	250.38	Paseos de Taxqueña	17,340	143.08	Avante	9,909
		13	186			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		14	205			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		15	194	202.00	Educación	8,951	202.0	Educación	8,951	202.00	Educación	8,951	202.00	Educación	8,951
	Noviembre	16	223	275.03	Campestre Churubusco	12,187	158.6	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	391.32	Paseos de Taxqueña	17,340	223.62	Avante	9,909
		17	215			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		18	204			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		19	236	224.25	Educación	8,951	224.3	Educación	8,951	224.25	Educación	8,951	224.25	Educación	8,951
	Diciembre	20	242	305.32	Campestre Churubusco	12,187	176.0	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	434.42	Paseos de Taxqueña	17,340	248.25	Avante	9,909
		21	250			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		22	271			Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes	
		23	220	239.00	Educación	8,951	239.0	Educación	8,951	239.00	Educación	8,951	239.00	Educación	8,951
		24	215	325.40	Campestre Churubusco	12,187	187.6	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	462.99	Paseos de Taxqueña	17,340	264.58	Avante	9,909
Promedio		155.5													
			155.5	8,951		155.5	8,951		155.5	8,951		155.5	8,951		
			211.72	12,187		122.1	7,026		301.24	17,340		172.14	9,909		

Promedios de venta de productos (se tomó el promedio de ventas reales de cada producto (baguette), por periodos de cada 4 semanas en la locación actual (Col. Educación), y se hizo una estimación de la demanda con relación a las poblaciones de cada colonia en comparación.

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)		Educación		Ex ejido, San Fco Culhuacán		Paseos de Taxqueña		Avante							
Tacos	Julio	0.																
		1	600															
		2	745		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		3	456	652.5	Educación	8,951	652.5	Educación	8,951	652.50	Educación	8,951	652.50	Educación	8,951			
	Agosto	4	809	888.4	Campestre Churubusco	12,187	512.2	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	1264.03	Paseos de Taxqueña	17,340	722.34	Avante	9,909			
		5	768		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		6	898		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		7	943	899.0	Educación	8,951	899.0	Educación	8,951	899.00	Educación	8,951	899.00	Educación	8,951			
	Septiembre	8	987	1224.0	Campestre Churubusco	12,187	705.7	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	1741.56	Paseos de Taxqueña	17,340	995.22	Avante	9,909			
		9	1045		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		10	1113		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		11	1200	1136.8	Educación	8,951	1136	Educación	8,951	1136.75	Educación	8,951	1136.75	Educación	8,951			
	Octubre	12	1189	1547.7	Campestre Churubusco	12,187	892.3	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	2202.13	Paseos de Taxqueña	17,340	1258.41	Avante	9,909			
		13	1234		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		14	1278		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		15	1345	1294.5	Educación	8,951	1294	Educación	8,951	1294.50	Educación	8,951	1294.50	Educación	8,951			
	Noviembre	16	1321	1762.5	Campestre Churubusco	12,187	1016	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	2507.72	Paseos de Taxqueña	17,340	1433.05	Avante	9,909			
		17	1589		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		18	1654		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		19	1721	1662.8	Educación	8,951	1662	Educación	8,951	1662.75	Educación	8,951	1662.75	Educación	8,951			
	Diciembre	20	1687	2263.9	Campestre Churubusco	12,187	1305.2	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	3221.10	Paseos de Taxqueña	17,340	1840.71	Avante	9,909			
		21	1728		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		22	1632		Habitantes		Habitantes		Habitantes		Habitantes							
		23	1679	1698.75	Educación	8,951	1698.8	Educación	8,951	1698.75	Educación	8,951	1698.75	Educación	8,951			
		24	1756	2312.89	Campestre Churubusco	12,187	1333.4	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	3290.84	Paseos de Taxqueña	17,340	1880.56	Avante	9,909			
		Promedio	1224.04															
			1224.04	8,951	1224	8,951	1224.04	8,951	1224.04	8,951	1,666.56	12,187	960.8	7,026	2,371.2	17,340	1,355	9,909

Promedios de venta de productos (se tomó el promedio de ventas reales de cada producto (tacos), por periodos de cada 4 semanas en la locación actual (Col. Educación), y se hizo una estimación de la demanda con relación a las poblaciones de cada colonia en comparación.

