UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

Modelos de optimización de rutas de distribución

TRABAJO RECEPCIONAL EN LA MODALIDAD DE:

MONOGRAFÍA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN LOGÍSTICA DE NEGOCIOS

Presenta

MARCO ANTONIO LUNA ARMENTA

ASESOR

MTRA. ANA MARIA CARCAÑO MEZA

Puebla, México

Mayo, 2018

UPAEP

Puebla, Puebla a 2 de julio de 2018

Dra. Soraya Reyes Guerrero
Directora del Programa Académico
Comercio Internacional
Logística de Negocios

Por medio de la presente hago constar mi aprobación y liberación para el Trabajo Recepcional en la modalidad de monografía, titulado:

"Modelos de optimización de rutas de distribución"

Que para poder obtener el título de la Licenciatura en Logística de Negocios, presenta el alumno:

MARCO ANTONIO LUNA ARMENTA
Matrícula 87200063

El cual cumple con los requisitos establecidos por las autoridades de la Facultad de Comercio Internacional de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, para efecto de la realización de su examen profesional.

Atentamente

Director
Mtra. Ana María Carcaño Meza.

Contenido

1. Introducción

En la actualidad, las empresas tienen que innovar constantemente debido a la competitividad y la globalización, buscando nuevos métodos que optimicen sus procesos para disminuir sus costos debido a los constantes cambios a los que se sujeta el mercado, que no son excluyentes a ninguna región, sino que se aplican al planeta entero.

La importancia de este estudio reside en que la distribución es un punto crítico dentro de la cadena de suministro debido a la naturaleza del producto a ser transportado o distribuido, es decir, es importante tener la mercancía en óptimas condiciones al alcance del consumidor final en el menor tiempo posible; dentro de la amplia gama de productos que se utilizan, los de naturaleza perecedera son muy diferentes a artículos de otra índole, tales como, muebles, aparatos electrodomésticos o artículos de la industria textil.

Las empresas dedicadas a la distribución de productos buscan definir un modelo estándar de distribución, el cual podría ser adaptado a cualquier problemática en la realidad, con la cual se pueden adaptar a los parámetros establecidos y al modificarlo, obtener información valiosa, como fundamentación de toma de decisiones de carácter gerencial en lo referente a la gestión logística y sus operaciones.

En este escenario, la capacidad de las empresas para optimizar sus rutas de transporte y distribución aparece como un elemento clave de la gestión logística; sin embargo, no todas las empresas abordan este problema de manera adecuada y sistemática.

Una de las funciones que más ha evolucionado en los últimos años en las organizaciones es la de la distribución. Sin embargo, esta evolución ha derivado problemas en las operaciones de transporte y distribución. El constante incremento de precios de transporte o el aumento de nivel de exigencia de relaciones clientes - proveedores han situado a la gestión logística como un elemento clave dentro de la estrategia de las empresas.

La identificación de la correcta implementación de sistemas logísticos es un factor de suma importancia para las empresas pues constituye una verdadera ventaja competitiva para las mismas, no sólo por su impacto en la satisfacción de los clientes, sino debido al impacto que se produce en el estado de resultados, ya que se logra una disminución de costos asociados a los flujos de materiales, tanto como en materia prima, en el proceso de producción y producto terminado. *(Ganesh K, Nallathambi AS, Narendran T, 2007).*

El objetivo general de este trabajo es recopilar los métodos de rutas de distribución con programación lineal en el programa Solver de Excel para optimizar los recursos de las empresas como costos en la distribución, abastecimiento, problemas de planificación, etc.

Los beneficiados de está monografía, en primera instancia serán las empresas que puedan adaptar el modelo a su sistema de red logística, y más adelante, los consumidores finales, debido a la calidad en los productos que busquen consumir, que se verán directamente involucrados con la calidad de implementación de una red de ruteo óptimo de distribución y al precio final por la reducción de los costos de transporte.

1.1. Niveles de decisión en la optimización de rutas.

La planificación de rutas de distribución genera una variedad de problemas de decisión que dependen críticamente del número de clientes a atender, del tamaño y capacidades de las flotas y de las restricciones impuestas por los clientes y productos.

Actualmente cualquier organización es consciente de que no basta con tener productos de calidad y óptimos en cuanto a su costo de producción, sino que además es necesario que los clientes puedan acceder a ellos en cualquier lugar y situación posible, y todo esto a un costo razonable.

A la hora de decidir quién, cómo y cuándo transportar los productos las organizaciones se enfrentan a tres niveles de decisión complementarios:

Estratégico: En este nivel se engloba a todas aquellas decisiones que afectan a la manera de planificar y ejecutar un sistema completo de distribución, y que por lo tanto asientan las bases sobre las que se desarrolla toda la operativa. Optar por un modelo de transporte propio o subcontratado o definir el modelo de distribución son algunas de las decisiones que cabrían en este nivel. *(Brain Trust, 2009).*

Táctico: Aquí se situarían todas las decisiones directamente vinculadas al ajuste operativo diseñado en el nivel anterior. Por ejemplo, la definición de una nueva ruta o la distribución de un nuevo producto podrían ser factores correspondientes a este nivel de decisión. *(Brain Trust, 2009).*

Operativo: Por simplificar el concepto, podríamos decir que en este nivel se encajan las decisiones del "día a día". Algunos ejemplos de este tipo de decisiones serían aspectos como qué proveedor realiza una carga concreta, cuál es el recorrido óptimo del siguiente transporte, qué tipo de vehículo realizará una entrega concreta, etc. *(Brain Trust, 2009).*

La optimización de rutas es un concepto que toca necesariamente los tres niveles de decisión, si bien, habitualmente adquiere mayor importancia en las decisiones de carácter más táctico y operacional, esto es, en el momento de optimizar modelos ya existentes o adaptarlos ante la necesidad de incorporar nuevos productos o clientes en los flujos de distribución ya implantados. *(Brain Trust, 2009).*

1.2. Beneficios de usar optimización de rutas de distribución.

A continuación se presenta algunos beneficios de usar optimización de rutas de distribución:

a) Ahorro de costos logísticos

En la práctica, está demostrado que las rutas generadas por un modelo de optimización son más eficientes que las rutas generadas a mano por expertos de la calle. Rutas más inteligentes implican menos kilómetros recorridos, menos tiempo en calle y menos combustible gastado. Con optimización de rutas, una empresa puede ahorrar hasta un 30% de sus costos logísticos de despacho. *(Iglesias Antonio, 2009).*

b) Ahorro de tiempo

Con un buen software o algoritmos se puede llegar a hacer rutas de 10 a 15 minutos de trabajo, en cambio cuando lo haces a mano puedes llegar a tardar hasta 2 horas planificando rutas del día siguiente. *(Iglesias Antonio, 2009).*

c) Aumento de satisfacción al cliente

Una ruta creada a mano probablemente tendrá errores. Un error típico que cometen los ruteadores es no tomar en consideración cuando un cliente les pide que "por favor le entreguen en la mañana porque en la tarde no habrá nadie". Como consecuencia, los vehículos visitan estas direcciones a cualquier hora, no encuentran a nadie, pierden el viaje, y el cliente se molesta porque no recibió su pedido.

Un software de optimización de rutas permite incorporar estas restricciones, aumentando la tasa de entrega de los productos en un 15%. Esto no solo repercute en clientes más felices porque sí son escuchados y sí reciben sus productos a tiempo, sino también en disminución en los costos de logística inversa por productos rechazados que vuelven a las bodegas. *(Iglesias Antonio, 2009).*

d) Mejor utilización de vehículos

Optimizando rutas diariamente puedes reducir el tamaño de tu flota hasta en un 10%. Las entregas que antes hacías con 10 vehículos, perfectamente puedes hacerlas con 9. *(Iglesias Antonio, 2009).*

e) Atención a más clientes

Los softwares de Optimización de Rutas no solo crean rutas, sino que entregan información detallada de a qué hora debería estar llegando cada camión a cada dirección, y a qué hora aproximada terminará el camión su ruta.

Utilizando algoritmos de optimización es posible visitar un 15% de clientes adicionales día a día, permitiéndote entregar más productos al día, y reduciendo costos de almacenaje en el proceso. *(Iglesias Antonio, 2009).*

2. Conceptos básicos.

Con el fin de comprender claramente los modelos de optimización de rutas de distribución, en primer lugar se abordarán las definiciones y terminología en el contexto de la optimización de rutas. Más adelante se explicará detalladamente cual es la función de cada uno de los modelos, para que las empresas puedan tomar decisiones y escoger el modelo adecuado para cada situación que se les presente.

2.1 Definiciones

La **logística** se puede considerar como el conjunto de actividades que permite que los productos necesarios lleguen al lugar previsto, en las condiciones adecuadas y en el momento adecuado para satisfacer la demanda del mercado, al menor costo posible. Los canales de distribución sirven como base de transmisión de los bienes y mercancías, así como de la información asociada a todos los procesos operativos de esta transmisión. *(Robusté Anton, 2005).*

Se denomina **cadena de suministro** a la red formada por el conjunto de agentes que intervienen en los procesos de abastecimiento, producción y distribución de un determinado producto hasta llegar al consumidor final, entre otros: proveedores, fabricantes, almacenistas, operadores logísticos, transportistas, distribuidores etc. La gestión de la cadena de suministro contempla todas aquellas actividades de integración coordinación planificación y control de los flujos de productos e información que se generan entre proveedores y clientes. *(Mentzer JT, 2001).*

La **optimización de rutas**, en general podría entenderse a todas aquellas acciones que contribuyan a la mejora de la función de distribución, bien sea en términos de nivel de servicio, mejora de la calidad y reducción de costos. *(Coyle J, 2008).*

2.2 Terminología.

Red: Una red consiste en un conjunto de puntos y un conjunto de líneas que un en ciertos pares de puntos. Los puntos se llaman nodos (o vértices). Las líneas se llaman arcos (o ligaduras, aristas o ramas).

En un problema de programación lineal, las redes pueden representar un conjunto de estaciones, campos petrolíferos, almacenes, fabricas, sucursales, ciudades, interconectadas entre sí a través de caminos, conductos, tuberías que permiten fluir productos para la comercialización o la distribución. *(Jose, Angel, 2014).*

Arcos Dirigidos: Se dice que un arco es dirigido cuando el arco tiene flujo en una dirección (como en una calle de un sentido). La dirección se indica agregando una cabeza de flecha al final de la línea que representa el arco. *(Jose, Angel, 2014).*

Al etiquetar un arco dirigido con el nombre de los nodos que une, siempre se coloca primero al nodo de donde viene y después el nodo a donde va, esto es, un arco dirigido del nodo A al nodo B debe etiquetarse como AB y no como BA. *(Jose, Angel, 2014).*

Arcos No Dirigidos: Si el flujo a través de un arco se permite en ambas direcciones (como una tubería que se puede usar para bombear fluido en ambas direcciones), se dice que es un arco no dirigido. *(Jose, Angel, 2014).*

Capacidad de Arco: Es la cantidad máxima de flujo (quizás infinito) que puede circular en un arco dirigido. *(Jose, Angel, 2014).*

Nodo Fuente: (o nodo de origen) tiene la propiedad de que el flujo que sale del nodo excede al flujo que entra a él. *(Jose, Angel, 2014).*

Nodo Demanda: (o nodo destino) es el caso contrario al nodo fuente, donde el flujo que llega excede al que sale de él. *(Jose, Angel, 2014).*

Nodo de Trasbordo: (o nodo intermedio) satisface la conservación del flujo, es decir, el flujo que entra es igual al que sale. *(Jose, Angel, 2014).*

2.3 Claves para abordar el problema de la optimización

La clave para abordar un problema de optimización de rutas está en comprender que la forma de afrontarlo depende de las particularidades de cada organización y, por lo tanto, no existen soluciones globales capaces de resolver todos los modelos de distribución existentes. *(Iglesias Antonio, 2014).*

No obstante, con independencia de la afirmación anterior, existen varios aspectos que resultan críticos:

a) **Definir claramente el objetivo de la optimización:** es decir, definir claramente el alcance del problema que se quiere resolver y las variables más críticas a la hora de medir el éxito de la optimización (nivel de servicio, costo, etc.). *(Iglesias Antonio, 2014).*

Algunas cuestiones imprescindibles de la fase de Definición serían:

- ¿Se desea elevar el nivel de servicio, aumentar la fiabilidad o reducir el costo de las rutas?
- ¿Cuáles son los objetivos prioritarios?
- ¿Qué restricciones pueden existir en el modelo?
- ¿A qué otras rutas afectarían modificaciones en la ruta objetivo?

b) **Delimitar claramente el servicio actual:** en términos de características del producto, características de las rutas y características de la organización (procesos y medios con los que cuenta). *(Iglesias Antonio, 2014).*

Algunas cuestiones imprescindibles a la hora de delimitar el servicio serían, por ejemplo:

- ¿Es una distribución capilar o una distribución para rutas de larga distancia?

Distribución capilar mercancías debemos resaltar su condición como último eslabón de la cadena de suministro, ya que es la parte final de esta cadena al llevar el producto hasta el punto final de consumo. *(Fernandez, G, (2015).*

Es el transporte de mercancías en las ciudades hasta llegar a su fin. Para ser más exactos, la última etapa de la cadena de distribución, donde está el consumidor final, los supermercados, tiendas, comercios. *(Fernandez, G, (2015).*

Distribución larga distancia la mercancía puede ser transportada con una gran variedad de modos de transporte (por ferrocarril, transporte aéreo, marítimo, fluvial o por carretera) y puede realizar varias paradas en almacenes o nodos de cambio modal hasta llegar a su destino final. *(Fernández, G, (2015).*

- ¿Con que tipo de flota es posible contar: propia, ajena, exclusiva dedicada?

