



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
en Celaya



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“Diseño de un modelo de medición del tiempo de ciclo en la
optimización de una cadena de suministro”**

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:
IBQ. KARLA MILITZA MENDOZA RAMOS

DIRECTOR DE TESIS:
DR. SALVADOR HERNÁNDEZ GONZÁLEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:
M.C. VICENTE FIGUEROA FERNÁNDEZ

CELAYA, GTO., MÉXICO, JUNIO, 2019



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Asunto: Autorización de impresión de trabajo profesional.

Celaya Gto., **30 de MAYO 2019**

M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL.
Presente..

De acuerdo a la convocatoria hecha por esta jefatura a fin de aprobar o no la impresión del trabajo profesional titulado:

"Diseño de un modelo de medición del tiempo de ciclo en la optimización de una cadena de suministro"

*Presentado por el (a) pasante **C. ING.KARLA MILITZA MENDOZA RAMOS (M1703009)** alumno (a) del programa de Maestría en Ingeniería Industrial que ofrece nuestro Instituto. Hacemos de su conocimiento que éste jurado ha tenido a bien aprobar la impresión de dicho trabajo para los efectos consiguientes.*

DR. SALVADOR HERNANDEZ GONZALEZ
Presidente

ATENTAMENTE



M.C. MAURICIO FELIPE FLORES MOLINA
Secretario

DR. JOSE ALFREDO JIMENEZ GARCIA
Vocal

SECRETARIA DE
EDUCACION PUBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CELAYA
COORDINACION DE MAESTRIA
DE INGENIERIA INDUSTRIAL

M.C. MANUEL DARIO HERNANDEZ RIPALDA
Vocal Suplente

Ccp. Escolares
Archivo.
VFF*MTE*dmvp



Resumen

Los mercados globalizados y competitivos obligan a una gestión de la cadena de suministro, con el fin de cumplir con las expectativas de los clientes. En la toma de decisiones se han implementado los modelos matemáticos. Una opción son los modelos de líneas de espera. En el presente trabajo se vinculó la teoría de colas en la medición del tiempo de ciclo en una cadena de suministro en la optimización del tiempo de carga de tarimas de una empresa arrendadora cuando éstas son desocupadas en los supermercados. En las pruebas realizadas se observa que si bien el proceso de carga es rápido, puede convertirse en un factor de peso e implica un costo que debería considerarse. Por lo cual este trabajo es de utilidad para los administradores y responsables de la gestión de la cadena de suministro.

Abstract

The globalized and competitive markets force a management of the supply chain, in order to meet the expectations of customers. In decision-making, mathematical models have been implemented. One option is waiting line models. In the present work, the queuing theory was linked in the measurement of the cycle time in a supply chain in the optimization of the time of collection of pallets of a leasing company when these are vacated in the supermarkets. In the tests carried out it is observed that although the loading process is fast, it can become a factor of weight and implies a cost that should be considered. Therefore, the work is useful for administrators and those responsible for the management of the supply chain.

Índice general

Índice de figuras	iii
Índice de tablas	iv
Capítulo 1 . Planteamiento del problema	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivo general	1
1.3 Objetivos específicos.....	1
1. 4 Preguntas de investigación	1
1.5 Justificación.....	2
1.6 Hipótesis.....	2
Capítulo 2 . Cadena de suministro.....	3
2.1 Procesos de una cadena de suministro.....	4
2.2 Enfoque de las cadenas de suministro basado en el cliente.....	4
2.3 Gestión de la cadena de suministro	6
2.4 Fases de decisión en la cadena de suministro.....	6
2.5 Diseño de la cadena de suministro	7
2.6 Indicadores de desempeño en la cadena de suministro	10
2.7 Revisión del estado de arte.....	12
Capítulo 3 .Teoría de líneas de espera.....	15
3.1 Elementos de un modelo de espera.....	16
3.2 Notación Kendall.....	19
3.3 Medidas de desempeño.....	21
3.4 Ley de Little	23
3.6 Tiempo de ciclo	24
3.7 Modelos Markovianos	24

3.7.1 Modelo M/M/1	24
3.7.2 Modelo M/M/s.....	26
3.7.3 Variación de fuente de entrada finita al modelo M/M/s.....	26
Capítulo 4 .Programación lineal	28
4.1 Construcción del modelo	28
4.2 Componentes básicos del modelo de programación lineal.....	29
4.3 Programación entera	30
4.4 Algoritmos de programación entera	30
Capítulo 5 .Materiales y métodos	31
5.1 Definición de la cadena de suministro.....	32
5.2 Formulación el modelo general para el cálculo de viajes requeridos en las unidades de transporte	32
5.3 Selección de unidades de carga optima	34
5.4 Desarrollo del modelo para el cálculo del tiempo ciclo de carga en la cadena de suministro	35
5.5 Validación del modelo.....	35
Capítulo 6 .Resultados y discusión.....	36
6.1 Definición de la cadena de suministro.....	36
6.2 Viajes requeridos de las unidades de transporte.....	37
6.3 Selección de unidades de carga optima	38
6.4 Tiempo ciclo de carga en la cadena de suministro	39
6.5 Validación del modelo.....	41
Capítulo 7 .Conclusiones.....	46
Bibliografía.....	47
Anexos	51
Producto de investigación.....	51

Índice de figuras

Figura 2.1 Etapas de la cadena de suministro.....	4
Figura 2.2 Estrategias de la cadena de suministro.....	5
Figura 2.3 Modelo des decisiones sobre diseño de la cadena de suministro.....	8
Figura 2.4 Clasificación de mercados	10
Figura 2.5 Medidas de desempeño por mercado	11
Figura 3.1.Estructura básica de un sistema de espera.....	16
Figura 3.2. Diseños básicos de modelos de cola	19
Figura 5.1. Marco metodológico	31
Figura 5.2 Sistema M/M/1 Población finita.	35
Figura 6.1 Cadena de recolección de tarimas por CHEP México	36
Figura 6.2 Análisis de capacidad faltante vs excedente	39
Figura 6.3 Tiempo de ciclo.....	41
Figura 6.4 Comparación del tiempo de ciclo del modelo reportado y el experimental.....	45

Índice de tablas

Tabla 3.1. Características de operación para el modelo M/M/1	25
Tabla 3.2. Características de operación para el modelo M/M/s	26
Tabla 3.3. Características de operación para el modelo M/M/s y población finita	27
Tabla 5.1. Herramienta en análisis de la cantidad de viajes requeridos por tipo de camión	35
Tabla 6.1 Recolección de tarimas en CHEP México.....	37
Tabla 6.2 Cantidad preliminar de viajes requeridos por cada tipo de camión en los tours. .	38
Tabla 6.3 Unidades requeridas por cada tipo de camión.....	39
Tabla 6.4 Cantidad de viajes requeridos por cada tipo de camión en los tours.....	40
Tabla 6.5. Parámetros establecidos del sistema M/M/1 y Población finita en el Tour A	40
Tabla 6.6. Sistemas M/M/1 y población finita del Tour A.....	40
Tabla 6.7 Volúmenes de tarima para recolección por tour.....	42
Tabla 6.8 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 1	42
Tabla 6.9 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 1	43
Tabla 6.10 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 2.....	43
Tabla 6.11 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 2.....	43
Tabla 6.12 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 3.....	44
Tabla 6.13 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 3.....	44
Tabla 6.14 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 4.....	45
Tabla 6.15 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 4.....	45

Capítulo 1 . Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Los mercados globalizados y competitivos obligan a una gestión de la cadena de suministro, con el fin de cumplir con las expectativas de los clientes, esto ha obligado a las empresas a entregar los productos adecuados en el lugar exacto, en el tiempo oportuno y de la manera más económica posible. Es por esto que se emplean técnicas como modelos matemáticos y simulaciones para medición y optimización de estos parámetros, midiendo el efecto de las variables en su cuantificación. Por lo que se considera de suma importancia realizar un análisis para comprender la situación actual, mejorarla y prever el comportamiento futuro frente a un crecimiento desde un enfoque de teoría de colas y de esta manera mantener un servicio eficiente, que nos asegure la disminución de la incertidumbre en la toma de decisiones.

1.2 Objetivo general

Diseñar un modelo de líneas de espera en la medición el tiempo de ciclo para la optimización de una cadena de suministro

1.3 Objetivos específicos

Definir una cadena de suministro para comprender la demanda

Desarrollar un modelo para calcular el tiempo ciclo en cada etapa de una cadena de suministro

Probar el modelo M/M/1 y población finita para optimizar una cadena de suministro

Validar el modelo del tiempo de ciclo en una cadena de suministro

1. 4 Preguntas de investigación

- a. ¿Qué papel juegan las instalaciones, ubicación, almacenaje o transportación de la cadena de suministro?

- b. ¿Cómo se simplifica la realidad en la incorporación de los detalles suficientes para que el resultado satisfaga las necesidades?
- c. ¿El modelo M/M/1 y población finita es una buena aproximación para un sistema real?
- d. ¿Existe similitud entre los resultados los del modelo desarrollado y los de la historia obtenida en una situación similar?

1.5 Justificación

En la cadena de suministro se busca añadir valor al cliente, mejorar las relaciones con proveedores y aumentar las ganancias a los accionistas; para llevar a cabo esto es necesario tomar una serie de fase de decisiones, debido a que estos parámetros son delicados al conllevar una gran cantidad de variables y posibles conflictos en los objetivos perseguidos por el administrador de la cadena. Por lo que es necesaria la búsqueda de la optimización de los recursos, utilizando técnicas que permitan trabajar la complejidad de una manera acertada, tal como el desarrollar modelos que puedan vincular la teoría de colas a la medición del tiempo de ciclo en una cadena de suministro, lo que representa ser un modelo de apoyo para la toma de decisiones que permitan minimizar los tiempos, ya que esto contribuye a maximizar la optimización de recursos.

1.6 Hipótesis

Si el modelo M/M/1 y población finita se ajusta a una cadena de suministro entonces se podrá optimizar el tiempo de ciclo en ella.

Capítulo 2 . Cadena de suministro

Las cadenas de suministros son una secuencia de procesos y flujos que tienen lugar dentro y fuera de la empresa y entre diferentes etapas que se combinan para satisfacer las necesidades de los clientes (Ramírez-Echeverri, 2010) y están conformadas por proveedores, fabricantes, distribuidores y vendedores; los cuales están coordinados eficientemente para colocar los requerimientos de insumos o productos en cada eslabón de la cadena en el tiempo preciso al menor costo, buscando el mayor impacto, con el propósito de satisfacer los requerimientos de los consumidores finales (Alomoto *et al.*, 2014). Además estas están se dividen en dos enfoques para observar los procesos que son de ciclo y de empuje/tirón (*push/pull*). En el enfoque de ciclos los procesos se dividen en serie de ciclos, cada uno se realiza entre dos etapas sucesivas de una cadena de suministros, como por ejemplo clientes y almacenes. El enfoque del proceso de empuje y tirón depende, de si los procesos son ejecutados en respuesta a un pedido del cliente o en anticipación a éste. Según sea la empresa, se utilizan diferentes combinaciones de enfoque en los procesos para la cadena de abastecimiento (Chopra and Meindl, 2008; Ramírez-Echeverri, 2010).

El objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado. El valor que genera es la diferencia entre lo que vale el producto final para el cliente y los costos en que la cadena, incurre para cumplir la petición de éste (Ballou, 2004).

Por otra parte esta es conformada con la integración de dos procesos principales (Ramírez-Echeverri, 2010):

- **Planificación de la Producción y Control de Inventarios:** Describe el diseño y administración del proceso global de fabricación, incluyendo la programación y adquisición de materia prima, diseño y gestión del proceso de fabricación, y por último el diseño y control de la gestión de materiales.
- **Distribución Logística:** Determina cómo los productos son embarcados y transportados desde los almacenes hasta los minoristas. Dichos productos podrían ser transportados hacia los minoristas directamente, o primero podrían ser trasladados hacia los canales de distribución, los cuales, a su debido tiempo, envían los productos hacia los minoristas. Estos procesos incluyen la gestión de entrega de inventarios, transporte, y entrega final del producto.

2.1 Procesos de una cadena de suministro

Una cadena de suministro consta de cuatro pasos, según lo señalado por Cárdenas en 2016, los cuales son:

- El suministro es el origen de la cadena, ya que consiste en el cómo; dónde; cuándo, se consigue la materia prima para la elaboración del producto.
- La fabricación es en sí el proceso por el que atraviesa la materia prima para convertirse en producto.
- La distribución es la utilización de otros elementos o redes integradas que tienen el fin de llevar a un consumidor final el producto ya terminado.
- El Cliente siendo el consumidor final.

Cada etapa en la cadena de suministro se conecta a través del flujo de productos, información y fondos (ver Figura 2.1). Estos flujos ocurren con frecuencia en ambas direcciones y pueden ser administrados por una de las etapas o un intermediario. El diseño apropiado de ésta depende tanto de las necesidades del cliente como de las funciones que desempeñan las etapas que abarca (Chopra y Meindl, 2008).



Figura 2.1 Etapas de la cadena de suministro

2.2 Enfoque de las cadenas de suministro basado en el cliente

La evolución del mercado ha llevado a convertir al cliente en el punto más importante de cualquier cadena de suministro, no solo basta con tener los productos disponibles en los

distintos establecimientos sino que en el modelo de negocio hay que establecer una estrategia del producto, bien tipo Pull o tipo Push.(Iglesias, 2016; Jerez y García, 2010).

- Enfoque push: Iglesias en 2016 lo indica como aquellos sistemas en los que la mercancía fluye por la cadena de suministro, sin tener en cuenta al cliente y los sistemas de arrastre (ver Figura 2.2). Es decir cuando la planeación empuja la producción.
- Enfoque pull: Iglesias en 2016, lo señala cuando el cliente es el que tira de la cadena operativa de la empresa (ver figura 2.2); por lo cual la demanda del producto determina cuanto producir. Este enfoque es conveniente cuando se compite por innovación y flexibilidad.

Muñoz en 2009 señala que la conveniencia de adoptar un enfoque push o uno pull depende fundamentalmente de la importancia de las economías de escala y de la incertidumbre en la demanda. La existencia de economías de escala hace más atractivo el enfoque push, que permite la producción de lotes grandes, mientras que una mayor incertidumbre en la demanda favorece al enfoque pull, que minimiza el riesgo de pérdidas por obsolescencia de las existencias en inventario.

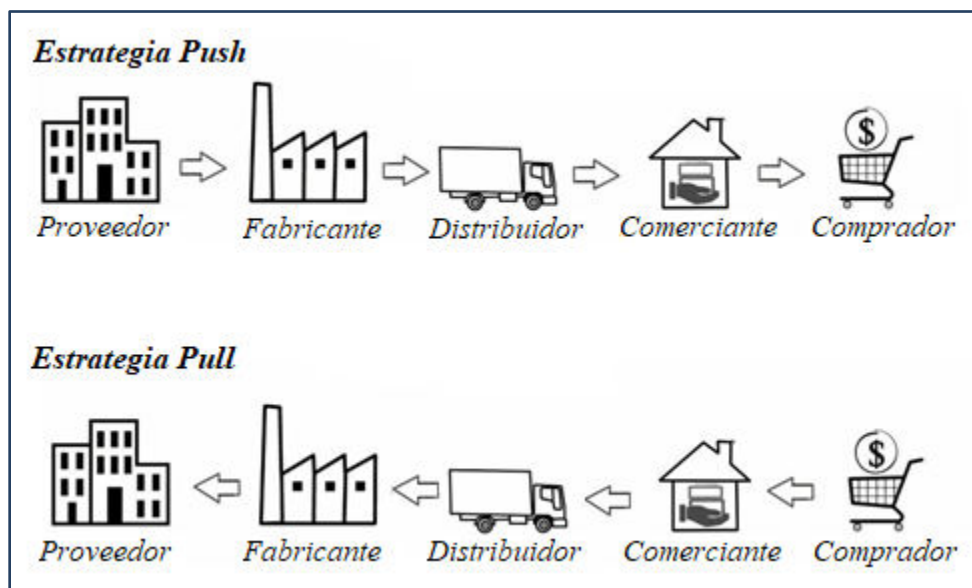


Figura 2.2 Estrategias de la cadena de suministro

2.3 Gestión de la cadena de suministro

La Gestión de la Cadena de Suministro o en inglés Supply Chain Management (SCM) es un término que ha surgido en los últimos años y que encierra la esencia de la logística integrada. Este concepto identifica la manera en que los eslabones de la cadena se integran para promover la eficiencia (Long, 2008). Esto es importante porque una vez que está bien integrada, puede aumentar el valor del proceso completo para todas las compañías participantes y crear valor superior al consumidor. Correa y Montoya (2009) la definen como “la coordinación sistemática y estratégica de las funciones de negocio tradicional y las tácticas utilizadas a través de esas funciones de negocio, al interior de una empresa y entre los diferentes procesos de la cadena de suministro, con el fin de mejorar el desempeño en el largo plazo tanto de la empresa individualmente como de toda la cadena de suministro en general”.

Adicionalmente, Ballou en 2004, describe que la administración de la cadena de suministro “enfatisa en las interacciones de la logística que tienen lugar entre las funciones de mercadeo, producción, y procesos de otras empresas independientes dentro del canal del flujo del producto”.

En conjunto se puede definir como el diseño, planificación, ejecución, control y supervisión de actividades de la cadena de suministro con el objetivo de crear valor neto, construir una infraestructura competitiva, aprovechar la logística mundial, sincronizar la oferta con la demanda y medir el rendimiento globalmente.

2.4 Fases de decisión en la cadena de suministro

La administración exitosa de la cadena de suministro requiere tomar muchas decisiones relacionadas con el flujo de información, productos y fondos las cuales son capaz de responder a las necesidades del mercado (Seuring y Müller, 2008). Para lograrlo se requieren mecanismos que permitan predecir o prever los obstáculos. Estas decisiones se clasifican en tres categorías o fases:

- **Estrategia o diseño de la cadena de suministro:** De acuerdo con (Croxtton *et. al.*, 2001), consiste en tres elementos estrechamente interrelacionados los cuales son estructura de la cadena de suministro (red de empresas), procesos comerciales de la cadena de suministro y componentes de la cadena de suministro. Chopra y Meindl

(2008), señalan que en esta fase la compañía decide cómo será la configuración de la cadena, cómo serán distribuidos los recursos y qué procesos se llevarán a cabo en cada etapa.

- **Planeación de la cadena de suministro:** La planeación incluye tomar decisiones respecto a cuáles mercados serán abastecidos y desde qué ubicaciones, la subcontratación de fabricación, las políticas de inventario que se seguirán y la oportunidad y magnitud de las promociones de marketing y precio (Chopra y Meindl, 2008).
- **Operación de la cadena de suministro:** La meta de las operaciones de la cadena de suministro es manejar los pedidos entrantes de los clientes de la mejor manera posible. Esto se logra con la administración de los procesos de negocio señalados por Jiménez y Hernández (2002), son los siguientes: administración de las relaciones con el cliente, administración del servicio al cliente, gestión de la demanda, cumplimiento de los pedidos, gestión del flujo de fabricación, aprovisionamiento o compras, desarrollo y comercialización del producto y devoluciones.

2.5 Diseño de la cadena de suministro

Entre las decisiones relativas al diseño de la red de una cadena de suministro están la asignación del papel de las instalaciones, la ubicación de las instalaciones de fabricación, almacenaje o relacionadas con la transportación y la asignación de la capacidad y mercados a cada instalación. Chopra y Meindl (2008) clasificaron las decisiones de diseño de la siguiente manera:

Papel de las instalaciones: ¿Qué función debe desempeñar cada una? ¿Qué procesos se realizan en cada instalación?

Ubicación de las instalaciones: ¿Dónde deben estar ubicadas?

Asignación de la capacidad: ¿Cuánta capacidad debe asignarse a cada instalación?

Asignación del mercado y la oferta: ¿Qué mercados debe atender cada instalación? ¿Qué fuentes de suministro deben alimentar a cada una?

Las decisiones del diseño de la red tienen un impacto significativo en el desempeño y se afectan mutuamente. Estas son de naturaleza estratégica y operativa, y muchas de ellas están limitadas, o habilitadas, por características del producto (Fixson, 2005). Por otra parte Chopra

y Meindl (2008) indican los factores que influyen señalando factores estratégicos, tecnológicos, macroeconómicos, políticos, infraestructura y competitivos. Indican cuatro pasos en las decisiones de diseño sobre la red global como se muestra en la figura 2.3.