Producto	Mes	Semana (periodo)	Ventas (demanda)												
Enchiladas	Julio	0.													
		1	30												
		2	42			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		3	38	39.50	Educación	8,951	39.5	Educación	8,951	39.50	Educación	8,951	39.50	Educación	8,951
	Agosto	4	48	53.78	Campestre Churubusco	12,187	31.0	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	76.52	Paseos de Taxqueña	17,340	43.73	Avante	9,909
		5	54			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		6	45			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		7	67	63.75	Educación	8,951	63.8	Educación	8,951	63.75	Educación	8,951	63.75	Educación	8,951
	Septiembre	8	89	86.80	Campestre Churubusco	12,187	50.0	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	123.50	Paseos de Taxqueña	17,340	70.57	Avante	9,909
		9	75			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		10	92			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		11	105	88.75	Educación	8,951	88.8	Educación	8,951	88.75	Educación	8,951	88.75	Educación	8,951
	Octubre	12	83	120.84	Campestre Churubusco	12,187	69.7	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	171.93	Paseos de Taxqueña	17,340	98.25	Avante	9,909
		13	112			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		14	124			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		15	105	109.75	Educación	8,951	109.8	Educación	8,951	109.75	Educación	8,951	109.75	Educación	8,951
	Noviembre	16	98	149.43	Campestre Churubusco	12,187	86.1	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	212.61	Paseos de Taxqueña	17,340	121.50	Avante	9,909
		17	123			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		18	145			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		19	127	140.75	Educación	8,951	140.8	Educación	8,951	140.75	Educación	8,951	140.75	Educación	8,951
	Diciembre	20	168	191.63	Campestre Churubusco	12,187	110.5	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	272.66	Paseos de Taxqueña	17,340	155.81	Avante	9,909
		21	180			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		22	145			<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>		<b>Habitantes</b>	
		23	187	171.25	Educación	8,951	171.3	Educación	8,951	171.25	Educación	8,951	171.25	Educación	8,951
	24	173	233.16	Campestre Churubusco	12,187	134.4	Ex ejido, San Fco Culhuacán	7,026	331.75	Paseos de Taxqueña	17,340	189.58	Avante	9,909	
	Promedio	102.29													
			102.29	8,951		102.29	8,951		102.29	8,951		102.29	8,951		
			139.27	12,187		80.29	7,026		198.16	17,340		113.24	9,909		

Promedios de venta de productos (se tomó el promedio de ventas reales de cada producto (enchiladas), por periodos de cada 4 semanas en la locación actual (Col. Educación), y se hizo una estimación de la demanda con relación a las poblaciones de cada colonia en comparación.

## Bibliografía

1. Gang Chen, Mark S. Daskin, Zuo – Jun Chen, Stan Uryasev A New Model for Stochastic Facility Location Problem.. University of Florida, 2005.
2. Normand Asuad. Teoría de la Distribución Espacial de Las Actividades Económicas. 2014.
3. Raúl Humberto Araneda Martínez, Reinaldo Javier Moraga Suazo. La Decisión de Localización en la Cadena de Suministro. Universidad del Bio – Bio, Concepción, Chile.
4. Oscar Javier Parra Ortega. Revisión del Estado del Arte en Modelos de Localización y Relocalización de Vehículos Para Atención de Emergencias. Politécnico Gran Colombiano, 2010.
5. Jiaming Qiu, Thomas C. Sharkey. Integrated Dynamic Single Facility - Location and Inventory Planning Problems. Politecnic Institute Troy, USA, 2010.
6. Mark S. Daskin.  $\alpha$  – Reliable P – MiniMax Regret. A New Model for Strategyc Facility Location Modeling. University of Michigan, 1997.
7. Juan Manuel Berlen Pineda. Creación de las Subáreas Comerciales en la Provincia de Sevilla a Partir de Modelos Probabilísticos y Gravitatorios. Universidad de Sevilla.  
[LaCreacionDeSubareasComercialesEnLaProvinciaDeSevi-565062%20\(1\).pdf](#)
8. Jeffrey H Moore. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Prentice Hall. 2000.
9. Sixto Ríos Insua, Alfonso Mateos Caballero, Concepción Bielza Lozoya. Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión. Universidad Politécnica de Madrid.