El transporte propio o flota privada le otorga a la compañía una mayor flexibilidad que la que pueda conseguir con cualquier otra estrategia de transporte, sin embargo como hemos podido explicar este no es el único factor que afecta el contexto de la selección del servicio de transporte, dado que no siempre logra la misma eficiencia que la que se puede conseguir subcontratando a terceros. El transporte privado implica tener muy presente la existencia de costos tanto fijos (salarios, depreciación, seguros) como variables, y dentro de los variables es importante considerar el potencial de ingresos o reducción de costos que pueden suponer los trayectos desde el destino hasta el origen. (*Salazar, F, 2015)*

La subcontratación del servicio del transporte en lugar de o en combinación con una flota privada otorga a la compañía la posibilidad de convertir sus costos fijos en variables. Sin embargo cabe recordar que el costo no es el único factor a considerar en el proceso de optimización de la selección del servicio de transporte, y en el caso de la subcontratación hay que considerar con detenimiento los siguientes factores:

- Servicio ofrecido
- Seguridad ofrecida

- Ventajas financieras

Además vale la pena considerar que la subcontratación del servicio de transporte le permite a la compañía un mayor enfoque en el core business de la misma, y dejar esta clase de tareas a los operadores especializados en las tareas del transporte. (*Salazar, F, 2015).*

- ¿Cuál es el costo de cada una de los tipos de flota?
- ¿Qué restricciones existen en el tipo de vehículos a utilizar?
- ¿Qué restricciones en horarios/días/lugares de entrega existen?
- ¿Hay que aprovechar los viajes de retorno? ¿Qué alternativas existen?

La logística inversa es una de las herramientas que las organizaciones deberían utilizar para poder ser llamadas Empresas Socialmente Responsables, pues la logística inversa no solo se aplica a la distribución de productos hasta su venta, sino más bien, a la recolección de residuos, posterior a su venta, la empresa debe estar comprometida a recolectar sus componentes de desperdicio para que sean reciclados y reutilizados. *(Mendoza, I, 2015).*

- ¿Cuál es el volumen y el peso de la mercancía a transportar?
- ¿Cuál es el calendario de mantenimiento preventivo de los vehículos?

c) **Establecer el tipo de resultado deseado para el proyecto:** entendiendo como tal, si se busca un sistema que permita controlar numerosas rutas aun a costa de perder flexibilidad o, por el contrario, un sistema más flexible con un alcance más acotado. *(Iglesias Antonio, 2014).*

Algunas cuestiones imprescindibles a la hora de establecer el tipo de resultados serían:

- ¿Es necesario un modelo de ejecución continua o discreta?
- ¿Debería ser automático o manual?
- ¿Integrado en sus input o sus output con el resto de los sistemas de la organización?
- ¿Qué tipo de información es necesario obtener como salida del proceso?

En un entorno cada vez más competitivo, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) reconocen que el mercado ya no solamente les exige productos de calidad y buenos precios, sino también una cadena de distribución efectiva que garantice el cumplimiento de los plazos de entrega en las condiciones pactadas. La innovación en la logística de las PYMES es un factor de suma importancia para reducir mermas y elevar la competitividad de las empresas, tanto en el mercado local como en el internacional. Una mejor gestión logística y de distribución contribuye con elevar la rentabilidad de las empresas debido a que reduce las mermas al máximo y reduce el costo de distribución. *(Coyle J, 2008).*

3. Modelos de optimización de rutas de distribución.

Las características de los problemas y de la toma de decisiones en general, y en particular la optimización de rutas, vienen condicionadas por los recursos que se utilicen, los objetivos y las restricciones que se establezcan. Todos estos elementos determinarán la formulación de los modelos y los métodos de solución.

Para abordar los problemas de planificación de ruta necesitamos analizar todos los elementos o componentes que intervienen en el mismo, los cuales permitirán especificar los parámetros, restricciones, criterios de decisión, objetivos y resultados, así como la naturaleza y características de los datos e información que los componen, los cuales serán de utilidad para crear o diseñar los modelos y métodos adecuados para resolverlos. Esta especificación de requisitos proporciona una visión general de los problemas y de los resultados esperados asociados con la toma de decisiones. *(Ganesh K, Nallathambi AS, Narendran T, 2007).*

Los principales elementos que determinan el problema y la naturaleza de la información son los siguientes:

1. Los modos de transporte (aéreo, marítimo, terrestre o por carretera) y las redes de transporte (físicas o no, como carreteras, vías de tren, líneas aéreas o marítimas) que condicionan las rutas en un ´área geográfica determinada.
2. Las ´áreas de distribución, ubicación y delimitación geográfica del problema, que permite clasificar, ordenar y establecer prioridades de la distribución de clientes, así como obtener los niveles de abstracción que fijan los detalles necesarios del problema y focalizan los objetivos del mismo.

3. La flota de medios de transportes asociada con el modo de transporte y sus características.
4. Los clientes o nodos, los cuales demandan una cantidad determinada y en general conocida de bienes que deberá ser atendida por algún medio y cubierta por alguna ruta, con ciertas limitaciones establecidas.
5. Los bienes o mercancías transportadas, los productos demandados, que condicionan el modo, el medio de transporte y las rutas.
6. Los almacenes o depósitos, que suelen establecerse como los nodos iniciales y/o finales de las rutas, donde bienes y medios de transportes suelen estar localizados. *(Ganesh K, Nallathambi AS, Narendran T, 2007).*

Una ruta es factible cuando se puede realizar el recorrido completo, atiende a todos los clientes cumpliendo todas las restricciones. El resultado esperado, la solución del problema serán las rutas, conjunto de recorridos o secuencia de clientes a visitar, que parten y terminan en un depósito u otro lugar determinada. *(Ganesh K, Nallathambi AS, Narendran T, 2007).*

Una de las herramientas más importantes de la optimización es la **programación lineal.** Un problema de programación lineal está dado por una función lineal de varias variables que debe ser optimizada (maximizada o minimizada) cumpliendo con cierto número de restricciones también lineales. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Por medio de la programación lineal se pueden formular y resolver problemas de una gran variedad de campos del quehacer humano, entre los que se puede mencionar:

- Asignación de recursos en la planificación de gobierno.
- Análisis de redes para planificación urbana y regional.

- Planificación de la producción en la industria, y la administración de sistemas de transporte y distribución.

Por esto la programación lineal es uno de los éxitos de la moderna teoría de la optimización. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Las **redes** surgen en numerosas circunstancias y en diversas situaciones. Redes de transporte, eléctricas y de comunicaciones se presentan de manera cotidiana en nuestras vidas. Las representaciones de redes también se utilizan ampliamente en problemas de áreas tan diversas como producción, distribución, planeación de proyectos, localización de instalaciones, administración de recursos y planeación financiera, por mencionar sólo algunos ejemplos. En realidad, una representación de redes proporciona una ayuda visual y conceptual muy poderosa para representar las relaciones entre los componentes de los sistemas que se utilizan en casi todos los campos del hacer científico, social y económico. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Los **problemas de transporte** así como los de asignación forman parte de los problemas de optimización de redes que también son considerados problemas de programación lineal. En consecuencia, después de formular un modelo de hoja de cálculo para estos problemas, es posible resolverlos con facilidad con el Solver de Excel. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Ahora es posible contar con algoritmos y programas que se utilizan para resolver grandes problemas en forma rutinaria, mismos que, hace un par de décadas, habría sido imposible manejar.

A continuación se analizaran 3 tipos de problemas de optimización de rutas**.**

Flujo a costo mínimo, una aplicación típica implica minimizar el costo de enviar bienes a través de una red de distribución.

Flujo máximo, que se ocupan de asuntos tales como la manera de maximizar el flujo de bienes a través de una red de distribución.

Los problemas de ruta más corta, tiene como objetivo encontrar la ruta más corta entre dos puntos. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

3.1 Problemas de flujo al costo mínimo

El método de flujo al costo mínimo es un algoritmo desarrollado con el objetivo de resolver problemas de transporte o distribución, es el más utilizado ya que arroja mejores resultados que ningún otro método, dado que se enfoca en las rutas que presente menores costos. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

El problema del flujo de costo mínimo tiene una posición medular ente los modelos de optimización de redes; primero, porque abarca una clase muy amplia de aplicaciones y segundo, porque su solución es en extremo eficiente. Al igual que el problema del flujo máximo, toma en cuenta un flujo a través de una red con capacidades limitadas en sus arcos. Al igual que el problema de la ruta más corta, considera un costo (o distancia) para el flujo a través de un arco. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

La razón por la que el problema del flujo de costo mínimo se puede resolver de manera tan eficiente es que se puede formular como un problema de programación lineal, y por tanto, se puede resolver mediante una versión simplificada del método símplex llamada método símplex de redes. En la siguiente sección se describirá este algoritmo. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Ejemplo 1. Distribution Unlimited Co.

La red de distribución disponible para enviar este producto, donde F1 y F2 son las dos fábricas, W1 y W2 son las dos bodegas y DC es el centro de distribución. Las flechas muestran las rutas factibles. En particular hay un enlace ferroviario desde la fábrica 1 a la bodega 1, y otro desde la fábrica 2 a la bodega 2. (Cualesquiera cantidades pueden enviarse por estos enlaces ferroviarios.) Además, se puede disponer de camioneros independientes para enviar hasta 50 unidades desde cada fábrica al centro de distribución, y luego para enviar hasta 50 unidades desde el centro de distribución a cada bodega. (Lo que sea que se envíe al centro de distribución debe enviarse después a las bodegas.) El objetivo de la gerencia es determinar el plan de envíos (cuántas unidades enviar a lo largo de cada ruta) que minimice el costo total.

Los costos de envío cambian en forma considerable entre estas rutas. El costo por unidad enviada por cada ruta se muestra por encima de la flecha correspondiente en la red. Esta red es una representación completa del problema, incluyendo todos los datos necesarios, de modo que constituye un modelo de redes de este problema de flujo a costo mínimo. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

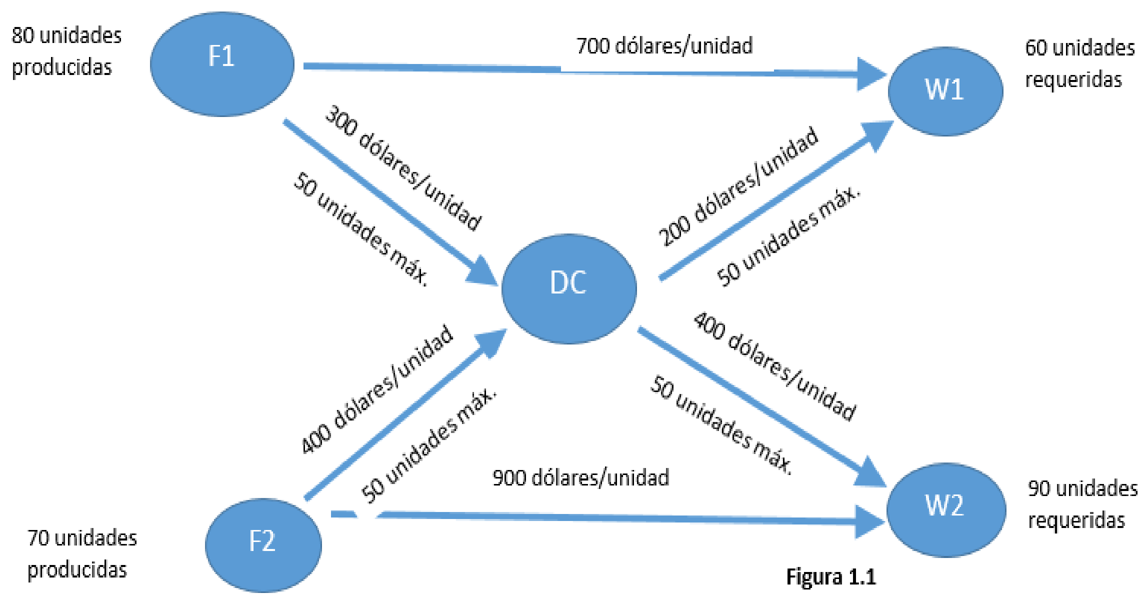


Figura: 1.1

Fuente: *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008)*

Formulación del modelo en la hoja de cálculo

El objetivo es **Minimizar Costo** = costo total de enviar los tornos

Al utilizar los costos de embarque de la tabla

Costo =

700 F1-W1 + 300 F1-DC + 200 DC-W1 + 900 F2-W2 + 400 F2-DC + 400 DC-W2.

El problema cuenta con las siguientes restricciones:

F1+DC<=50

DC+W1<=50

F2+DC<=50

DC+W2<=50

F1=W1

F2=W2.