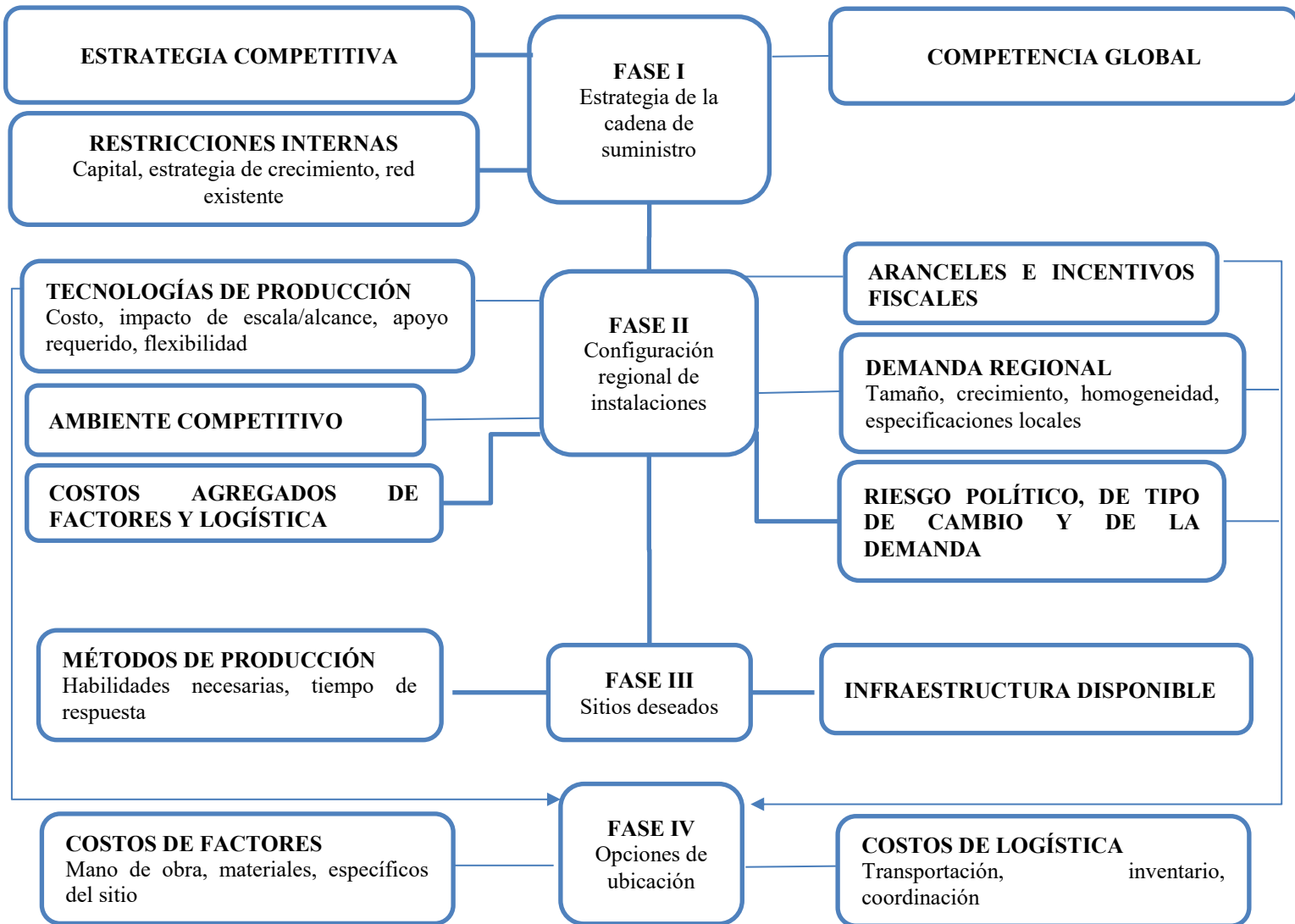


Figura 2.3 Modelo de decisiones sobre diseño de la cadena de suministro

Fase I: Definir la estrategia y diseño de la cadena de suministro

Esta primera fase inicia con una clara definición de la estrategia competitiva de la compañía como el conjunto de necesidades del cliente que la cadena busca satisfacer. Por tanto, la estrategia de la cadena de suministro especifica las capacidades que debe tener la cadena para apoyar la estrategia competitiva. A continuación, los gerentes deben pronosticar la evolución

probable de la competencia global y si los competidores de cada mercado serán participantes locales o globales. También, deben identificar las restricciones sobre el capital disponible y si se logrará el crecimiento mediante la adquisición de instalaciones existentes, la construcción de nuevas o participación en sociedades.

Fase II: Definir la configuración regional de las instalaciones

El objetivo de la segunda fase del diseño de la red es identificar las regiones donde se ubicarán las instalaciones, sus posibles funciones y su capacidad aproximada. El análisis de la fase II comienza con un pronóstico de la demanda por país. Tal pronóstico debe incluir una medición del tamaño de la demanda así como una determinación de si los requerimientos del cliente son homogéneos o varían a través de los países. Los primeros favorecen la construcción de instalaciones grandes consolidadas, mientras que los heterogéneos favorecen las instalaciones pequeñas y focalizadas.

El siguiente paso es que los gerentes identifiquen si las economías de escala o alcance pueden desempeñar un papel significativo en la reducción de costos, dadas las tecnologías de producción disponibles. Si las economías son significativas, puede ser mejor tener pocas instalaciones que atiendan muchos mercados. También, deben identificar los aranceles regionales, cualquier requerimiento de producción local, incentivos fiscales y cualquier restricción a la exportación o importación de cada mercado.

Fase III: Seleccionar un grupo de sitios potencialmente deseables

El objetivo de la fase III es seleccionar un grupo de sitios potencialmente deseables dentro de cada región para ubicar las instalaciones con base en un análisis de disponibilidad de infraestructura para apoyar las metodologías de producción deseadas. Los *requerimientos de infraestructura dura* incluyen la disponibilidad de los proveedores, los servicios de transporte, la comunicación, los servicios y la infraestructura de almacenaje. Por su parte, los *requerimientos de infraestructura suave* son la disponibilidad de mano de obra especializada, la rotación de mano de obra y la receptividad de la comunidad al negocio y la industria.

Buscar autores de este tema

Fase IV: Opciones de ubicación

En esta fase se selecciona la ubicación y la asignación de capacidad precisas para cada instalación.

2.6 Indicadores de desempeño en la cadena de suministro

Hugos en 2003 señala un modelo que permite categorizar un mercado e identificar los requisitos y oportunidades que este presenta a sus cadenas de suministro y así evaluar el rendimiento que debe ofrecer una cadena de suministro.

Un mercado se caracteriza por su combinación de oferta y demanda. Este modelo define cuatro tipos básicos de mercados o cuadrantes de mercado. En el primer cuadrante hay un mercado donde tanto la oferta como la demanda de sus productos son bajas e impredecibles; denominado mercado en desarrollo. En el segundo cuadrante es un mercado donde la oferta es baja y la demanda es alta; este es un mercado en crecimiento. El tercer cuadrante contiene un mercado donde tanto la oferta como la demanda son altas. Hay mucha predictibilidad en este mercado, llamado mercado estable. En el cuarto cuadrante, este tipo de oferta de mercado es más alta que la demanda; se trata de un mercado maduro. En la figura 2.4, se esquematizan estos tipos de mercado y su comportamiento con la demanda y la oferta.

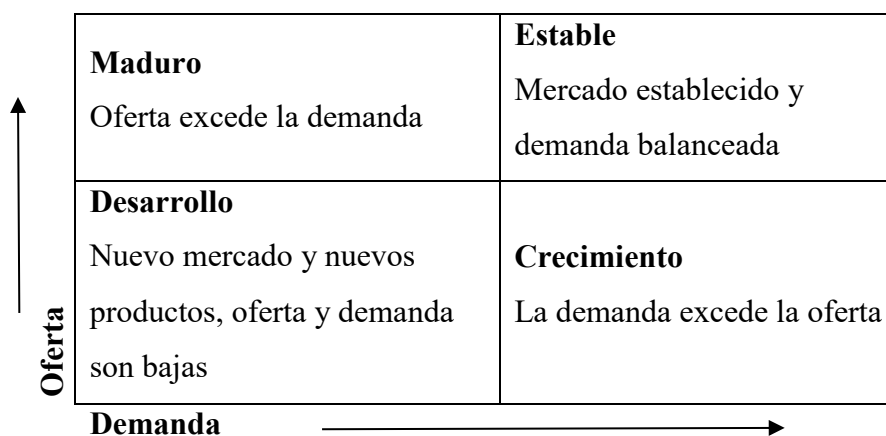


Figura 2.4 Clasificación de mercados

Una vez identificado el mercado, se debe recopilar información importante sobre los mismos, que permita entender el grado de respuesta y guiar el comportamiento de la organización. Para ello, las empresas deben realizar medidas del desempeño en cuatro categorías: *servicio al cliente, eficiencia interna, flexibilidad a la demanda y desarrollo de productos* (Hugos, 2003).

Cada mercado requiere un grupo específico de elementos para evaluar. En la figura 2.5, se observan estas categorías de desempeño para evaluar en cada uno de los mercados. Las

medidas de desempeño más importantes en las cadenas de suministros para cada una de las categorías son:

Oferta	<p>Maduro</p> <p>Servicio al cliente</p> <p>Eficiencia interna</p> <p>Flexibilidad a la demanda</p>	<p>Estable</p> <p>Servicio al cliente</p> <p>Eficiencia interna</p>
	<p>Desarrollo</p> <p>Servicio al cliente</p> <p>Desarrollo de productos</p>	<p>Crecimiento</p> <p>Servicio al cliente</p>
	Demanda	

Figura 2.5 Medidas de desempeño por mercado

Servicio al cliente:

- Para mercados de alta demanda y volumen de producción: relación de cumplimiento de órdenes, relación de entrega a tiempo, relación de valor y número de pedidos rechazados o en espera por falta de productos, frecuencia y duración de pedidos rechazados o en espera por falta de productos, y relación de devoluciones.
- Para mercados especializados de productos hechos a medida: tiempo de respuesta a órdenes, relación de entregas a tiempo, valor de entregas tarde y relación de las mismas, frecuencia y duración de entregas tardías, número de productos devueltos por garantía, y número de reparaciones.

Eficiencia interna:

- Valor del inventario, Rotación de inventario, Ingresos sobre ventas, Ciclo de caja.

Flexibilidad a la demanda:

Tiempo de ciclo de actividades, Capacidad de responder a aumentos súbitos de la demanda (Upside Flexibility), Capacidad de responder a pedidos de productos fuera de línea o nuevos (Outside Flexibility).

Desarrollo de productos:

- Porcentaje total de ventas de productos introducidos en el último año
- Porcentaje de SKU's totales introducidos en el último año
- Tiempo de ciclo para el desarrollo de nuevos productos y entrega de los mismos.

2.7 Revisión del estado de arte

En este apartado se describen las investigaciones más recientes en modelamiento de cadenas de suministro utilizando modelos de optimización.

Kumar *et al.*, 2014, desarrollaron un sistema de colas M/M/1/N con retención de clientes impacientes, en el cual analizaron el tamaño del sistema con y sin retención de estos clientes obtenido parámetros que optimizan el sistema en cuanto a su capacidad y la tasa de servicio promedio.

En otro estudio Kim y Glock, 2014, tomaron en cuenta las cantidades de retorno de contenedores estocásticos, asumiendo que el uso de un sistema de identificación por radio frecuencia (RFID) conduce a una mejor información sobre los retornos de contenedores. El impacto del sistema RFID en el comportamiento de retorno del contenedor fue modelado considerando que se tenía una tasa de retorno más alta y una varianza más baja, con lo que desarrollaron un criterio de viabilidad económica que ayuda a evaluar en qué condiciones deben usarse los contenedores etiquetados con RFID.