10. Food On Wheels. National League of Cities. Nlc.org. (2018).  
<http://nlc.org/sites/default/files/foodtruckreport.pdf>
11. Blog | Instituto PYME. PYME, I. (2011).  
[http://www.institutopyme.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=134&Itemid=177](http://www.institutopyme.org/index.php?option=com_content&view=article&id=134&Itemid=177)
12. Fast Food Nation. Amazon.com. (2017).  
<https://www.amazon.com/Fast-Food-Nation-Dark-All-American/dp/0547750331>
13. Historia de la Comida Rápida. Anon, (2009).  
<http://www.nocturnabsas.com.ar/forum/gastronomia/251502-historia-de-comida-rapida.html>
14. OMS | El departamento de nutrición. Who.int. (2016).  
[http://www.who.int/nutrition/about\\_us/es/](http://www.who.int/nutrition/about_us/es/)
15. Watch History of Food Trucks Clip - Modern Marvels | HISTORY. (2014).  
<http://www.history.com/shows/modern-marvels/videos/history-of-food-trucks>
16. *Where's the Optimal Place to Park a Food Truck?* Chicagobooth.edu. (2015).  
<https://www.chicagobooth.edu/magazine/fall-2015/conversations/inquiry-required>
17. Mark S. Daskin. What you should know about location Modeling. Junnary 2008.  
[www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)
18. Food Truck Latino. Plan de negocios.  
[www.foodtrucklatino.com](http://www.foodtrucklatino.com)
19. Mark S. Daskin, Wallace Hopp. Forecast Horizons and Dynamic Facility Location Planning. Universidad de Michigan, 1992.  
<https://www.researchgate.net/publication/226210429>

20. Susan Hesse Owen, Mark S. Daskin. Strategic Facility Location: A Review. North Western University, USA , 1998.  
[https://www.researchgate.net/publication/4867429\\_Strategic\\_Facility\\_Location\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/4867429_Strategic_Facility_Location_A_Review)
21. Lawrence Snyder, Mark S. Daskin. Stochastic P – Robust Location Problems. 2004.  
<https://www.researchgate.net/publication/228627440>
22. Pedro Chaco La Fuente. Modelos de Gravitación Comercial: Una Aplicación al Anuario Comercial de España.. Universidad Autónoma de Madrid. 2000.  
<https://www.uam.es/otroscentros/klein/docjor/pchasco.pdf>
23. Gabriela de las Nieves Sánchez Guerrero. Técnicas Participativas para la Planeación. Fundación ICA A.C. 2003.  
[www.fundación-ica.org.mx](http://www.fundación-ica.org.mx)
24. Dorotea López Giral, Felipe Alberto Muñoz Navia. Los Modelos de Gravedad en América Latina: El Caso de Chile y México. Universidad de Chile. 2008.  
[http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/120/6/803\\_LopezG-MunozN.pdf](http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/120/6/803_LopezG-MunozN.pdf)
25. Roberto Carro Paz, Daniel González. Localización de Instalaciones. Universidad Nacional del Mar de Plata.  
[http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14\\_localizacion\\_instalaciones.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14_localizacion_instalaciones.pdf)
26. Jorge Acuña A. Modelos Para Localización de Planta.  
<https://facilidadesfisicas.files.wordpress.com/2008/07/localizacion-de-planta2.pdf>
27. Métodos de Localización de Instalaciones de Producción y Servicio.  
<https://es.slideshare.net/iorifoar/mtodos-de-localizacin-de-instalaciones-de-produccin-y-servicios>