A continuación se muestra el modelo de la hoja de cálculo problema distribution unlimited.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Problema de flujo de costo mínimo de distribution unlimited.**										
2						Costo					
3	DE	A	ENVIAR		Capacidad	unitario		NODO	FLUJO NETO		Oferta/demanda
4	F1	W1	0			$ 700.00		F1	0	=	80
5	F1	DC	0	<=	50	$ 300.00		F2	0	=	70
6	DC	W1	0	<=	50	$ 200.00		DC	0	=	0
7	DC	W2	0	<=	50	$ 400.00		W1	0	=	60
8	F2	DC	0	<=	50	$ 400.00		W2	0	=	90
9	F2	W2	0			$ 900.00					
10											
11		Costo total	=SUMAPRODUC								
12											

Figura: 1.2

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la **figura 1.2** se tomaron todos los datos que arrojó el problema y los capture en Excel. En el costo total se usa la formula sumaproducto(costo unitario, enviar). La fórmula queda **=sumaproducto (C4:C9, F4:F9).**

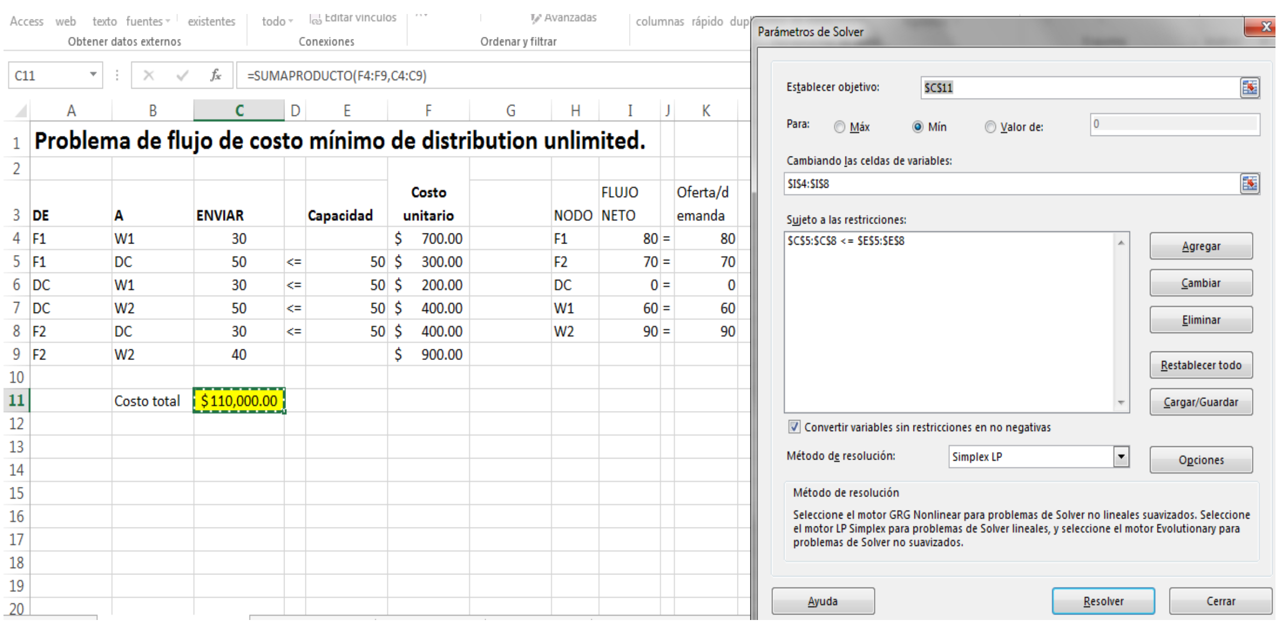


Figura: 1.3

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la figura 1.3 se observa como todos los datos del Excel los capturamos al solver, nuestra función objetivo es minimizar el costo total por tal motivo es que está seleccionado min y la celda **C11**, nuestras variables de decisión son todas las maneras que podemos enviar la mercancía

Problema de flujo de costo mínimo de distribution unlimited.

DE	A	ENVIAR		Capacidad	Costo unitario		NODO	FLUJO NETO		Oferta/demanda
F1	W1	30			$ 700.00		F1	80	=	80
F1	DC	50	<=	50	$ 300.00		F2	70	=	70
DC	W1	30	<=	50	$ 200.00		DC	0	=	0
DC	W2	50	<=	50	$ 400.00		W1	60	=	60
F2	DC	30	<=	50	$ 400.00		W2	90	=	90
F2	W2	40			$ 900.00					
	Costo total	$110,000.00								

Figura: 1.4

Fuente: Elaboración propia, 2018

Como podemos observar en la tabla de Excel, lo recomendable es mandar **30 unidades de F1 a W1, 50 F1 a DC, 40 F2 a W2, 30 F2 a DC, 30 DC a W1, 50 DC a W2.** Con esto logramos que nos arroje el menor costo posible y siempre cumpliendo con nuestras restricciones, abasteciendo nuestro CEDIS y nuestro almacén.

Ejemplo 2. Problema de flujo al costo mínimo

A diferencia del ejemplo anterior en este caso se optimiza el plan de embarque para transportar bienes. En una aplicación típica, una compañía cuenta con varias plantas en las que fabrica un producto determinado que necesita enviar a sus clientes. El problema de la distribución es saber ¿Cuánto debe enviar cada planta a cada cliente para minimizar el costo total?

La programación lineal puede dar la respuesta. Este tipo de problema de programación lineal se le denomina flujo al costo mínimo.

En general, en esta aplicación son necesarios dos tipos de restricciones funcionales. Uno, que la cantidad de un producto fabricado en cada planta debe ser igual a la cantidad total enviada a los clientes. La segunda restricción consiste en que la cantidad total que cada cliente recibe de las plantas debe ser igual a la cantidad ordenada. Estas son las restricciones de requerimientos fijos. (Heizer, J, 2015)

El problema de transporte de la compañía Big M

La Big M Company produce varias máquinas de trabajo pesado en dos fábricas. Una de estas máquinas es un torno grande. Tres clientes han colocado pedidos para comprar algunos el mes siguiente.

Los tornos se embarcarán individualmente y la siguiente tabla muestra cuál será el costo de embarcar cada uno desde cada planta a cada cliente. Esta tabla también muestra cuántos ha ordenado cada cliente y cuántos producirá cada fábrica. Ahora, el gerente de distribución de la empresa quiere determinar cuántas máquinas enviar desde cada fábrica a cada cliente para minimizar el costo total de embarque.

Tabla: costo de embarque de cada torno

Figura: 1.11

Fuente: (Heizer, J, 2015)

	Costo de embarque de cada torno			
Desde/Hacia	**Cliente 1**	**Cliente 2**	**Cliente 3**	**Producción**
Fabrica 1	$700	$900	$800	12 tornos
Fabrica 2	$800	$900	$700	15 tornos
Tamaño del pedido	10 tornos	8 tornos	9 tornos	

La red de distribución ignora la ubicación geográfica de las fábricas y los clientes, y alinea las dos fábricas en una columna a la izquierda y los tres clientes en una columna a la derecha. Cada flecha muestra una de las rutas de embarque a través de esta red de distribución.

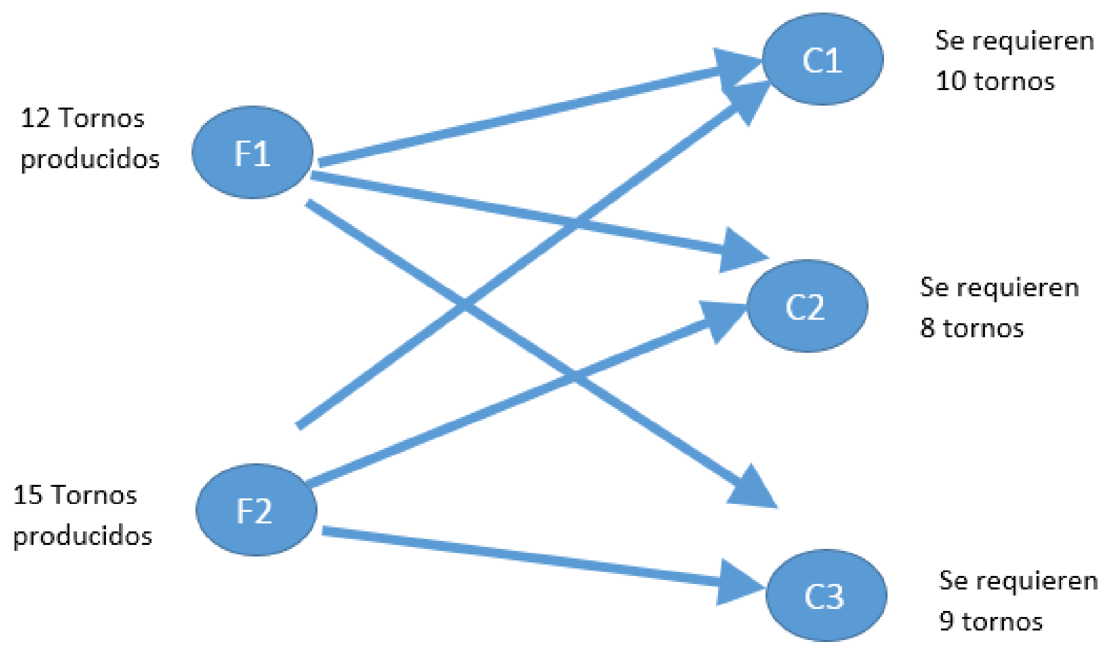


Figura: 1.12
Fuente: (Heizer, J, 2015)

Las decisiones a tomar son

***S* F1-C1** = número de tornos embarcados de la fábrica 1 al cliente 1

***S* F1-C2** = número de tornos embarcados de la fábrica 1 al cliente 2

***S* F1-C3** = número de tornos embarcados de la fábrica 1 al cliente 3

***S* F2-C1** = número de tornos embarcados de la fábrica 2 al cliente 1

***S* F2-C2** = número de tornos embarcados de la fábrica 2 al cliente 2

***S* F2-C3** = número de tornos embarcados de la fábrica 2 al cliente 3

El objetivo es **Minimizar Costo** = costo total de enviar los tornos

Al utilizar los costos de embarque de la tabla

Costo =

700 F1-C1 + 900 F1-C2 + 800 F1-C3 + 800 F2-C1 + 900 F2-C2 + 700 F2-C3

Es la cantidad en dólares que se introduce en la celda meta.

El problema cuenta con las siguientes restricciones:

Restricción 1: la fábrica 1 debe enviar 12 tornos.

Restricción 2: la fábrica 2 debe enviar 15 tornos.

Restricción 3: el cliente 1 debe recibir 10 tornos.

Restricción 4: el cliente 2 debe recibir 8 tornos.

Restricción 5: el cliente 3 debe recibir 9 tornos.

Formulación del modelo de hoja de cálculo

Una vez teniendo los 3 principales datos que son: Función objetivo, variables de decisión y restricciones, se pasan los datos a una hoja de cálculo en Excel en la que se hace lo siguiente.

Función objetivo: Minimizar Costo de embarque.

Variable de decisión: Minimizar Costo = 700F1-C1 + 900F1-C2 + 800F1-C3 + 800F1-C1 + 900F2-C2 + 700F2-C3

Sujeta a las siguientes restricciones:

F1-C1 + F1-C2 + F1-C3 = 12 (fábrica 1)

F2-C1 + F2-C2 + F2-C3 = 15 (fábrica 2)

F1-C1 + F2-C1 = 10 (cliente 1)

F1-C2 + F2-C2 = 8 (cliente 2)

F1-C3 + F2-C3 = 9 (cliente 3)

A continuación se muestra el modelo de la hoja de cálculo problema compañía big M

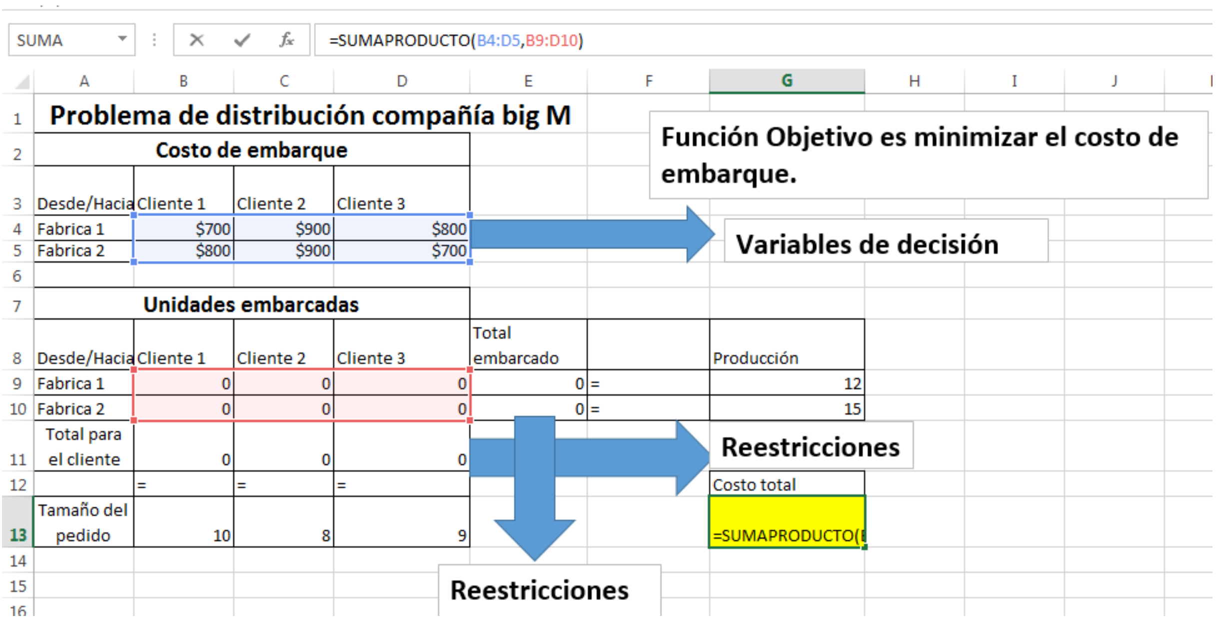


Figura: 1.13

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 1.13** se tomaron todos los datos que arrojó el problema y los capture en Excel. En el costo total se usa la formula sumaproducto(costo de embarque por cliente, unidades embarcadoas por cliente).