También Glock y Kim, 2014, analizaron una cadena de suministro formada por un solo proveedor y varios minoristas definiendo los artículos de transporte reutilizables (RTI) como aquellos que son utilizados para transportar un producto terminado del vendedor a los minoristas. Por lo que compararon dos estrategias de envío diferentes: el envío temprano y retrasó los envíos. En el primer caso, el vendedor podía realizar envíos antes de que se completara el lote, mientras que en el segundo caso los envíos solo se realizaban después de su finalización. Con la coordinación de los procesos de producción y consumo, investigaron el tamaño de las RTI. El análisis indicó que el proveedor debería usar pocos contenedores con una capacidad relativamente grande si las tasas de demanda son bajas y los tiempos de retorno de RTI son altos, y muchos contenedores con una capacidad relativamente baja en el caso contrario.

Posteriormente Kim *et al.*, 2014, estudiaron una cadena de suministro que consta de un solo proveedor y una sola compra, donde el tiempo de devolución de RTI se asumió como estocástico, de modo que los retrasos en las devoluciones de RTI pueden llevar a un agotamiento y un retraso en el próximo envío posterior. Los autores analizaron las interdependencias que existen entre el inventario de productos terminados y el inventario de

RTI y demostraron que al devolver lotes más grandes de RTI con menos frecuencia disminuye el riesgo de agotamiento de RTI.

Otra extensión del modelo de Kim *et al.*, 2014, fue propuesta por Hariga *et al.*, 2016, quienes consideraron el alquiler de RTI como una medida alternativa para proteger la cadena de suministro contra el desabastecimiento de estos. Donde el proveedor tiene la opción de alquilar RTI de un proveedor de servicios. Además que la tarifa de alquiler cobrada por el proveedor del servicio es en función de la duración del período de alquiler. Por lo tanto, en caso de que los RTI sean devueltos por el minorista poco después de que se hayan alquilado los RTI, el alquiler de los RTI puede resultar no rentable. Indicando como resultado que el alquiler de RTI es especialmente beneficioso en situaciones donde tanto el costo de la escasez como el riesgo de devoluciones tardías son altos, y también en situaciones donde mantener los productos terminados en las instalaciones de almacenamiento del proveedor es costoso.

Botani *et al.*, 2015, estudió una cadena de suministro en la que un fabricante utiliza RTI (tarimas) para transportar un producto a múltiples clientes. Estos consideraron que los minoristas devuelven los RTI con una alta variabilidad y que estos pueden dañarse durante el transporte, desarrollaron un modelo de simulación para la cadena de suministro que ayudo a decidir cuándo y dónde ordenar RTI. Además utilizaron tres condiciones de pedido al desarrollar el modelo: a) recuperar RTI de uno de los minoristas siempre que el minorista tenga suficientes RTI en stock, b) solicitar nuevos RTIs al proveedor de servicios, y c) ordenar nuevos RTIs a proveedor de servicios en una orden de emergencia. Se asumió que la orden de emergencia era más rápida que la orden regular, pero también resultaba en costos más altos.

De manera similar Ni *et al.*, 2015, desarrolló un modelo para la coordinación de un sistema de bodegas de tarimas (RTI). Con lo que consideraban que un proveedor de tarimas produce nuevas, repara las usadas y desecha las no reparables, el beneficio que proporciona un centro de acopio de tarimas es que distribuye el material a los clientes y los retira de los clientes. Su objetivo del modelo fue coordinar el flujo a través del sistema, es decir, las cantidades que fluyen desde el centro de acopio hasta los clientes, desde el centro acopio hasta el fabricante de tarimas y minimizar el costo total del sistema. Ellos propusieron un modelo matemático que describe este sistema y de desarrollaron un algoritmo funcional.

Y recientemente Jianwei *et al.*, 2018, realizaron un análisis de las tarimas se entregarían a través de una cadena de suministro, ellos utilizaron un procedimiento que consto de al menos cinco procesos de operación como distribución, reposición, reciclaje, compra (o alquiler) y mantenimiento por lo que su sistemas fue bastante complejo. Por lo tanto, ellos consideraron necesario monitorear recolección de las tarimas utilizando tecnología de identificación por radiofrecuencia. En esta investigación, se realizó un modelo de optimización para gestionar la recolección y distribución del material, cumpliendo como objetivo minimizar el costo total de operación, incluidos el costo de distribución, el costo de reposición, el costo de reciclaje o compra, el costo de pérdida, el costo de mantenimiento, el costo de carga y descarga, el costo de almacenamiento y el costo de castigo. Logrando implementar un algoritmo de optimización el cual dio como resultado que el modelo de optimización y el algoritmo son efectivos. Está comprobado que también pueden utilizarse para medir, si la inversión de un sistema de identificación por radiofrecuencia es valiosa o no.

Por otro lado, existen numerosos estudios sobre las aplicaciones de los modelos de líneas de espera a casos prácticos con el fin de determinar sus principales parámetros, como son los tiempos de espera y de servicio, así como el número promedio de clientes en espera y en el sistema.

Capítulo 3 .Teoría de líneas de espera

Los modelos de colas se utilizan para analizar las compensaciones relativas a la cantidad de servidores en comparación con el tiempo de espera de los clientes. Claramente, si el número de servidores es alto, el costo de los servidores es alto, pero el tiempo de espera (costo del tiempo de inactividad del cliente) es bajo (Bhaskar and Lallement, 2010).

Por otra parte se dice que la ciencia de esperar se llama teoría de colas (Hopp y Spearman, 2000); la cual inicio al principio de este siglo con el ingeniero danés A.K. Erlang quien trabajaba en una compañía telefónica, donde comenzó a estudiar la espera de los clientes que solicitaban una llamada para ser atendidos (Izar, 1998). Es un intento matemático que tiene por objetivo buscar el equilibrio entre el costo de espera con el costo de ofrecer un servicio; esto mediante medidas de desempeño representativas, tales como longitud promedio de la cola, tiempo de espera promedio en la cola, y el uso promedio de la instalación (Taha, 2012). La cuantificación de una línea de espera se puede hacer a través de un análisis matemático, o de un proceso de simulación (Pino y De La Fuente, 2001).

Además estos modelos calculan la cantidad óptima de puntos de servicio de cliente / pedido (servidores) para minimizar el costo para la empresa. Considera la tasa promedio de llegada de pedidos, la tasa promedio de servicio al cliente, el costo para el negocio del tiempo de espera del pedido (insatisfacción del cliente) y el costo de operar los puntos de servicio al cliente (Bhaskar and Lallement, 2010). Con ellos se puede obtener información previa, no solo sobre medidas de rendimiento importantes como la longitud de la cola, los tiempos de respuesta y los tiempos de espera, sino también otras medidas de rendimiento como: (a) probabilidad de que ocurra cualquier retraso, (b) probabilidad de que el retraso total es mayor que un valor predeterminado, (c) la probabilidad de que todas las instalaciones de servicio estén inactivas, (d) el tiempo de inactividad esperado de la instalación total, y (e) la probabilidad de giros debido a un alojamiento insuficiente en espera (Hillier, 2000).

Algunos tipos de problemas de colas implican determinar la cantidad apropiada de instalaciones de servicio para cubrir la demanda esperada, así como determinar la eficiencia de los servidores y la cantidad de servidores de diferentes tipos en las instalaciones de servicio (Bhaskar and Lallement, 2010). Se sugiere el uso de la teoría de colas para proporcionar soluciones rápidas a los problemas de la cadena de suministro.

3.1 Elementos de un modelo de espera

Knod y Schonberger (2001) señalaron un sistema de líneas de espera como una fuente de población y un sistema; donde la población representa el grupo del que se extraerán los participantes del sistema de espera, esta puede ser infinita o finita; el sistema consta de la cola y el área de servicio. Gross, Shortie y Harris (2008) indicaron seis características básicas de los modelos de colas que proporcionan una descripción adecuada: (1) patrón de llegada de los clientes, (2) patrón de servicio de los servidores, (3) disciplina de la cola, (4) capacidad del sistema, (5) número de servidores, y (6) número de etapas de servicio. El modelo de la figura 3.1 muestra una estación de trabajo con clientes y una línea de espera previa, los valores K , λ y μ , entre otros, definen las características del sistema. Las variaciones en los elementos originan varios modelos de colas matemáticos.

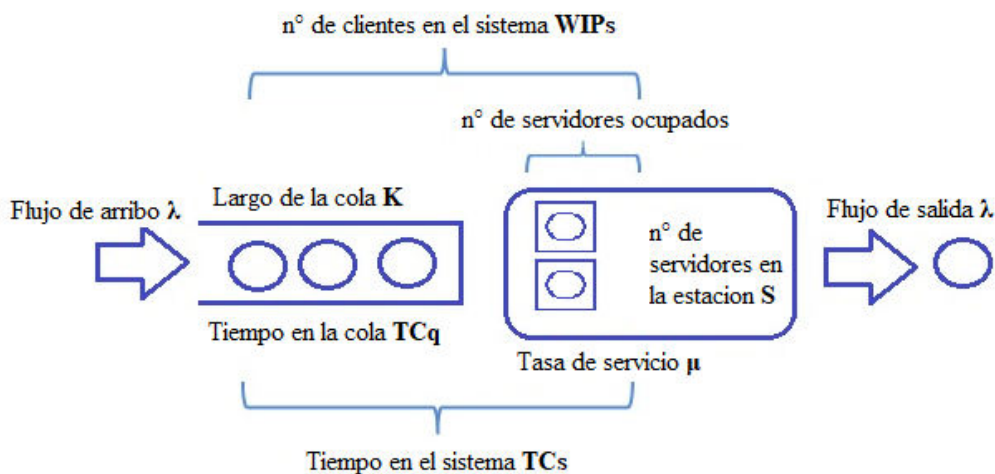


Figura 3.1. Estructura básica de un sistema de espera

Patrón de llegada de los clientes

A cada llegada se le denominará un "trabajo", este parámetro es llamado λ , esto es, cuántos trabajos llegan (en promedio) durante un periodo específico. Los cuales llegan a una **instalación** (servicio) desde de una **fuentes**. Al llegar, puede ser atendido de inmediato o esperar en una **cola** si la instalación está ocupada. Cuando una instalación completa un servicio, "jala" de forma automática a un trabajo que está esperando en la cola, si lo hay. Si la cola está vacía, la instalación se vuelve ociosa hasta que llega un nuevo cliente (Taha,

2012). Debido a que el tiempo entre llegadas (el **tiempo inter arribos**) no se conoce con certeza, necesitaremos especificar una distribución de probabilidades para éste, la suposición común es que se generan de acuerdo con un *proceso de Poisson* (Hillier y Lieberman, 2000; Eppen *et al.*, 2000)

Un factor final a considerar es la manera en que el patrón cambia con el tiempo. Un patrón de llegada que no cambia con el tiempo (es decir, la distribución de probabilidad que describe el proceso de entrada es independiente del tiempo) se denomina patrón de llegada estacionario. Uno que no es independiente del tiempo se llama no estacionario (Gross, Shortie y Harris, 2008).

Patrón de servicio de los servidores

El tiempo transcurrido desde el comienzo del servicio hasta su finalización para un trabajo en una instalación de servicio se conoce como **tiempo de servicio**. Este parámetro se conoce como μ , representa la tasa media de servicio en trabajos por minuto (Eppen *et al.*, 2000).

Se necesita una distribución de probabilidad que describa estos para cada servidor (y posiblemente para diferentes tipos de clientes), aunque es común suponer la misma distribución para todos los servidores (Hillier y Lieberman, 2000).

El proceso de servicio puede depender de la cantidad de clientes que esperan el servicio. Un servidor puede funcionar más rápido si la cola se está acumulando o, por el contrario, puede ponerse nerviosa y volverse menos eficiente. La situación en la que el servicio depende de la cantidad de clientes que esperan se conoce como servicio dependiente del estado. El servicio, al igual que las llegadas, puede ser estacionario o no estacionario con respecto al tiempo (Gross, Shortie y Harris, 2008).

Disciplina de la cola

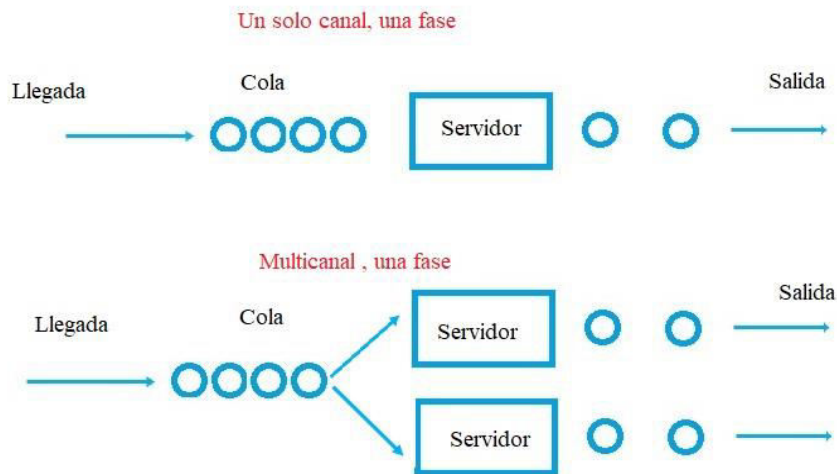
La disciplina de cola representa el orden en el que se seleccionan los miembros de la cola para el servicio (Taha, 2012). La disciplina más común es de acuerdo con un criterio de primer arribo, primer trabajo atendido, FCFS, por sus siglas en inglés (Eppen *et al.*, 2000). Entre otras disciplinas esta último en llegar primero en ser atendido (LCFS, por sus siglas en inglés) y la de servicio en orden aleatorio (SIRO, por sus siglas en inglés). Los trabajos también pueden ser seleccionados de entre la cola, con base en algún orden de prioridad. Por ejemplo, los trabajos urgentes en un taller se procesan antes que los trabajos regulares.

Capacidad del sistema

Gross, Shortie y Harris (2008), la señalaron como una limitación física a la cantidad de sala de espera, de modo que cuando la línea alcanza cierta longitud, no se permite la entrada de más clientes hasta que haya espacio disponible como resultado de la finalización de un servicio. Estas se conocen como situaciones de cola finita, o, para todos los propósitos prácticos, infinita (como en las instalaciones de pedidos por correo).

Número de servidores

Izar en 1998 indica que un mecanismo de servicio consta de una o más instalaciones de servicio, cada una de las cuales contiene uno o más canales de servicio paralelo, llamados servidores. Si hay más de una estación de servicio, el cliente puede recibir el servicio de una secuencia de estos (canales de servicio en serie). En una instalación dada, el cliente ingresa a uno de los canales de servicio paralelo y es completamente atendido por ese servidor, esto se puede observar en la figura 3.2. Un modelo de cola debe especificar la disposición de las instalaciones y la cantidad de servidores (canales paralelos) en cada uno.



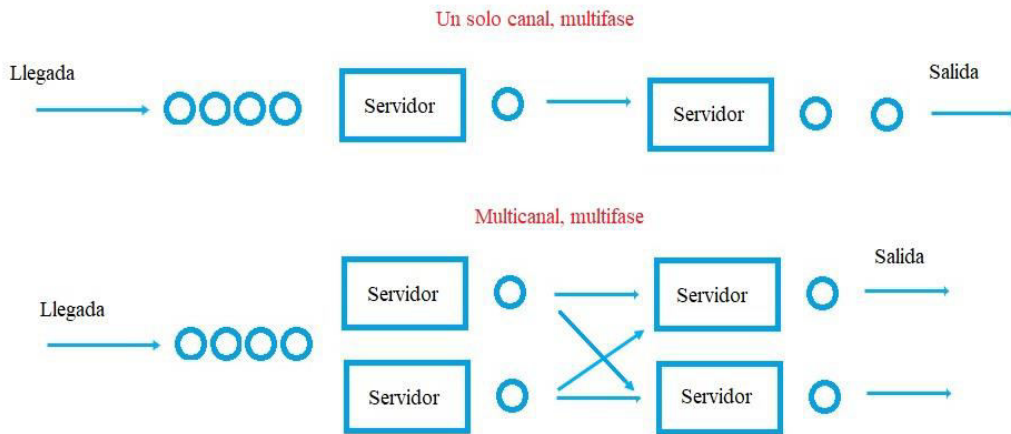


Figura 3.2. Diseños básicos de modelos de cola

Etapas de servicio

Un sistema de colas puede tener solo una etapa de servicio o puede tener varias etapas. En algunos procesos de colas de varias etapas puede ocurrir el reproceso o la retroalimentación. El reproceso es común en los procesos de fabricación, donde las inspecciones de control de calidad se llevan a cabo después de ciertas etapas y las piezas que no cumplen con los estándares de calidad se envían de regreso para su reprocesamiento (Gross, Shortie y Harris, 2008).

3.2 Notación Kendall

Las líneas de espera se denotan bajo el sistema de notación Kendall, Singer *et al* en 2008 detalla una lista de caracteres separados por "/". El primer elemento en la lista especifica el tipo de distribución de tiempo entre llegadas. El segundo elemento en la lista denota la suposición de la distribución del tiempo de servicio. El tercer elemento de la lista especifica el número de servidores y el cuarto elemento es el número máximo de trabajos permitido en el sistema a la vez. Un quinto elemento opcional especifica la disciplina de la cola. La forma general para la notación de Kendall es:

$$V / W / X / Y / Z$$

En donde:

V Patrón de llegadas de los clientes

W	Patrón de servicio
X	Número de servidores
Y	Capacidad del sistema
Z	Disciplina de la línea de espera

Los dos primeros parámetros se denotan por una literal, conforme:

M	Distribución probabilística Markoviana.
D	Distribución degenerada (Tiempos constantes).
E_k	Distribución Erlang (con parámetro de forma k).
G	Distribución general (permite cualquier distribución arbitraria).

La notación para la disciplina en cola (símbolo Z) incluye:

FCFS	Primero en llegar, primero en ser servido.
LCFS	Último en llegar, primero en ser servido.
SIRO	Servicio en orden aleatorio.
GD	Distribución general (cualquier tipo de disciplina).

Gross, Shortie y Harris, (2008) citaron algunos de los modelos más usuales en líneas de espera son:

- D/D/1: en este modelo tanto el patrón de llegadas como el de servicio se conocen exactamente y hay solo un servidor.
- M/M/1: estos modelos se aplican a sistemas de líneas de espera cuyas llegadas siguen una distribución de probabilidad de Poisson, sus tiempos de servicio se representan por medio de la distribución exponencial negativa, tienen un solo servidor, la capacidad del sistema es infinito y la disciplina de la línea es del tipo Primeras Entradas Primeras Salidas (PEPS).
- M/G/1: este modelo se caracteriza por un patrón de llegadas de los clientes de tipo aleatorio según la distribución de Poisson, mientras que el patrón de servicio es de tipo general, el cual puede ajustarse a diversas funciones conocidas de probabilidad, dispone de un servidor, la capacidad del sistema es infinito y la disciplina de la línea de espera es del tipo PEPS.

3.3 Medidas de desempeño

Hall (2013) indica considerar dos perspectivas en la medición del rendimiento de un sistema de cola la perspectiva del cliente y del servidor. Por otra parte Taha (2012) indica como medidas de desempeño las siguientes:

WIPs	Cantidad esperada de trabajos en un <i>sistema</i>
WIPq	Cantidad esperada de trabajos en una <i>cola</i>
TCs	Tiempo de espera en el <i>sistema</i>
TCq	Tiempo de espera en la <i>cola</i>
\bar{C}	Servidores ocupados

Gunter *et al.*, (2006) adiciona utilización (ρ) y Throughput. Por otra parte Gross, Shortie y Harris (2008), señalan tres tipos de respuestas de interés del sistema: (1) medida del tiempo de espera que un trabajo podría verse obligado a soportar; (2) una indicación de la manera en que los trabajos se puedan acumular; y (3) una medida del tiempo de inactividad de los servidores.

Antes de discutir las medidas de desempeño se considera las siguientes definiciones:

- Tiempo de llegada: el tiempo que el cliente llega a la cola
- Tiempo de salida: el tiempo que el cliente completa el servicio y abandona el sistema
- Tiempo de salida de la cola: el tiempo que el cliente deja la cola para entrar en servicio
- Tiempo en la cola: hora de salida de la cola menos la hora de llegada
- Tiempo de servicio: hora de salida menos el tiempo de salida de la cola
- Tiempo en el sistema: hora de salida menos hora de llegada

Medidas de desempeño del cliente

Las principales preocupaciones del cliente son la longitud de tiempo en la cola y en servicio y el costo asociado con este tiempo (Hall, 2013). Estos se reflejan en las siguientes medidas de desempeño:

- Tiempo en cola: en esencia, una espera más corta es mejor que una espera más larga
- Tiempo en el sistema: tiempo que pasa en la cola más el servicio
- Costo de espera: el tiempo de espera podría ser más costoso para algunos clientes que para otros, en cuyo caso se podría utilizar algún esquema de ponderación para combinar los diferentes tiempos de espera

- Proporción de trabajos completados a tiempo: los clientes pueden tener plazos de entrega. Si no se cumplen con un plazo, se incurre en una multa
- Tardiness: Si un trabajo no cumple con la fecha límite, es mejor llegar tarde por un pequeño tiempo que por un largo tiempo. La tardanza es igual a cero si el trabajo se completa a tiempo y es igual al tiempo de salida menos el tiempo límite si el trabajo llega tarde.