La fórmula queda **=sumaproducto (B4:D5, B9:D10).**

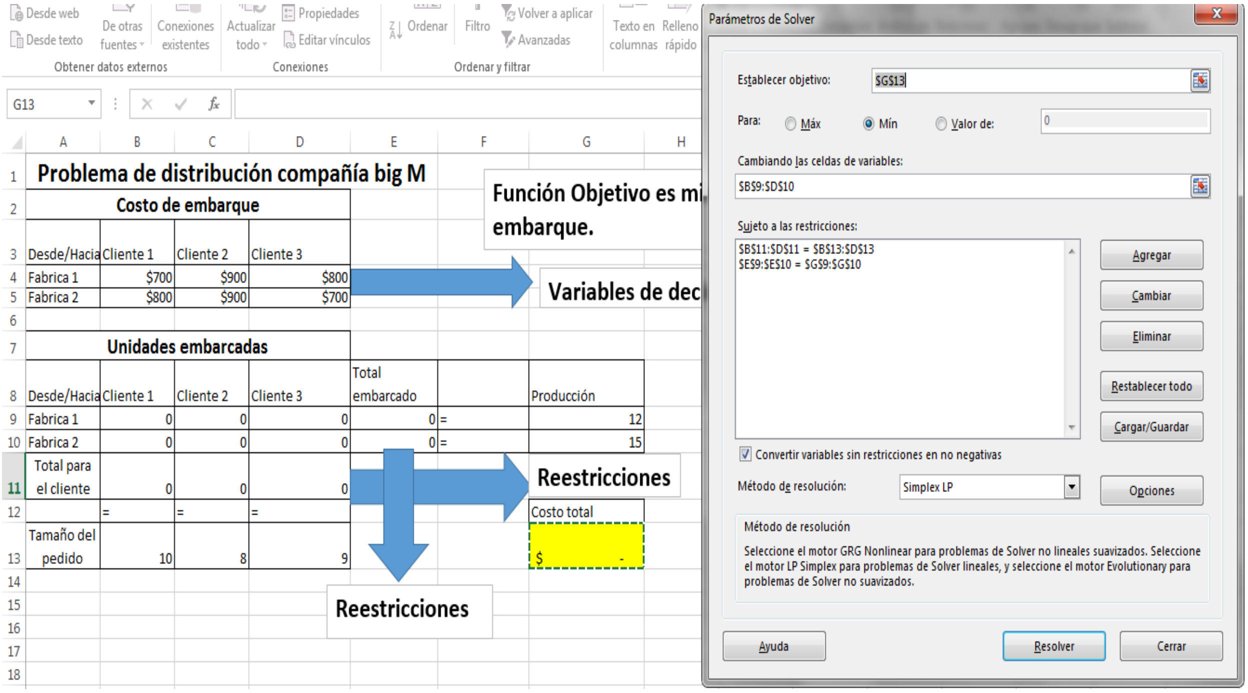


Figura: 1.14

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 1.14** se observa que todos los datos que están en Excel se capturaron en solver. Función objetivo minimizar celda **G13**, variables de decisión **B9:D10** y restricciones **B11:D11=B13:D13** y la otra es **E9:E10=G9:G10.**

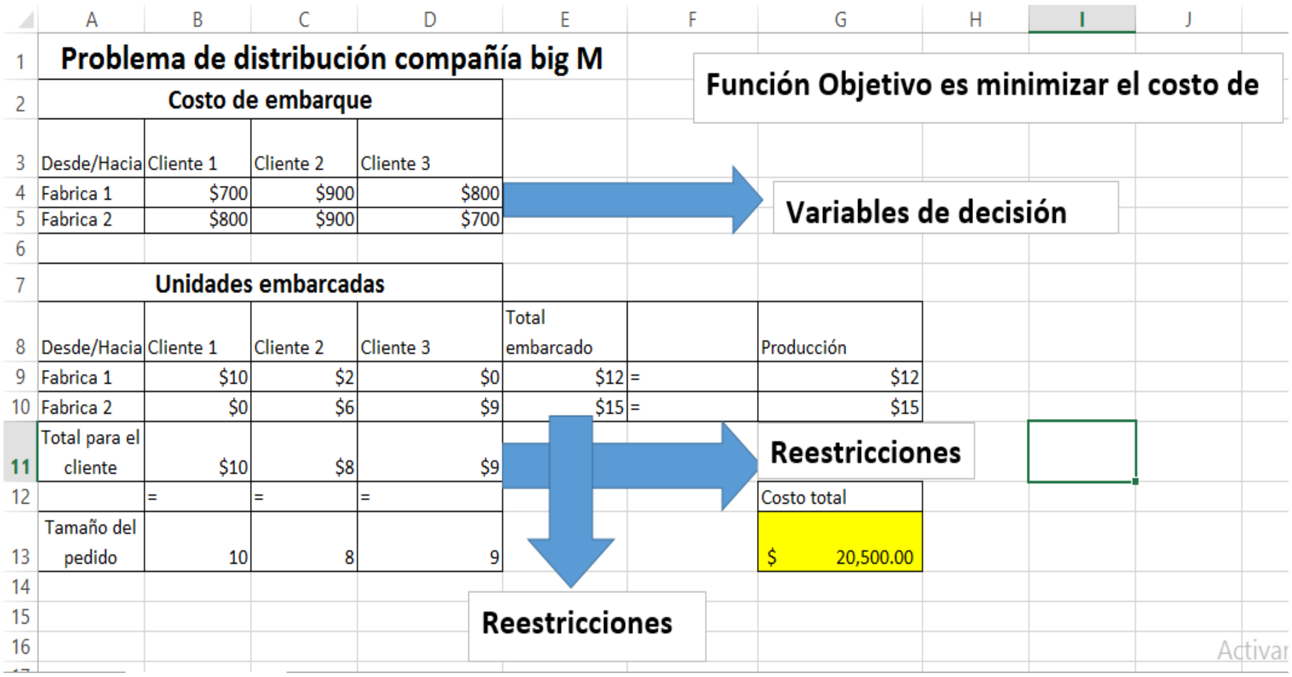


Figura: 1.15

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En este caso se han mencionado dos tipos de actividades: la producción de los tornos en las dos fábricas y el embarque de los mismos a través de las diversas rutas existentes.

Sin embargo, conocemos las cantidades específicas que debe producir cada fábrica, por lo que no se necesitó tomar decisión alguna acerca de las actividades de producción. La toma de decisiones se refiere a los niveles de actividades de embarque: cuántos tornos embarcar por cada ruta y se llega a la conclusión que se embarcan 12 de la fábrica 1 y 15 de la fábrica 2. En la **figura 1.15** observamos como cumplen los requerimientos de los clientes y se logra tener el menor costo posible.

3.2. Problema de flujo máximo

Se trata de enlazar un nodo fuente y un nodo destino a través de una red de arcos dirigidos. Cada arco tiene una capacidad máxima de flujo admisible. El objetivo es el de obtener la máxima capacidad de flujo entre la fuente y el destino. *(Marin, G, 2015)*

Características:

Todo flujo a través de una red conexa dirigida se origina en un nodo, llamado fuente, y termina en otro nodo llamado destino.

Los nodos restantes son nodos de trasbordo.

Se permite el flujo a través de un arco sólo en la dirección indicada por la flecha, donde la cantidad máxima de flujo está dada por la capacidad del arco. En la fuente, todos los arcos señalan hacia fuera. En el destino, todos señalan hacia el nodo. *(Marin, G, 2015)*

El objetivo es maximizar la cantidad total de flujo de la fuente al destino. Esta cantidad se mide en cualquiera de las dos maneras equivalentes, esto es, la cantidad que sale de la fuente o la cantidad que entra al destino. *(Marin, G, 2015)*

El problema de flujo máximo se puede formular como un problema de programación lineal, se puede resolver con el método símplex y usar cualquier software. *(Marin, G, 2015)*

Algunas aplicaciones:

- Maximizar el flujo a través de la red de distribución de una compañía desde sus fábricas hasta sus clientes. *(Marin, G, 2015)*

- Maximizar el flujo a través de la red de suministro de una compañía de proveedores a las fábricas. *(Marin, G, 2015)*
- Maximizar el flujo de vehículos por una red de transporte. *(Marin, G, 2015)*

Ejemplo 1. El problema de distribución de la compañía BMZ

BMZ tiene una reputación bien ganada de proporcionar un servicio excelente. Un aspecto clave para mantener esta reputación es hacer que haya una gran oferta de refacciones fácilmente disponibles para los numerosos distribuidores y talleres de reparación de la empresa. Estas refacciones se almacenan principalmente en los centros de distribución de la empresa y luego se envían rápidamente a donde se requieren. Una de las principales prioridades es evitar que estos centros de distribución se encuentren desabastecidos. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

La compañía cuenta con varios centros de distribución en Estados Unidos. Sin embargo, el más cercano a Los Ángeles se ubica a más de 1 000 millas de distancia, en Seattle. Una vez que los automóviles BMZ se han vuelto especialmente populares en California, es muy importante mantener bien abastecido el centro de Los Ángeles. Por lo tanto, el hecho de que actualmente se esté fallando en los suministros es un asunto que preocupa mucho a la dirección de BMZ. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

La mayoría de las partes de repuesto se produce en la principal fábrica de la empresa, en Stuttgart, Alemania, junto con la producción de automóviles nuevos. Esta fábrica es la que ha estado suministrando partes de repuesto al centro de Los Ángeles. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

El problema es maximizar el flujo de partes de reemplazo para los automóviles desde la fábrica en Stuttgart, Alemania, hasta el centro de distribución en Los Ángeles.

La red de distribución se ha representado en la figura 2.1, donde los nodos denominados **ST** y **LA** son la **fábrica en Stuttgart** y el **centro de distribución en Los Ángeles**, respectivamente. Hay una vía ferroviaria cerca de la fábrica, por lo que los envíos primero van por tren a uno de tres puertos Europeos: **Rótterdam (nodo RO), Burdeos (nodo BO) y Lisboa (nodo LI)**. Luego viajan por barco a puertos en Estados Unidos, sea en **Nueva York (nodo NY) o en Nueva Orleáns (nodo NO).** Finalmente, se les envía en camión desde estos puertos al centro de distribución en Los Ángeles. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

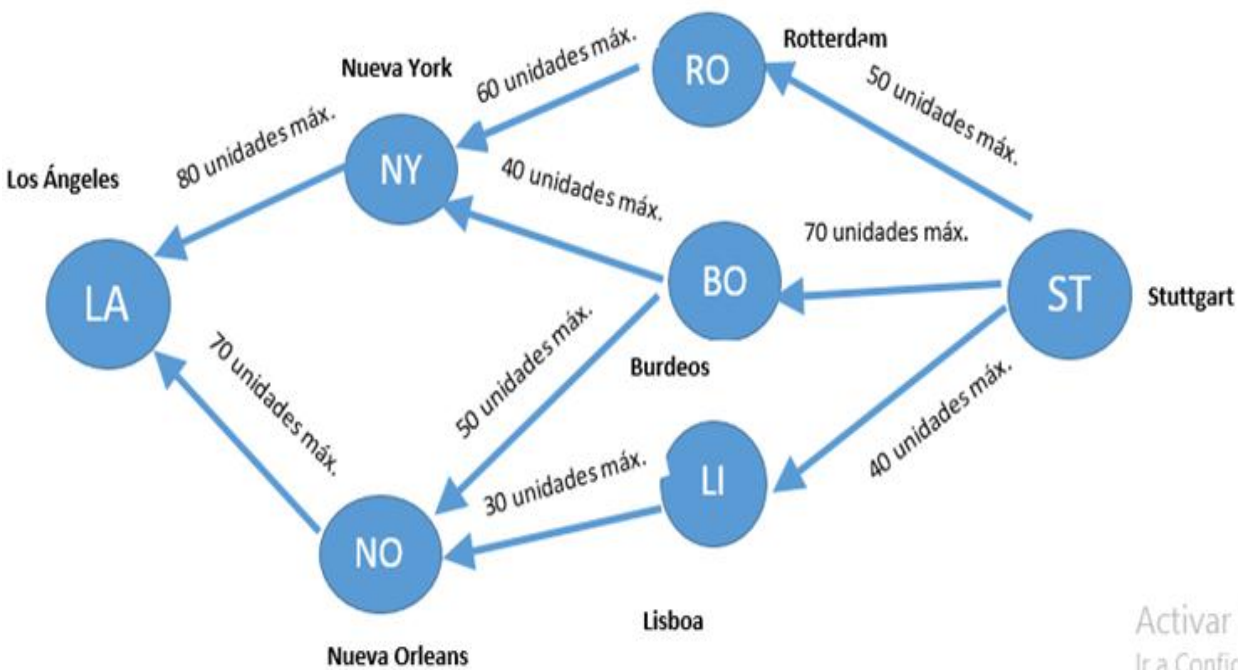


Figura: 2.1

Fuente: (Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).

Formulación de modelo de hoja de cálculo

El objetivo es **Maximizar el flujo** de partes de reemplazo para los automóviles desde la fábrica en Stuttgart, Alemania hasta Los Ángeles.

Max= ST + RO + BO + LI + NY + NO + LA

El problema cuenta con las siguientes restricciones:

ST+RO<=50

ST+BO<= 70

ST+LI<= 40

RO+NY<= 60

B0+NO<=50

LI+NO<=30

NY+LA<=80

NO+LA<= 70

A continuación se muestra el modelo de la hoja de cálculo problema BMZ Company.