Medidas de desempeño del servidor

Hall en 2013 indica la preocupación por minimizar el costo de proporcionar el servicio, atraer y mantener a los clientes. El costo de proporcionar el servicio se refleja en el tiempo de servicio y la utilización del servidor; atraer y mantener a los clientes se refleja en las llegadas, la renegeing y el fracaso.

- Tiempo de servicio: un tiempo de servicio más corto es indicativo de una operación más eficiente
- Utilización proporcional: esta es la proporción de tiempo que los servidores están ocupados atendiendo a los clientes. La utilización proporcional es el número entre cero y uno, y cuanto más tiende a uno, más eficiente será la operación.
- Throughput: la tasa a la que se sirve a los clientes. En algunos sistemas (como las casetas de cobro), el rendimiento aumenta a medida que las colas se alargan porque los clientes están mejor preparados antes de llegar al servidor; en otros, el servicio se deteriora cuando las filas se alargan debido a la falta de atención del cliente o al cansancio del servidor.
- Tasa de llegada: la tasa de llegada es una medida de la cantidad de negocios. Es deseable una tasa de llegada grande porque significa más ingresos.
- Renegeing: cada cliente que reniega puede traducirse en negocios perdidos. Renegeing podría medirse como la proporción de clientes que reniegan después de unirse a la cola, o como la proporción que decide no unirse a la cola después de ver su longitud.
- Longitud de cola: una cola larga es más costosa de acomodar que una cola corta debido al espacio requerido

3.4 Ley de Little

La relación existente entre las medidas de desempeño se conoce como fórmula de Little según lo señalado por Fomari *et al.* (2010), sostiene que, el valor medio de número de trabajos en el sistema es igual a la tasa de llegada de trabajos al servidor multiplicado por el tiempo ciclo promedio en el sistema. Curry y Feldman, 2009; Eppen *et al.*, 2000, la indican para un sistema que satisface las condiciones de estado estacionario.

$$WIP_s = \lambda_{efe} TC_s \quad (3.1)$$

$$WIP_q = \lambda_{efe} TC_q \quad (3.2)$$

Dónde:

WIPs: Numero promedio de trabajos a largo plazo en el sistema

TCs: Tiempo de ciclo promedio a largo plazo

λ_{efe} : La tasa de llegadas efectiva al sistema. Es igual a la tasa de llegadas λ (nominal) cuando todos los clientes que llegan pueden unirse al sistema. De lo contrario, si algunos clientes no pueden unirse porque el sistema está lleno, entonces $\lambda_{efe} < \lambda$.

Taha (2012) y Hall (2013) señalan una relación directa entre TCs y TCq. Donde por definición:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Tiempo de espera} \\ \text{en el sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Tiempo de espera} \\ \text{en la cola} \end{array} \right) + (\text{Tiempo de servicio})$$

Esto se traduce como

$$TC_s = TC_q + \frac{1}{\mu} \quad (3.3)$$

Donde μ es la tasa de servicio promedio. La relación entre WIPs con WIPq está dada por:

$$WIP_s = WIP_q + \frac{\lambda_{efe}}{\mu} \quad (3.4)$$

La diferencia entre la cantidad de trabajos en el sistema, WIPs, y la cantidad de trabajos en la cola, WIPq debe ser igual al promedio de servidores ocupados. Por lo tanto,

$$\bar{c} = WIP_s - WIP_q = \frac{\lambda_{efe}}{\mu} \quad (3.5)$$

3.6 Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo se define como el tiempo que un trabajo pasa dentro de un sistema. El tiempo de ciclo promedio se denota por TC (Curry y Feldman, 2009). Tendremos que referirnos al tiempo de ciclo dentro de una estación de trabajo así como también al tiempo de ciclo para la fábrica como un todo. Por lo tanto, debe hacerse una distinción notacional entre el tiempo de ciclo de fábrica promedio denotada como TCs y el tiempo de ciclo promedio en la estación de trabajo i (la i -ésima agrupación de máquinas idénticas) denotado como TC (i). Así, TCs es el tiempo promedio que un trabajo pasa dentro de la fábrica, ya sea procesado en una estación de trabajo o esperando en una cola de estación de trabajo; mientras que TC (i) es el tiempo promedio que se gasta el trabajo en la estación de trabajo i más el tiempo promedio que se gasta en la estación de trabajo en cola (o buffer).

Por lo tanto, el tiempo de ciclo promedio en la estación de trabajo i se da como la suma de dos componentes;

$$TC(i) = TC_q(i) + E[T_s(i)] \quad (3.6)$$

Donde $TC_q(i)$ denota el tiempo promedio que un trabajo pasa en la cola frente a la estación de trabajo y $T_s(i)$ denota el tiempo de servicio (o el tiempo de procesamiento) en la estación de trabajo i .

3.7 Modelos Markovianos

3.7.1 Modelo M/M/1

El modo de cola más simple es M/M/1, donde tanto el tiempo de llegada como el tiempo de servicio se distribuyen exponencialmente. El sistema de cola de espera M/M/1 asume un proceso de llegada de Poisson. Este supuesto es una muy buena aproximación para el proceso de llegada en un sistema real que cumple con las siguientes reglas (Muruganantha and Usha, 2015):

- I. El número de clientes en el sistema es muy grande.
- II. El impacto del cliente individual para el rendimiento del sistema es muy pequeño, es decir, un solo cliente consume un porcentaje muy pequeño de los recursos del sistema.

III. Todos los clientes son independientes. Su decisión de usar el sistema es independiente de otros usuarios.

A lo largo del tiempo este modelo ha sido descrito por varios autores, algunos de ellos son Gross *et al.*, 2008; Hillier y Lieberman 2010; Gunter *et al.*, 2006, donde mencionan que el modelo supone que todos los tiempos entre llegadas y tiempos de servicio son independientes e idénticamente distribuidos de acuerdo con una distribución exponencial, y hay un solo servidor.

En consecuencia, este modelo es solo un caso especial del proceso de nacimiento y muerte cuando la tasa media de llegadas al sistema y la tasa media de servicio por servidor son constantes (λ y μ , respectivamente) e independientes del estado del sistema. Por lo tanto se asume que el sistema es estable, es decir, $\lambda < \mu$, si esta condición no se cumple (es decir, si $\lambda \geq \mu$), el número de personas en la cola de espera crecerá sin límite. Los valores de estos dos parámetros son todo lo que se necesita para calcular las características de operación importantes del modelo. Las fórmulas necesarias aparecen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características de operación para el modelo M/M/1

Formula	Característica
$\rho = \lambda / \mu$	Utilización
$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$	Probabilidad que el sistema se encuentre vacío
$WIP_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$	Número promedio de trabajos en la línea.
$WIP_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	Número esperado de trabajos en el sistema.
$TC_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$	Tiempo de espera promedio en el sistema
$TC_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$	Tiempo promedio de espera en la línea.

3.7.2 Modelo M/M/s

Hillier y Lieberman 2010; Gunter *et al.*, 2006; Izar, 1998; señalan este modelo igual al anterior previamente descrito, con excepción del tercer parámetro, ya que ahora se tendrán s servidores, cada uno de los cuales atenderá a los clientes con la misma tasa promedio de servicio μ . El sistema de espera formado será estable cuando λ sea menor al producto de s por μ ; esto sucede cuando $s\mu$ excede la tasa media de llegadas λ ($\rho < 1$). Las fórmulas descriptivas de las características del sistema se indican en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características de operación para el modelo M/M/s

Formula	Característica
$\rho = \lambda / s\mu$	Utilización
$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \frac{1}{1 - \lambda/s\mu}}$	Probabilidad que el sistema se encuentre vacío
$WIP_q = \frac{P_0 (\lambda/\mu)^s \rho}{s! (1 - \rho)^2}$	Número promedio de trabajos en la línea.
$WIP_s = \lambda \left(TC_q + \frac{1}{\mu} \right) = WIP_q + \frac{\lambda}{\mu}$	Número esperado de trabajos en el sistema.
$TC_s = TC_q + \frac{1}{\mu}$	Tiempo de espera promedio en el sistema
$TC_q = \frac{WIP_q}{\lambda}$	Tiempo promedio de espera en la línea.

3.7.3 Variación de fuente de entrada finita al modelo M/M/s

Ahora suponga que la única diferencia con el modelo M/M/s, es que la fuente de entrada está limitada; es decir, el tamaño de la población potencial es finito. En este caso, sea N el tamaño de esa población. Cuando el número de clientes en el sistema de colas es n ($n = 0, 1, 2, \dots, N$), existen solo $N - n$ clientes potenciales restantes en la fuente de entrada. Cuando $\lambda_n = 0$ para $n = N$, el modelo alcanzará en algún momento la condición de estado estable (Hillier y

Lieberman 2010, Render *et al.*, 2006). Las formulas descriptivas de las características del sistema se indican en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Características de operación para el modelo M/M/s y población finita

Formula	Característica
$\rho = \lambda / \mu$	Intensidad de tráfico; velocidad de carga de trabajo ofrecida a un servidor
$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^N \left[\frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]}$	Probabilidad que el sistema se encuentre vacío
$P_n = \left[\frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] P_0$	Probabilidad de encontrar n clientes en el sistema
$WIP_q = \sum_{n=1}^N (n-1) P_n$	Número promedio de clientes en la línea.
$WIP_s = N - \frac{\mu}{\lambda} (1 - P_0)$	Número esperado de clientes en el sistema.
$\lambda_{efe} = \lambda (N - WIP_s)$	Tasa media efectiva de llegadas al sistema
$TC_s = \frac{WIP}{\lambda_{efe}} = \frac{N}{\lambda_{efe}} - \frac{1}{\lambda}$	Tiempo de espera promedio en el sistema
$TC_q = \frac{N}{\lambda_{efe}} - \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}$	Tiempo promedio de espera en la línea.

Capítulo 4 .Programación lineal

El desarrollo de la programación lineal ha sido clasificado como uno de los avances científicos más importantes de mediados del siglo xx, donde un modelo matemático describe el problema (Eppen *et al.*, 2000). El adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. En este caso, la palabra programación es sinónimo de planeación. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada —de acuerdo con el modelo matemático— entre todas las alternativas factibles (Hillier y Lieberman ,2000).

Taha en 2012 señala otras técnicas incluyen la programación entera (en la cual las variables asumen valores enteros), la programación dinámica (en la cual el modelo original puede descomponerse en subproblemas más pequeños y manejables), la programación de red (en la cual el problema puede modelarse como una red), y la programación no lineal (en la cual las funciones del modelo son no lineales).

4.1 Construcción del modelo

Eppen *et al.* (2000), Hillier y Lieberman (2000), Taha (2012) señalan que la construcción de modelos, comienza con una simplificación de la realidad, donde se incorporaron los suficientes detalles para que el resultado satisfaga las necesidades, y sea consistente con los datos que se tienen al alcance, y pueda ser analizado en el tiempo con él cuenta para ese propósito, de acuerdo a las siguientes fases:

1. Definición del problema de interés y recolección de datos relevantes.
2. Formulación de un modelo matemático que represente el problema.
 - a) se expresó cada restricción con palabras, prestando especial atención a si la restricción es un requerimiento de la forma \geq (cuando menos tan grande como), una limitación de la forma \leq (no mayor que), o bien, $=$ (exactamente igual que).
 - b) A continuación, se describió el objetivo y la función objetivo para la medición de su desempeño.
 - c) Identifico verbalmente las variables de decisión. Formulando la siguiente cuestión, ¿qué decisiones deben tomarse para optimizar la función objetivo?

d) Se declaró la función objetivo y restricciones con símbolos (es decir, en términos de variables de decisión). Cuidando la consistencia del trabajo en cuanto a las unidades de medición. De igual modo, revisar en las restricciones que las unidades del lado derecho sean iguales a las del lado izquierdo.

3. Desarrollo de un procedimiento basado en computadora para derivar una solución para el problema a partir del modelo.

4. Prueba del modelo y mejoramiento de acuerdo con las necesidades.

5. Preparación para la aplicación del modelo prescrito por la administración.

6. Implementación.

4.2 Componentes básicos del modelo de programación lineal

Hillier y Lieberman (2000), Taha (2012), indican que todos los modelos de programación lineal, constan de tres componentes básicos.

1. Las variables de decisión que pretendemos determinar.

2. El objetivo (la meta) que necesitamos optimizar (maximizar o minimizar).

$$\text{Maximizar} \quad Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (4.1)$$

3. Las restricciones que la solución debe satisfacer. Estas se presentan generalmente en dos formas: limitaciones y requerimientos.

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i \quad (4.2)$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i \quad (4.3)$$

La definición correcta de las variables de decisión es un primer paso esencial en el desarrollo del modelo. Una vez hecha, la tarea de construir la función objetivo y las restricciones es más directa. Ahora, cualquier conjunto de valores específicos de las variables de decisión (x_1, x_2, \dots, x_n) se llama una solución, aunque sea sólo una posibilidad deseable o ni siquiera permitida. Se identifican los tipos de soluciones una solución factible es aquella para la que todas las restricciones se satisfacen y una solución no factible es una solución para la que al menos una restricción se viola (Eppen *et al.*, 2000).

4.3 Programación entera

La programación con enteros según lo reportado por Eppen *et al.*, 2000 y Taha, 2012 difiere por el hecho de exigir valores enteros en un problema con la formulación de programación lineal.

Hillier y Lieberman (2000) señala si en un modelo solamente algunas de las variables están restringidas a valores enteros y otras que pueden asumir cualquier número no negativo (es decir, cualquier valor continuo) se conoce como programa lineal con enteros mixtos (PLEM). Entonces primero se decide qué variables (o ninguna) tratará como enteros y cuáles (o ninguna) va a considerar como variables continuas; o bien cuando las variables enteras están restringidas a los valores 0 o 1. Esos modelos se denominan binarios o programas lineales con enteros 0–1.

Taha en 2012 indica que los modelos binarios se caracterizan por los siguientes criterios:

1. Las variables x_j , $j=1, 2, \dots, n$ son binarias
2. Los coeficientes del lado izquierdo de las restricciones son 0 o 1
3. El lado derecho de cada restricción es de la forma (≥ 1) ,
4. La función objetivo minimiza $c_1x_1 + c_2x_2 \dots + c_nx_n$, donde $c_j > 0$ para toda $j = 1, 2, \dots, n$.

4.4 Algoritmos de programación entera

Taha, 2012; Eppen *et al.*, 2000, señalan un algoritmo el cual consta de tres pasos:

Paso 1. Desahogue el espacio de soluciones del PLE al eliminar la restricción entera en todas las variables enteras y reemplazar cualquier variable binaria y con el intervalo continuo $0 \leq y \leq 1$. El resultado del desahogo es una programación lineal.

Paso 2. Resuelva la PL, e identifique su óptimo continuo.

Paso 3. Comenzando desde el punto óptimo continuo, agregue restricciones especiales que modifiquen iterativamente el espacio de soluciones de PL de modo que finalmente dé un punto extremo óptimo que satisfaga los requerimientos enteros.

Se desarrollaron dos métodos generales para generar las restricciones:

1. Método de ramificación y acotación (B&B)
2. Método de plano de corte

Capítulo 5 .Materiales y métodos

El método para la construcción de un modelo de optimización del tiempo de carga de tarimas en una empresa arrendadora cuando éstas son desocupadas en los supermercados consiste en cinco etapas las cuales se observan en la figura 5.1, y se expondrán a lo largo de este trabajo.

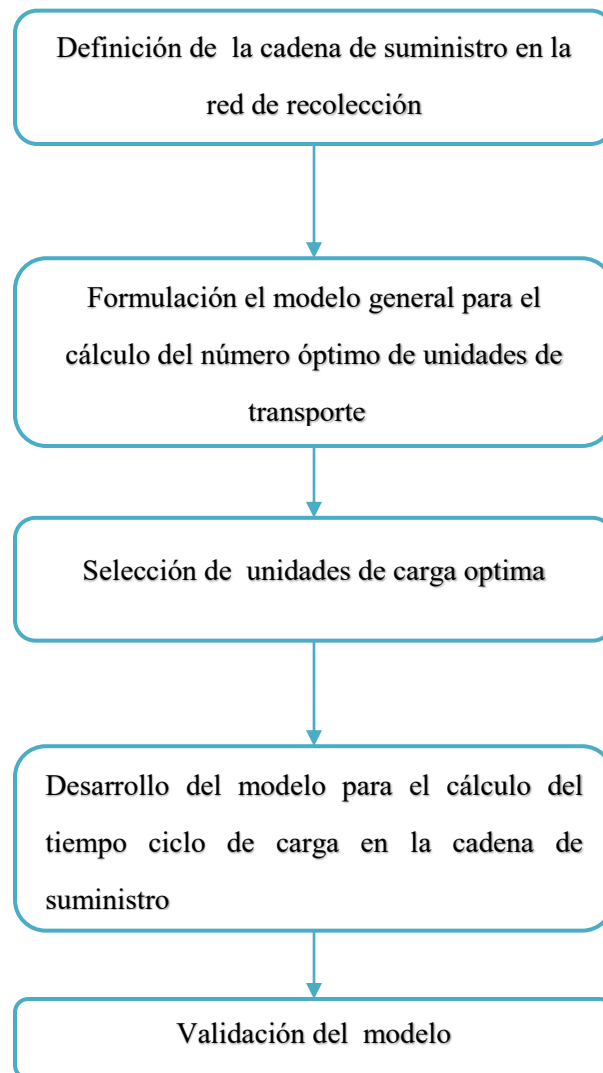


Figura 5.1. Marco metodológico

5.1 Definición de la cadena de suministro

El diseño de la cadena de suministro se indican el papel de las instalaciones, la ubicación, almacenaje o relacionadas con la transportación y la asignación de la capacidad y mercados en cada instalación indicados en Chopra y Meindl en 2008.

5.2 Formulación el modelo general para el cálculo de viajes requeridos en las unidades de transporte

Se realizó de acuerdo a lo indicado por Soto y Gutiérrez (2011) en la construcción del modelo, de acuerdo a lo siguiente:

Se supone que se tienen m tipos de camiones recolectores de tarimas con capacidades c_1, c_2, \dots, c_m , tales que $c_1 < c_2 < \dots < c_m$ y por otro lado, C_T es el total de tarimas a recolectar en la red a la semana, denotando por x_1, x_2, \dots, x_m las variables de decisión que están definidas como:

- ✓ x_j cantidad de viajes necesarios a la semana que haga el camión con capacidad c_j para recolectar las C_T tarimas, con $j= 1, 2, 3, \dots, m$, esto es indicado en la ecuación 5.1.

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j \geq C_T \quad (5.1)$$

De esta forma el problema lineal entero es posible modelarlo como se describe, la función objetiva en la ecuación 5.2 y sujeto a las condiciones mostradas en las ecuaciones 5.3 y 5.4.

Función objetivo:

$$\min Z = \sum_{j=1}^m x_j \quad (5.2)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j \geq C_T \quad (5.3)$$

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j \leq C_T + c_1 - 1 \quad (5.4)$$

X_j entera no negativa $\forall j=1, 2, \dots, m$

La restricción en ecuación 5.3 garantiza el mínimo de viajes que se deben hacer para transportar todas las tarimas, sin embargo, puede existir un sobrante para lo cual la restricción en ecuación 5.4 brindará el cumplimiento de la demanda, sin exceder la menor capacidad de recolección.

- ✓ Suponiendo que se tiene n subredes, se puede aplicar el siguiente modelo a cada subred, función objetivo ecuación 5.5 y sujeto a las condiciones mostradas en ecuaciones 5.6 a 5.8

$$\min Z_i = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=1}^m c_i x_{ij} \geq C_{Tj} \quad (5.6)$$

$$\sum_{i=1}^m c_i x_{ij} \leq C_{Tj} + c_{1j} - 1 \quad (5.7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq r_i \quad (5.8)$$

Donde:

c_i : Capacidad del camión i .

x_{ij} : Cantidad de viajes del camión i en la subred j .

C_{Tj} : Cantidad de tarimas a recolectar en la subred j .

r_i : Disponibilidad de viajes del camión i con los que cuenta para realizar la recolección

La restricción en ecuación 5.8 indica los viajes que se deben hacer para transportar las tarimas, no exceden los viajes disponibles por unidad de transporte.

Se determinaron los tipos de camiones disponibles en el mercado, siendo estos:

1. Camioneta de 3 ½ pies (capacidad de recolección: 72 tarimas)
2. Torton de 24 pies (capacidad de recolección: 252 tarimas)
3. Plataforma de 40 pies (capacidad de recolección: 432 tarimas)
4. Plataforma de 48 pies (capacidad de recolección: 504 tarimas)
5. Plataforma de 53 pies (capacidad de recolección: 540 tarimas)

Finalmente, para conocer la cantidad de camiones que se requieren de cada tipo, se definen por la ecuación 5.9, esta considera cuántos viajes puede hacer cada camión a la semana.

$$\sum_{i=1}^m \left[\frac{A_m}{q_i} \right] \quad (5.9)$$

Donde q_1, q_2, \dots, q_m es la cantidad de viajes que haría cada uno de los m camiones a la semana y A_m la cantidad de viajes a la semana del camión m .

5.3 Selección de unidades de carga optima

En la determinación de la cantidad total de camiones se utiliza el método señalado por Soto y Gutiérrez (2011), con base a la relación entre los viajes requeridos por semana, N° de unidades requeridas y viajes libres generados por unidad, este análisis se muestra en la tabla 5.1.