C14 =H4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Problema de flujo máximo de la BMZ company.							Rotterdam		
2										
3	Orgen	Destino	Envío		Capacidad		Nodos	Flujo neto		Oferta/demanda
4	Stuttgart	Rotterdam	0	<=	50		Stuttgart	0		
5	Stuttgart	Burdeos	0	<=	70		Rotterdam	0	=	0
6	Stuttgart	Lisboa	0	<=	40		Burdeos	0	=	0
7	Rotterdam	Nueva York	0	<=	60		Lisboa	0	=	0
8	Burdeos	Nueva York	0	<=	40		Nueva York	0	=	0
9	Burdeos	Nueva Orleans	0	<=	50		Nueva Orleans	0	=	0
10	Lisboa	Nueva Orleans	0	<=	30		Los Ángeles	0		
11	Nueva York	Los Ángeles	0	<=	80					
12	Nueva Orleans	Los Ángeles	0	<=	70					
13										
14		Flujo Máximo	0							

Figura: 2.2

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 2.2** se capturan en Excel todos los datos del problema.

.

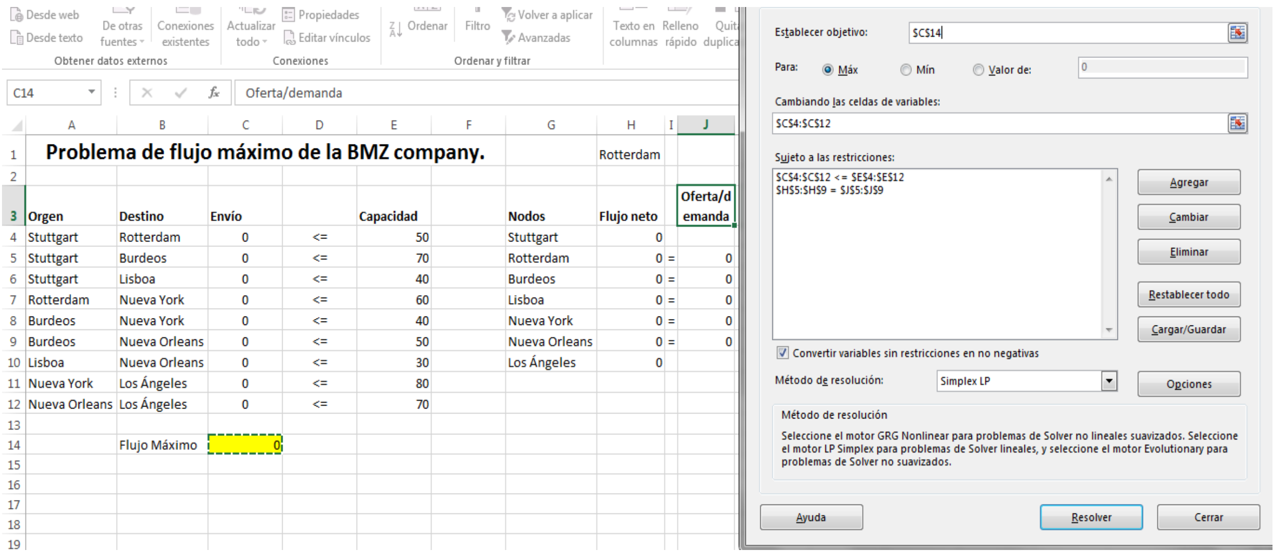


Figura: 2.3

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 2.3** se observa como se capturan los datos del Excel en el solver. Función objetivo maximizar, variables de decisión **C4:C12** y las restricciones son **C4:C12<= E4:E12**, **H5:H9=J5:J9**.

1	Problema de flujo máximo de la BMZ company.							Rotterdam		
2										
3	Orgen	Destino	Envío		Capacidad		Nodos	Flujo neto		Oferta/demanda
4	Stuttgart	Rotterdam	50	<=	50		Stuttgart	=C4+C5+C6		
5	Stuttgart	Burdeos	70	<=	70		Rotterdam	0	=	0
6	Stuttgart	Lisboa	30	<=	40		Burdeos	0	=	0
7	Rotterdam	Nueva York	50	<=	60		Lisboa	0	=	0
8	Burdeos	Nueva York	30	<=	40		Nueva York	0	=	0
9	Burdeos	Nueva Orleans	40	<=	50		Nueva Orleans	0	=	0
10	Lisboa	Nueva Orleans	30	<=	30		Los Ángeles	150		
11	Nueva York	Los Ángeles	80	<=	80					
12	Nueva Orleans	Los Ángeles	70	<=	70					
13										
14		Flujo Máximo	150							

Figura: 2.4

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 2.4** se observa como en el flujo neto de Stuttgart suma todas las que envió y ese es el flujo máximo porque es el total de lo que pudo salir de las 3 fábricas.

Se llega a la conclusión que solo 150 productos pueden ser entregados en el centro de distribución de Los Ángeles, cumpliendo el 100% de las restricciones, ya que en algunas ciudades la capacidad de embarque no era tan grande como en otras ciudades.

Ejemplo 2. Seervada Park

La empresa Seervada Park tiene varias fábricas y múltiples clientes, en este ejercicio tenemos O como la fábrica u origen y tenemos T como clientes o destino. Para poder ser enviada a los clientes la mercancía tiene que pasar por los siguientes nodos, A, B, C, D, E, los cuales cuentan con restricciones de capacidad de flujo. *(Ordoñez, K 2015)*

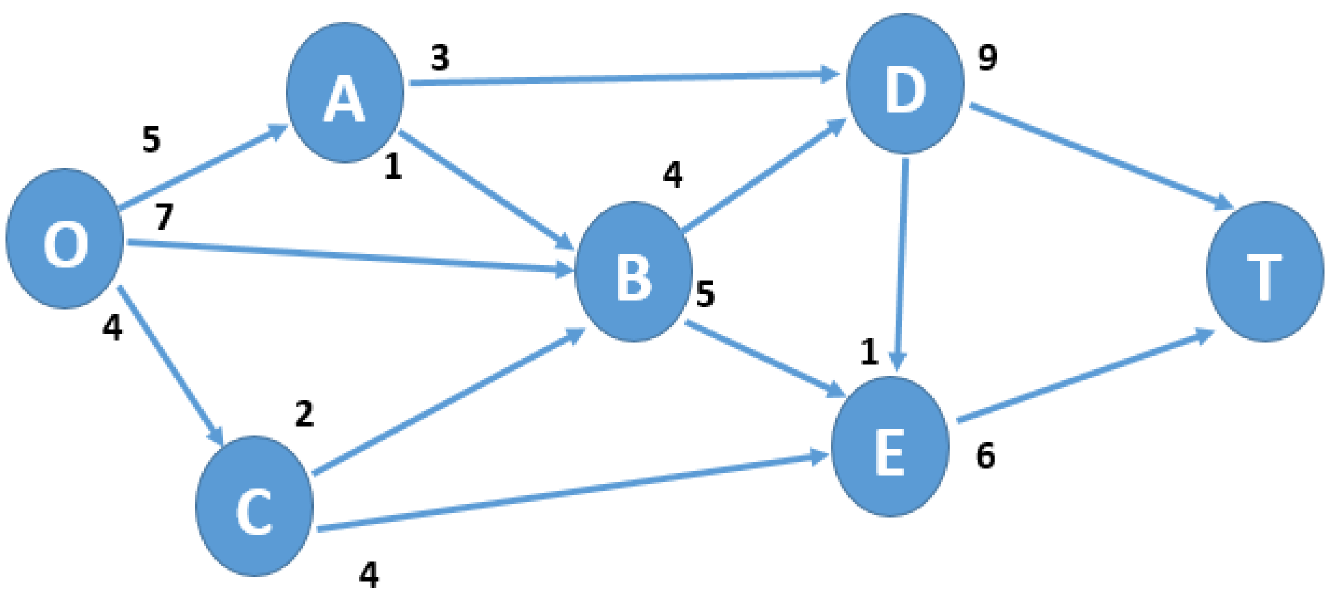


Figura: 2.21

Fuente: (Ordoñez, K 2015)

Formulación de modelo de hoja de cálculo

El objetivo es **Maximizar el flujo** de mercancía desde la fábrica hasta el cliente final.

MAX= 0+A+C+B+D+E+T

El problema cuenta con las siguientes restricciones:

O+A<= 5	C+E<= 4	B+E<= 1
O+B<= 7	A+D<= 3	D+T<= 9
O+C<= 4	A+B<= 1	D+E<= 1
C+B<= 2	B+D<= 4	E+T<=6

A continuación se muestra el modelo de la hoja de cálculo problema Seervada Park.

Problema de flujo máximo de

Orgen	Destino	Envío		Capacidad		Nodos	Flujo neto		Oferta/demanda
O	A	0	<=	5		O	0		
O	B	0	<=	7		A	0	=	0
O	C	0	<=	4		B	0	=	0
A	D	0	<=	3		C	0	=	0
A	B	0	<=	1		D	0	=	0
C	B	0	<=	2		E	0	=	0
C	E	0	<=	4		T	0		
B	D	0	<=	4					
B	E	0	<=	5					
D	T	0	<=	9					
D	E	0	<=	1					
E	T	0	<=	6			0		

Figura: 2.22

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 2.22** se observa como se capturan los datos del problema al Excel.

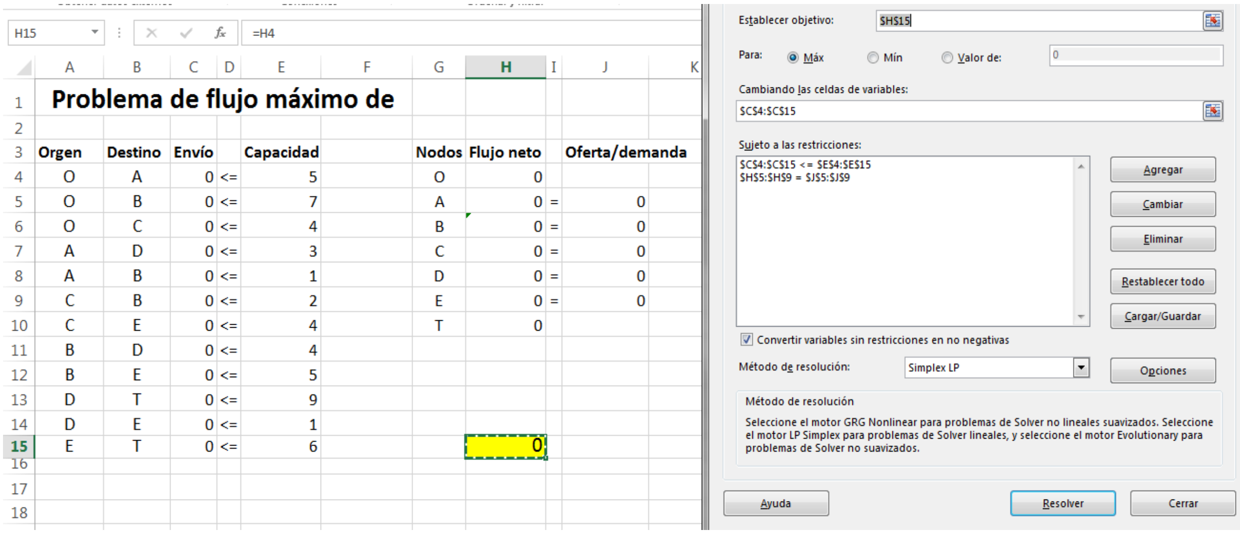


Figura: 2.23

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la figura 2.23 se capturan los datos del Excel al solver. La función objetivo es maximizar **H15**, las variables de decisión son **C4:C15** y las restricciones son **C4:C15<=E4:E15, H5:H9=J5:J9**

Problema de flujo máximo de

Orgen	Destino	Envío		Capacidad	Nodos	Flujo neto		Oferta/demanda
O	A	4	<=	5	O	13		
O	B	7	<=	7	A	0	=	0
O	C	2	<=	4	B	0	=	0
A	D	3	<=	3	C	0	=	0
A	B	1	<=	1	D	0	=	0
C	B	1	<=	2	E	0	=	0
C	E	1	<=	4	T	13		
B	D	4	<=	4				
B	E	5	<=	5				
D	T	7	<=	9				
D	E	0	<=	1				
E	T	6	<=	6		13		

Figura: 2.24

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 2.24** observamos como el flujo de mercancías máximo es de 13 unidades.

3.3 Ruta más corta

El objetivo de aplicar este método es encontrar la ruta más corta desde el origen hasta el destino. En un problema de la ruta más corta, los viajes van del origen al destino a través de una serie de ligaduras (como pueden ser los caminos) que conectan pares de nodos en la red. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Supuestos para un problema de la ruta más corta

1. Se debe escoger una ruta a través de la red que se inicie en un nodo determinado, al que se denomina origen, y que termine en otro nodo, que se llama destino. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*
2. Las líneas que conectan algunos pares de nodos comúnmente se conocen como ligaduras (que permiten viajar en cualquier dirección), aunque los arcos (que sólo permiten viajar en una dirección) también están permitidos. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*
3. Asociado a cada ligadura (o arco) está un número no negativo al que se denomina distancia. (Tenga presente que el trazo de cada ligadura en la red no está en función de su verdadera distancia sin embargo sí proporciona el número correcto junto a esta ligadura.) *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*
4. El objetivo es encontrar la ruta más corta (la ruta con la distancia mínima total) desde el origen hasta el destino. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Algunas aplicaciones.

No todas las aplicaciones de los problemas de la ruta más corta implican minimizar la distancia que se recorre desde el origen al destino. De hecho, pueden no involucrar todos los recorridos. Las ligaduras (o arcos) pueden más bien representar actividades de algún otro tipo, de modo que elegir una ruta a través de una red corresponde a seleccionar la mejor secuencia de actividades. Entonces los números que dan las "distancias" de las ligaduras pueden ser, por ejemplo, los costos de las actividades, en cuyo caso el objetivo sería determinar qué secuencia de actividades minimiza el costo total. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Ejemplo 1. El problema del departamento de bomberos de littletown

Littletown es un pueblo pequeño en un área rural. Su departamento de bomberos atiende un área geográfica relativamente grande que incluye muchas comunidades agrícolas. Como hay muchos caminos en el área, es probable que se pueda disponer de muchas rutas para llegar a cualquier comunidad agrícola desde la estación de bomberos. Como el tiempo es esencial para llegar al lugar de un incendio, el jefe de bomberos desea determinar con anticipación la ruta más corta de la estación de bomberos a cada una de las comunidades agrícolas. *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

En la **figura 3.1** se da la representación de la red para este problema, en la cual se ignora el planteamiento geográfico y las curvas del camino. Este modelo de redes es la manera común de representar un problema de la ruta más corta. Las uniones son ahora los nodos de la red, donde la estación de bomberos y la comunidad agrícola son dos nodos adicionales a los que se denomina O (para el origen) y D (para el destino), respectivamente. Como los viajes (el flujo) pueden ir en cualquier dirección entre los nodos, las líneas que conectan los nodos ahora se denominan ligaduras en vez de arcos.

Una ligadura entre un par de nodos permite viajar en cualquier dirección, mientras que un arco permite viajar sólo en la dirección que indica la flecha, por lo que es necesario que las líneas de la figura 3.1 sean ligaduras y no arcos. (Observe que las ligaduras no tienen una punta de flecha en alguno de sus extremos). *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

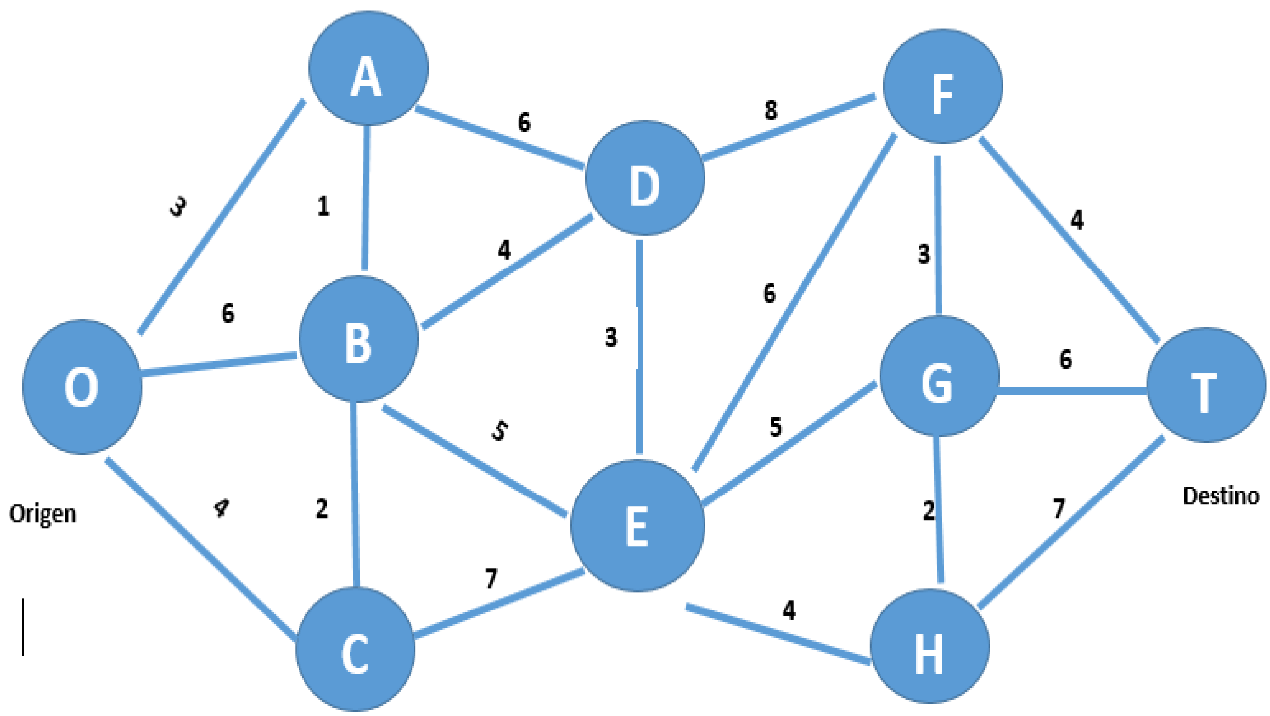


Figura: 3.1

Fuente: *(Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).*

Este problema se puede obtener el resultado a simple vista porque es un problema muy sencillo con pocos nodos.

Este método es muy utilizado en la distribución capilar porque se tienen que considerar entregas en distintas colonias, por ejemplo, una paquetería que debe tiene que entregar mercancía por distintas colonias se hace el modelo tomando en cuenta los diferentes destinos se tienen junto con las restricciones que existen y te arroja la ruta adecuada que consiste en minimizar el tiempo, costo, y la distancia recorrida. (Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller, 2008).

Formulación del modelo en hoja de cálculo

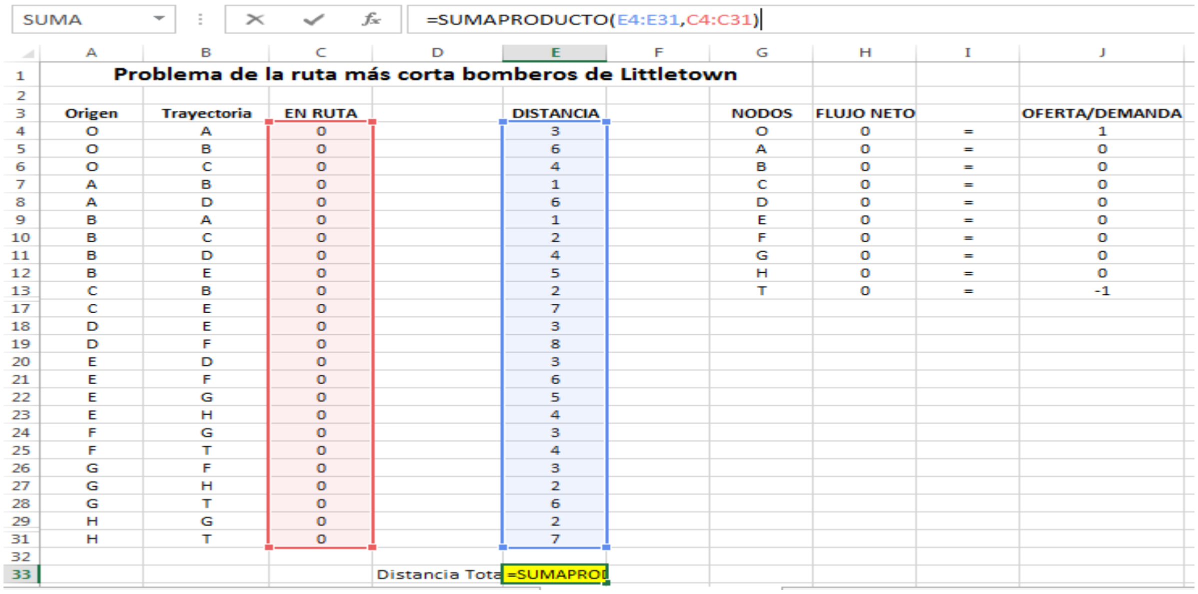
El objetivo es encontrar la ruta más corta, por lo tanto es minimizar.

Min= O+A, O+B, O+C, A+B, A+D, B+A, B+C, B+D, B+E, C+B, C+E, D+E, D+F, E+D, E+F, E+G, E+H, F+G, F+T, G+F, G+H, G+T, H+G, H+T.

El problema cuenta con las siguientes restricciones

Flujo neto = Oferta/Demanda

A continuación se muestra el modelo de la hoja de cálculo problema de bomberos de littletown



SUMA | =SUMAPRODUCTO(E4:E31,C4:C31)

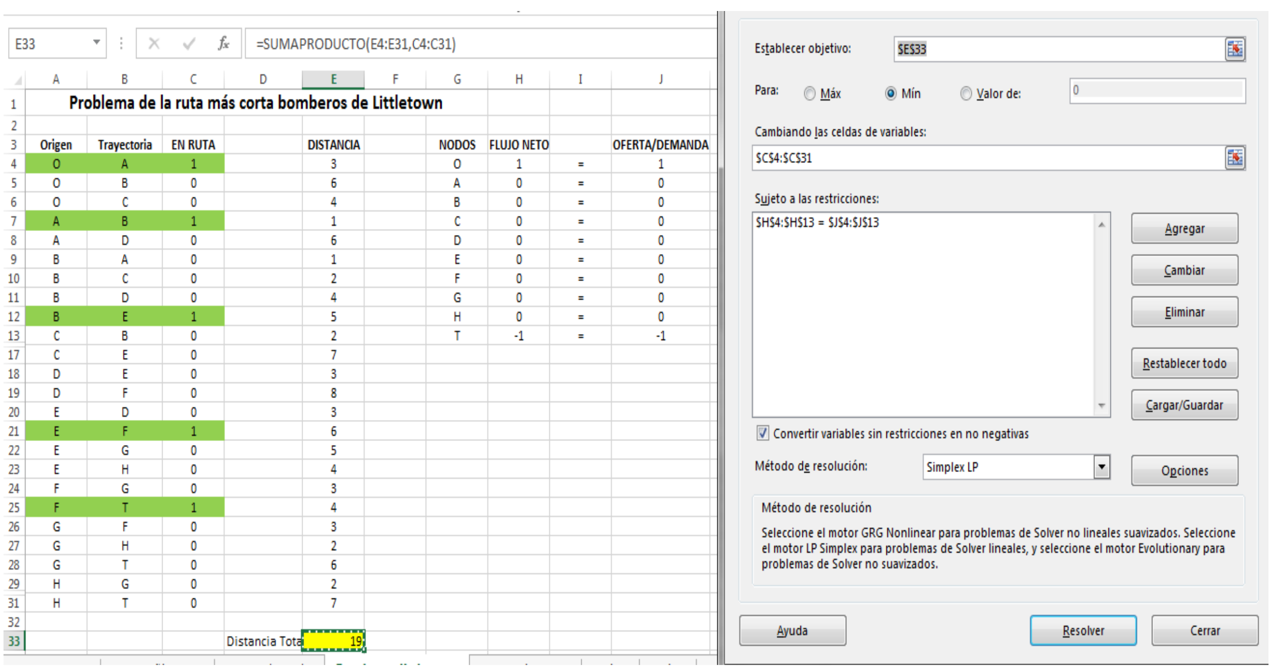
Problema de la ruta más corta bomberos de Littletown

	Origen	Trayectoria	EN RUTA	DISTANCIA	NODOS	FLUJO NETO		OFERTA/DEMANDA
4	O	A	0	3	O	0	=	1
5	O	B	0	6	A	0	=	0
6	O	C	0	4	B	0	=	0
7	A	B	0	1	C	0	=	0
8	A	D	0	6	D	0	=	0
9	B	A	0	1	E	0	=	0
10	B	C	0	2	F	0	=	0
11	B	D	0	4	G	0	=	0
12	B	E	0	5	H	0	=	0
13	C	B	0	2	T	0	=	-1
17	C	E	0	7				
18	D	E	0	3				
19	D	F	0	8				
20	E	D	0	3				
21	E	F	0	6				
22	E	G	0	5				
23	E	H	0	4				
24	F	G	0	3				
25	F	T	0	4				
26	G	F	0	3				
27	G	H	0	2				
28	G	T	0	6				
29	H	G	0	2				
31	H	T	0	7				
33			Distancia Tota	=SUMAPROD				

Figura: 3.2

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 3.2** observamos los datos del problema en Excel, la distancia total es la sumaproducto(**C4:C26,E4:E26**).



E33 | =SUMAPRODUCTO(E4:E31,C4:C31)

Problema de la ruta más corta bomberos de Littletown

	Origen	Trayectoria	EN RUTA	DISTANCIA	NODOS	FLUJO NETO		OFERTA/DEMANDA
4	O	A	1	3	O	1	=	1
5	O	B	0	6	A	0	=	0
6	O	C	0	4	B	0	=	0
7	A	B	1	1	C	0	=	0
8	A	D	0	6	D	0	=	0
9	B	A	0	1	E	0	=	0
10	B	C	0	2	F	0	=	0
11	B	D	0	4	G	0	=	0
12	B	E	1	5	H	0	=	0
13	C	B	0	2	T	-1	=	-1
17	C	E	0	7				
18	D	E	0	3				
19	D	F	0	8				
20	E	D	0	3				
21	E	F	1	6				
22	E	G	0	5				
23	E	H	0	4				
24	F	G	0	3				
25	F	T	1	4				
26	G	F	0	3				
27	G	H	0	2				
28	G	T	0	6				
29	H	G	0	2				
31	H	T	0	7				
33			Distancia Tota	19				

Figura: 3.3

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 3.3** se capturan los datos del Excel al solver. La función objetivo es minimizar **E33**, las variables de decisión son **C4:C31** y las restricciones son **H4:H13=J4:J13**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	**Problema de la ruta más corta bomberos de Littletown**									
2										
3	**Origen**	**Trayectoria**	**EN RUTA**		**DISTANCIA**		**NODOS**	**FLUJO NETO**		**OFERTA/DEMANDA**
4	O	A	1		3		O	1	=	1
5	O	B	0		6		A	0	=	0
6	O	C	0		4		B	0	=	0
7	A	B	1		1		C	0	=	0
8	A	D	0		6		D	0	=	0
9	B	A	0		1		E	0	=	0
10	B	C	0		2		F	0	=	0
11	B	D	0		4		G	0	=	0
12	B	E	1		5		H	0	=	0
13	C	B	0		2		T	-1	=	-1
17	C	E	0		7					
18	D	E	0		3					
19	D	F	0		8					
20	E	D	0		3					
21	E	F	1		6					
22	E	G	0		5					
23	E	H	0		4					
24	F	G	0		3					
25	F	T	1		4					
26	G	F	0		3					
27	G	H	0		2					
28	G	T	0		6					
29	H	G	0		2					
31	H	T	0		7					
32										
33				Distancia Tota	19					

Figura: 3.4

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se pudo observar a simple vista en el primer ejemplo la ruta más corta es la de O → A → B → E → F → T, que corresponde a la misma que nos arroja en solver de Excel. Con esta optimización se llega a la conclusión que con 19 millas se cumplen los requisitos del problema.

Ejemplo 2 ruta más corta

Consideremos el siguiente diagrama donde los números asignados a cada uno de los arcos representan la distancia en kilómetros de un nodo a otro. Se desea encontrar la ruta con la distancia mínima para ir del nodo 1 al nodo 8. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008)

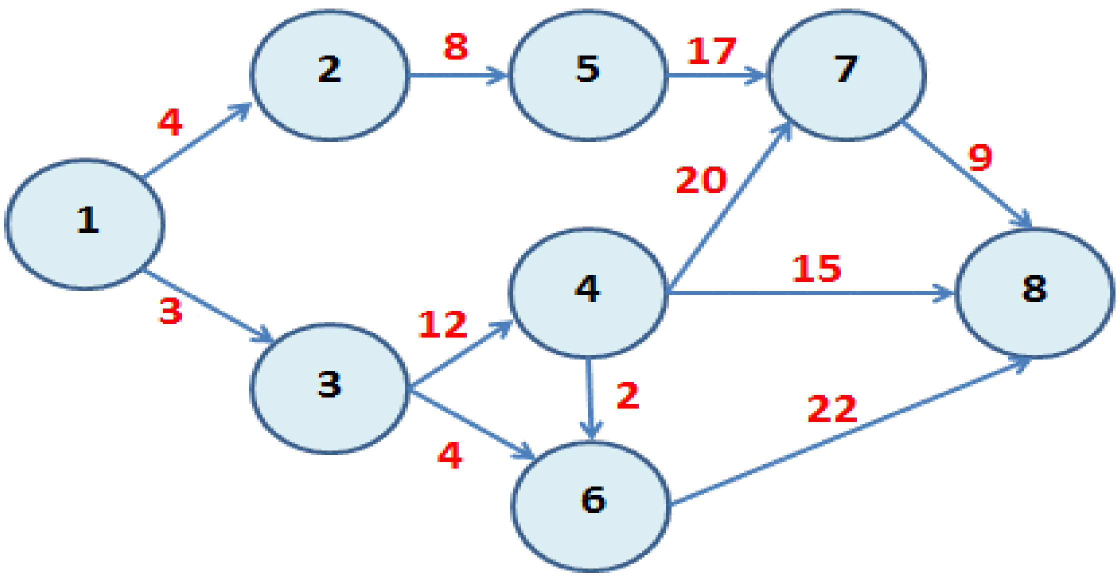


Figura: 3.21

Fuente: (universidad Nacional de Ingeniería, 2008)

Formulación de modelo de hoja de cálculo

Min=

4x12+3x13+8x25+12x34+4x36+17x57+20x47+2x46+15x48+22x68+9x78

El problema cuenta con las siguientes restricciones

(1) X12+X13 = 1	(1) X34-X47-X48-X46 = 0
(2) X12-X25 = 0	(2) X36+X46-X68 = 0
(3) X13-X34 –X36 = 0	(3) X57+X47-X78 = 0
(4) X25-X57= 0	(4) X78+X48+X48= 1

A continuación se muestra el modelo de la hoja de cálculo del problema ruta más corta

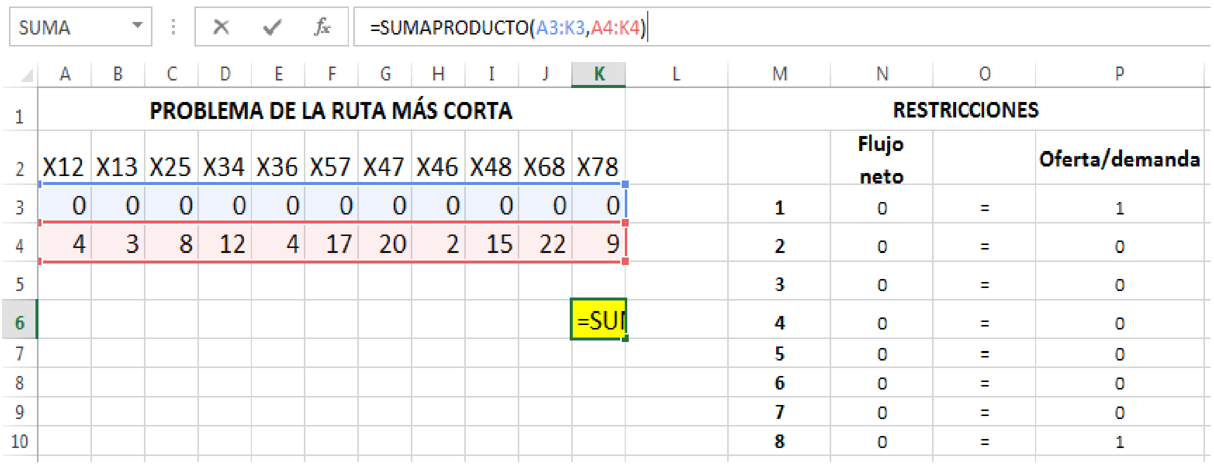


Figura: 3.22

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 3.22** observamos los datos del problema en Excel, la distancia total es la sumaproducto(**A3:K3,A4:K4**).

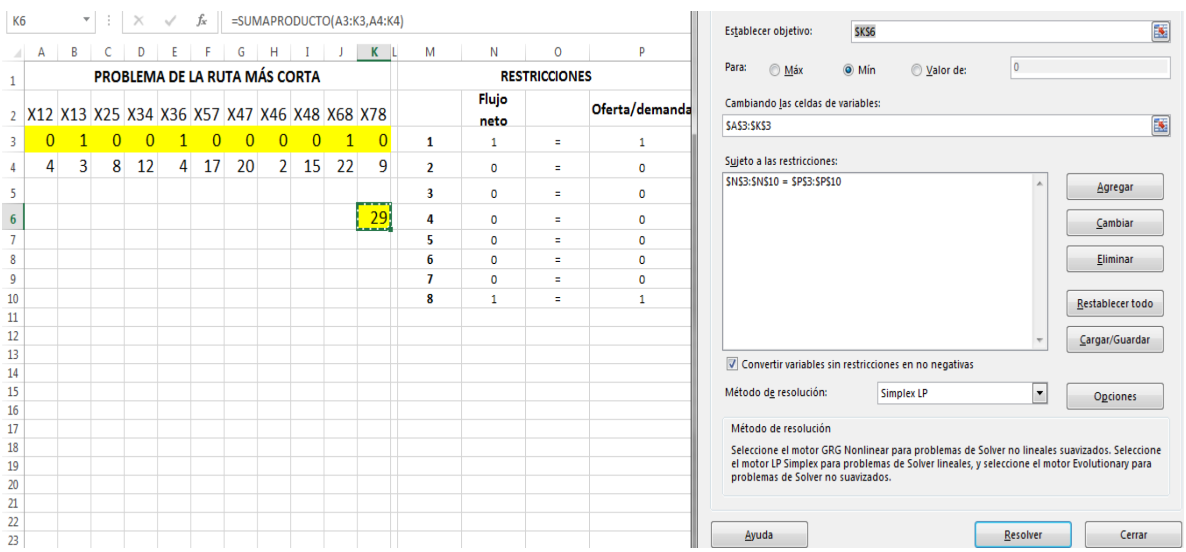


Figura: 3.23

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 3.23** se capturan los datos del Excel al solver. La función objetivo es minimizar **K6**, las variables de decisión son **A3:K3** y las restricciones son **N3:N10=P3:P10**

Ejemplo 3 Helados Cady

La empresa Helados Cady ubicada en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, tiene problemas de distribución. Quiere saber cuál es la ruta mas corta para hacer entrega de sus productos. En la **figura 3.14** se presentan las diferentes rutas con las que cuenta la empresa y sus diferentes nodos. El origen es la fábrica de los helados y el destino es el Instituto Nueva Generación, que se ubica en las afueras de la ciudad.

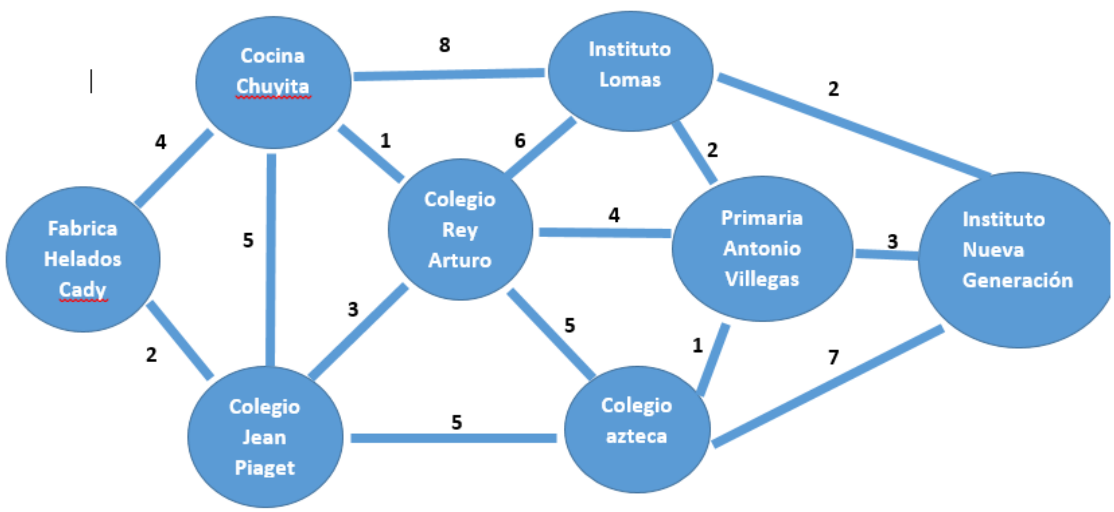


Figura: 3.31

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Formulación de modelo de hoja de cálculo

X1= Fabrica cady
X2= Cocina chuyita
X3= Colegio Jean piaget
X4= Colegio Rey Arturo
X5= Instituto Lomas
X6= Primaria Antonio Villegas
X7= Colegio Azteca
X8= Instituto Nueva Generación

Min=

X1+X2+X1+X3+X2+X3+X2+X5+X4+X4+X7+X4+X5+X7+X6+X7+X8+X5 +X6+X5+X8+X6+X8.

El problema cuenta con las siguientes restricciones

Flujo neto = oferta demanda

Variables de decisión = binarias

A continuación se muestra el modelo de la hoja de cálculo del problema ruta más corta

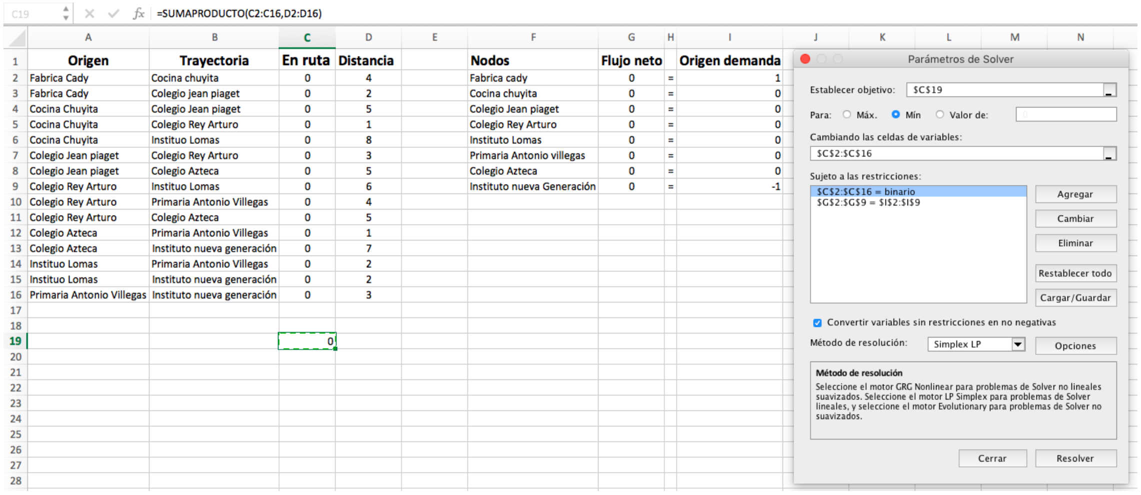
C19 =SUMAPRODUCTO(C2:C16,D2:D16)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	**Origen**	**Trayectoria**	**En ruta**	**Distancia**		**Nodos**	**Flujo neto**		**Origen demanda**
2	Fabrica Cady	Cocina chuyita		4		Fabrica cady	0	=	1
3	Fabrica Cady	Colegio jean piaget		2		Cocina chuyita	0	=	0
4	Cocina Chuyita	Colegio Jean piaget		5		Colegio Jean piaget	0	=	0
5	Cocina Chuyita	Colegio Rey Arturo		1		Colegio Rey Arturo	0	=	0
6	Cocina Chuyita	Instituo Lomas		8		Instituto Lomas	0	=	0
7	Colegio Jean piaget	Colegio Rey Arturo		3		Primaria Antonio villegas	0	=	0
8	Colegio Jean piaget	Colegio Azteca		5		Colegio Azteca	0	=	0
9	Colegio Rey Arturo	Instituo Lomas		6		Instituto nueva Generación	0	=	-1
10	Colegio Rey Arturo	Primaria Antonio Villegas		4					
11	Colegio Rey Arturo	Colegio Azteca		5					
12	Colegio Azteca	Primaria Antonio Villegas		1					
13	Colegio Azteca	Instituto nueva generación		7					
14	Instituo Lomas	Primaria Antonio Villegas		2					
15	Instituo Lomas	Instituto nueva generación		2					
16	Primaria Antonio Villegas	Instituto nueva generación		3					
17									
18									
19			0						

Figura: 3.32

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 3.32** se observan todos los datos del problema en la hoja de cálculo de Excel.

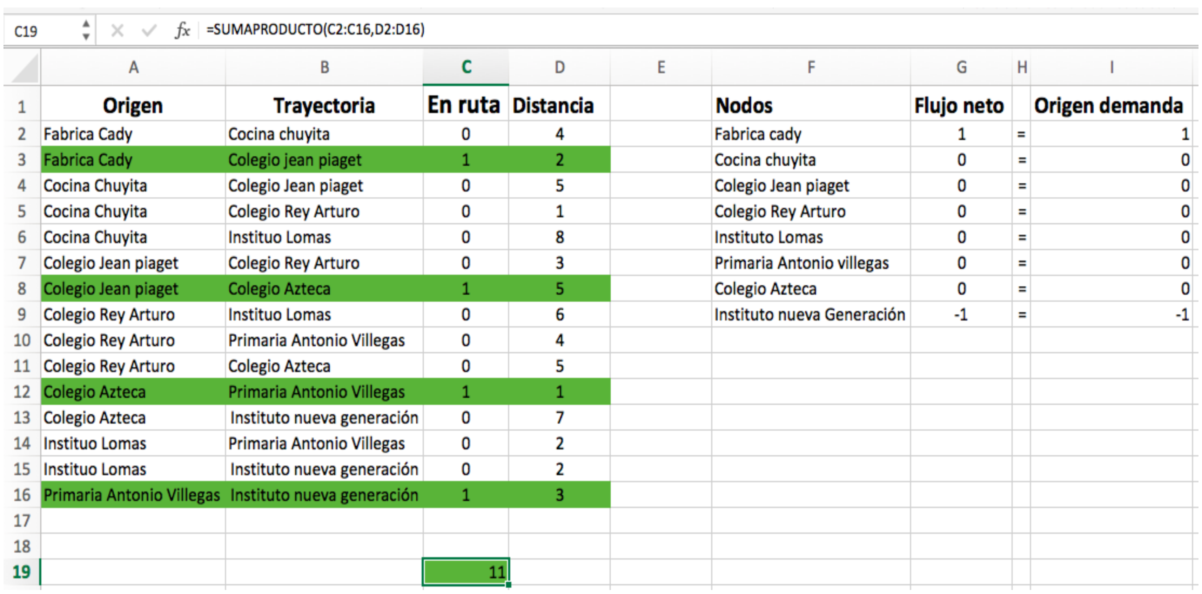


	Origen	Trayectoria	En ruta	Distancia		Nodos	Flujo neto		Origen demanda
2	Fabrica Cady	Cocina chuyita	0	4		Fabrica cady	0	=	1
3	Fabrica Cady	Colegio jean piaget	0	2		Cocina chuyita	0	=	0
4	Cocina Chuyita	Colegio Jean piaget	0	5		Colegio Jean piaget	0	=	0
5	Cocina Chuyita	Colegio Rey Arturo	0	1		Colegio Rey Arturo	0	=	0
6	Cocina Chuyita	Instituo Lomas	0	8		Instituto Lomas	0	=	0
7	Colegio Jean piaget	Colegio Rey Arturo	0	3		Primaria Antonio villegas	0	=	0
8	Colegio Jean piaget	Colegio Azteca	0	5		Colegio Azteca	0	=	0
9	Colegio Rey Arturo	Instituo Lomas	0	6		Instituto nueva Generación	0	=	-1
10	Colegio Rey Arturo	Primaria Antonio Villegas	0	4					
11	Colegio Rey Arturo	Colegio Azteca	0	5					
12	Colegio Azteca	Primaria Antonio Villegas	0	1					
13	Colegio Azteca	Instituto nueva generación	0	7					
14	Instituo Lomas	Primaria Antonio Villegas	0	2					
15	Instituo Lomas	Instituto nueva generación	0	2					
16	Primaria Antonio Villegas	Instituto nueva generación	0	3					
19			0						

Figura: 3.33

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 3.33** se capturan los datos del Excel al solver. La función objetivo es minimizar **C19**, las variables de decisión son **C2:C16** y las restricciones son **G2:G9=I2:I9, C2:C16=binario.**



	Origen	Trayectoria	En ruta	Distancia		Nodos	Flujo neto		Origen demanda
2	Fabrica Cady	Cocina chuyita	0	4		Fabrica cady	1	=	1
3	Fabrica Cady	Colegio jean piaget	1	2		Cocina chuyita	0	=	0
4	Cocina Chuyita	Colegio Jean piaget	0	5		Colegio Jean piaget	0	=	0
5	Cocina Chuyita	Colegio Rey Arturo	0	1		Colegio Rey Arturo	0	=	0
6	Cocina Chuyita	Instituo Lomas	0	8		Instituto Lomas	0	=	0
7	Colegio Jean piaget	Colegio Rey Arturo	0	3		Primaria Antonio villegas	0	=	0
8	Colegio Jean piaget	Colegio Azteca	1	5		Colegio Azteca	0	=	0
9	Colegio Rey Arturo	Instituo Lomas	0	6		Instituto nueva Generación	-1	=	-1
10	Colegio Rey Arturo	Primaria Antonio Villegas	0	4					
11	Colegio Rey Arturo	Colegio Azteca	0	5					
12	Colegio Azteca	Primaria Antonio Villegas	1	1					
13	Colegio Azteca	Instituto nueva generación	0	7					
14	Instituo Lomas	Primaria Antonio Villegas	0	2					
15	Instituo Lomas	Instituto nueva generación	0	2					
16	Primaria Antonio Villegas	Instituto nueva generación	1	3					
19			11						

Figura: 3.34

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **figura 3.34** se observa que la ruta más corta es de la siguiente:

La distancia total recorrida es de 11 kilómetros.

3. Conclusión

El trabajo que se realizó abre el panorama a las empresas para que conozcan como los diferentes modelos de optimización ayudan a enfrentar los problemas más comunes en la distribución, por ejemplo, abastecimiento, rutas, costos de transporte, mantenimientos, consumo de combustible etc.

Las operaciones de las empresas son muy variables tanto que las características de las rutas se convierten muy diversas. En algunas operaciones el mismo transporte que dejó mercancía va a terminar recogiendo mercancía. Por estas restricciones es que las operaciones se vuelven más complicadas y costosas.

El objetivo es que las empresas conozcan cuál de los tres tipos de modelos de optimización de rutas de distribución se adaptan a sus operaciones logísticas, por ejemplo, si una empresa necesita abastecer el CEDIS, el modelo que tiene que utilizar es el de flujo máximo, si una empresa desea bajar sus costos logísticos el modelo a utilizar es el de flujo al costo mínimo.

La disminución de la distancia recorrida permite un ahorro en los costos de combustible y desgaste de los vehículos, además la distancia recorrida está asociada al tiempo que demora la entrega por lo que minimizar esta variable también implica una mayor cantidad de productos entregados por unidad de tiempo.

Optimizar el tiempo de espera entre entregas permite realizar mayor cantidad de entregas en el mismo periodo de tiempo y reduce el costo de la ruta.

Minimizar el tiempo de entrega a los clientes no trae un beneficio inmediato en los costos, pero mejora la calidad del servicio. Minimizar la cantidad de viajes permite reducir el tamaño de la flota lo cual es importante si se tiene en cuenta el costo asociado a un vehículo y su mantenimiento.

Por último maximizar la utilización de cada vehículo ayuda a disminuir la cantidad de vehículos necesarios y disminuye los costos de entrega.

Como se puedo observar en la monografía, estos problemas son muy simples en comparación de una empresa grande. Cuando es una empresa grande tanto las restricciones como el objetivo son demasiados complejos y es ahí donde la programación lineal u optimización de rutas nos ayuda a cumplir con los objetivos.

4. Bibliografía

(1) Anónimo. (2014). "Medios y gestión de transporte". Recuperado de: https://logisticayabastecimiento.jimdo.com/distribuci%C3%B3n-y-transporte/

(2) Anónimo. (2009). "Técnicas para la Optimización de Rutas de Transporte y Distribución". Recuperado de: http://www.odette.es/SGC/downloads/CAM/Vigilancia_Tecnologica_Tecnicas_Optimizacion_Rutas.pdf

(3) Brito, A. (2012). "Optimización de rutas de distribución con información y restricciones difusas". Recuperado de: ftp://h3.bbtk.ull.es/ccppytec/cp456.pdf

(4) Iglesias, A. (2014). "Conceptos teóricos de la optimización de rutas". Recuperado de: https://logispyme.files.wordpress.com/2014/02/optimizacic3b3n-rutas-de-transporte.pdf

(5) Frederick S. Hiller. Y Mark S. Hiller. (2010). "Problemas de optimización de redes". En Métodos cuantitativos de administración (184-217). México: Mc graw Hill.

(6) Frederick S. Hiller Y Mark S. Hiller. (2010). "Programación lineal: formulación y aplicaciones". En Métodos cuantitativos de administración (54-113). México: Mc Graw Hill.

(7) HAMDY A. TAHA. (2014). "Modelo de redes". En Investigación de operaciones (209-265). México: Pearson.

(8) HAMDY A. TAHA. (2014). "Modelo de transporte y sus variantes". En Investigación de operaciones (175-206). México: Pearson.

(9) Israel Cruz. (2015). “Logística inversa ventajas y desventajas”. de Gestiopolis. Recuperado de: https://www.gestiopolis.com/logistica-inversa-concepto-ventajas-y-desventajas/

(10) Heizer, J, Y Render, B. (2015). “Modelos de transporte”. En Dirección de la producción y de las operaciones (365-387). Madrid, España: Pearson.

(11) Heizer, J, Y Render, B. (2015). “Dirección de la cadena de suministros”. En Dirección de la producción y de operaciones (1-59). Madrid, España: Pearson.

(12) Abad, M. (2016). “Optimización de rutas de transporte público con Algoritmos Genéticos”. Recuperado de: http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/59085/7/mgenovardTFM1216memoria.pdf

(13) Estrada, M. (2007). “Redes de distribución”. Recuperado de http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6625/03MER_Capitol1.pdf?sequence

(14) Isc, J. (2008), “investigación de operaciones, Reduperado de: https://angelux07.wordpress.com/investigacion-de-operaciones/

(15) Salazar, B (2010) “Teoria de Redes” , Recuperado de: https://www.fing.edu.uy/inco/cursos/io/archivos/teorico/todo.pdf

(16) López, B (2010), “Algoritmos de optimización de redes”, Recuperado de: https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/teor%C3%ADa-de-redes/

(17) Ordoñez, K (2015), “Problemas de redes”, Recuperado de: https://es.slideshare.net/karenordonez94849/13-problema-de-redes

(18) Anónimo, (2013), "Gestión de operaciones", Recuperado de: https://www.gestiondeoperaciones.net/programacion_lineal/modelo-de-transporte-con-transbordo-resuelto-con-solver-de-excel/

(19) Universidad Nacional de Ingenierías, (2008), "Teoría de redes", Recuperado de: https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/teorc3ada-de-redes.pdf

(20) González, M, (2017), "Calculo del flujo máximo de una red", Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2017/tfg_60750/ArticuloFinal_TFG.pdf

(21) Anónimo, (2013), "problema de flujo al costo mínimo", Recuperado de: http://lainvestigaciondeoperaciones.blogspot.mx/2014/11/problema-del-flujo-de-costo-minimo.html

(22) Salazar, F, (2015), "Pros y contras de una flota propia o una subcontratada", Recuperado de: https://blog.edenred.mx/los-pros-y-contras-de-una-flota-propia-o-una-subcontratada

(23) Mendoza, I, (2015), "Logística inversa. Concepto, ventajas y desventajas", Recuperado de: https://www.gestiopolis.com/logistica-inversa-concepto-ventajas-y-desventajas/

(24) González, R, (2013), "Algoritmo basado en la optimización y problemas de horario para agentes viajeros", Recuperado de: www.mirlabs.net/jnic/index.html.