Se estableció que no es óptimo adquirir una unidad si realizan uno o dos viajes, en dicho caso se deberán satisfacer dichas demandas con viajes libres generados por otras unidades. Es en este sentido el tipo de análisis que se realizó, en estas condiciones para satisfacer el sistema se midió en qué cantidad el valor producido por la solución se desvía de la meta, que, por definición, sea cero, y finalmente, llegó el número óptimo de camiones a adquirir.

Tabla 5.1. Herramienta en análisis de la cantidad de viajes requeridos por tipo de camión

		Viajes requeridos por semana	Nº de unidades requeridas	Capacidad	Vol. De tarimas recolectadas	Vol. De tarimas Faltantes	Viajes disponibles por semana	Viajes libres por semana	Vol. Tarimas que puede ser recolectado
Camiones requeridos	Tipo 1								
	Tipo 2								
	Tipo 3								
	Tipo 4								
	Tipo 5								

5.4 Desarrollo del modelo para el cálculo del tiempo ciclo de carga en la cadena de suministro

Se estableció que todos los tiempos entre llegadas y salidas (λ y μ) son independientes e idénticamente distribuidos de acuerdo con una distribución exponencial y el número de servidores es $s = 1$ (figura 5.2), siendo este un sistema estable por lo cual $\rho < 1$ estrictamente y el tamaño de la población potencial es finito. En este caso, sea N es la cantidad de viajes requeridos, y tiempo de servicio t_s de 15 segundos/ tarima. Las ecuaciones utilizadas se muestran en la tabla 3.3.



Figura 5.2 Sistema M/M/1 Población finita.

5.5 Validación del modelo

Se sigue lo descrito por Eppen *et al.* (2000) y Taha (2012) donde indican la entrada de datos históricos sobre decisiones, parámetros y resultados obtenidos en una situación similar en una época ya conocida. A continuación se comparan los dos conjuntos de resultados, los del modelo desarrollado y los de la historia, y el modelo queda validado si existe similitud entre ellos.

Capítulo 6 .Resultados y discusión

Se utilizó el caso de estudio descrito por Soto y Gutiérrez (2011), para la empresa CHEP México en la recolección semanal de tarimas en 55 entidades distribuidas en 12 estados y el Distrito Federal.

6.1 Definición de la cadena de suministro

Las entidades se dividieron en 8 subredes, donde el centro de distribución CHEP México se ubica en el área metropolitana y los tours C y D involucran localidades exclusivamente dentro del Estado de México y Distrito Federal (figura 6.1).

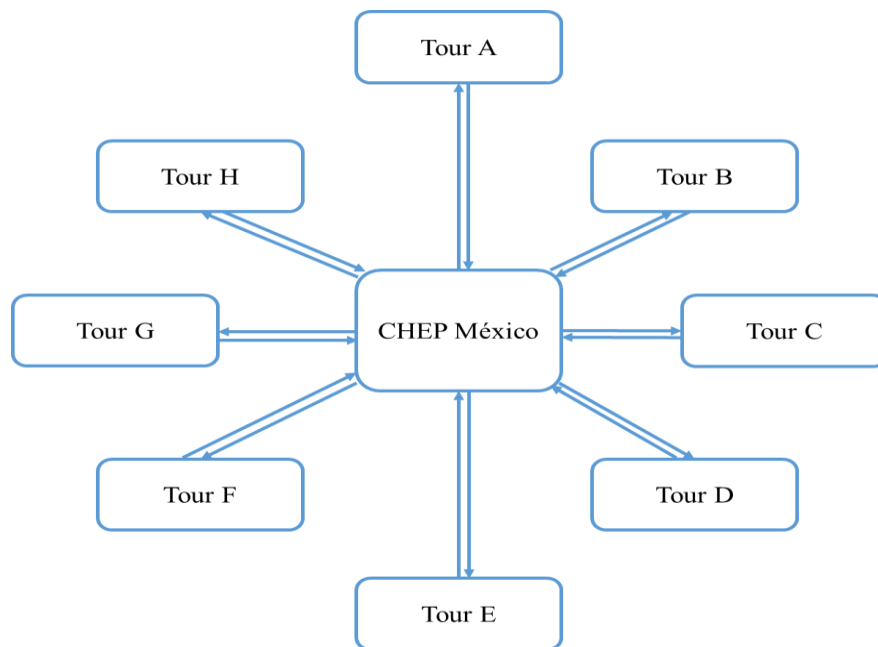


Figura 6.1 Cadena de recolección de tarimas por CHEP México

Se evaluó la semana con mayor volumen de recolección de tarimas, definido y analizado por tour en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Recolección de tarimas en CHEP México.

Tour	Cantidad recolectada	Entidades a visitar
A	2214	8
B	4372	6
C	3065	9
D	5233	8
E	14935	8
F	1831	3
G	3637	9
H	1644	4
Total	36 931	55

Fuente: (Soto y Gutiérrez, 2011)

6.2 Viajes requeridos de las unidades de transporte

De acuerdo a las condiciones de los tours C y D se tomó la decisión de excluir a los camiones de gran tamaño (tipo 4 y 5), ya que trasladarse con tráfico y por las avenidas del área metropolitana, será sumamente lento y en algunos casos imposible (Soto y Gutiérrez, 2011). Se diseñaron los modelos de optimización lineal entera para cada tour de acuerdo a la demanda descrita en la tabla 6.1. Se muestran como ejemplo los tours A y C:

Tour A. Función objetivo ecuación 6.1 y sujeto a condiciones en ecuaciones 6.2 y 6.3.

$$\text{Min } Z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \quad (6.1)$$

$$72 \cdot x_1 + 252 \cdot x_2 + 432 \cdot x_3 + 504 \cdot x_4 + 540 \cdot x_5 \geq 2214 \quad (6.2)$$

$$72 \cdot x_1 + 252 \cdot x_2 + 432 \cdot x_3 + 504 \cdot x_4 + 540 \cdot x_5 \leq 2285 \quad (6.3)$$

Tour C. Función objetivo, ecuación 6.4 y sujeto a condiciones de ecuaciones 6.5 y 6.6.

$$\text{Min } Z = x_1 + x_2 + x_3 \quad (6.4)$$

$$72 \cdot x_1 + 252 \cdot x_2 + 432 \cdot x_3 \geq 3065 \quad (6.5)$$

$$72 \cdot x_1 + 252 \cdot x_2 + 432 \cdot x_3 \leq 3136 \quad (6.6)$$

La solución al modelo planteado de acuerdo al software TORA, arrojó un total de 78 viajes por semana distribuidos en los diferentes tipos de camiones considerados, detallados en la tabla 6.2, encontrando que el problema presenta soluciones óptimas múltiples (Taha, 2012), todas con el mismo valor de la función objetivo, por ello difieren por los reportados en Soto y Gutiérrez (2011).

Tabla 6.2 Cantidad preliminar de viajes requeridos por cada tipo de camión en los tours.

		Tours								Viajes requeridos por semana
		A	B	C	D	E	F	G	H	
Camiones requeridos	Tipo 1	1	1	1	1	0	0	0	1	5
	Tipo 2	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Tipo 3	0	0	7	12	1	0	1	0	21
	Tipo 4	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	Tipo 5	4	8	0	0	26	3	6	3	50
Total									78	

6.3 Selección de unidades de carga óptima

Se determinó la cantidad de camiones contemplando 5 días de trabajo por semana dando como resultado 16 unidades de transportes; sin embargo, fue factible disminuir esta cantidad al asignar los recursos limitados con miras a lograr las combinaciones óptimas en el cumplimiento de la demanda establecida.

Se estudiaron 9 plantillas de unidades de transporte, analizando el faltante o excedente de capacidad, los cuales se observan en la figura 6.2, donde la opción 6 corresponde al análisis generado por Soto y Gutiérrez (2011), encontrando un faltante de capacidad por 1728 tarimas, así mismo se observa que la opción 9 es la más cercana a la meta establecida, con un excedente de 72 tarimas, garantizando el cumplimiento de la demanda.

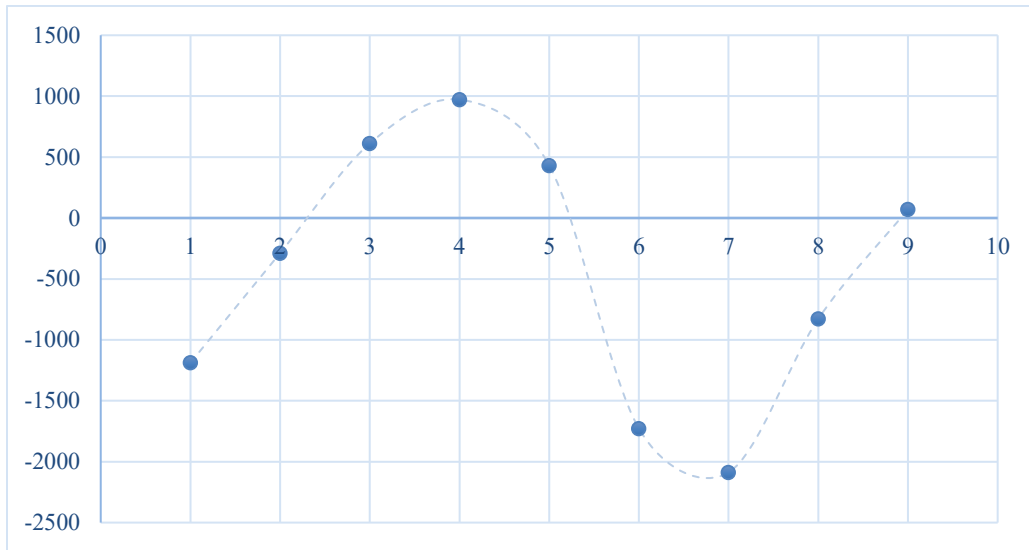


Figura 6.2 Análisis de capacidad faltante vs excedente

En la tabla 6.3 se detalla la plantilla seleccionada esta consta de 15 unidades, distribuidas en dos tipos de transporte con diferente capacidad, la cual es clave para los siguientes apartados.

Tabla 6.3 Unidades requeridas por cada tipo de camión

Camión	Número de unidades requeridas	
	Reportado por Soto y Gutiérrez, 2011	Resultados experimentales
Tipo 1	0	0
Tipo 2	0	0
Tipo 3	4	6
Tipo 4	1	0
Tipo 5	9	9
Total	14	15

6.4 Tiempo ciclo de carga en la cadena de suministro

Se diseñaron los modelos en el cálculo de tiempo de ciclo de carga para cada tour de acuerdo a la distribución de viajes descrita en la tabla 6.4, donde N representó la cantidad de viajes requeridos por cada tour en función del tipo de camión.

Tabla 6.4 Cantidad de viajes requeridos por cada tipo de camión en los tours

	Camiones	Tours								Viajes requeridos por semana
		A	B	C	D	E	F	G	H	
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	0	0	7	12	0	0	4	0	23
	Tipo 4	0	1	0	0	0	0	4	0	5
	Tipo 5	4	7	0	0	28	3	0	3	45
Resultados experimentales	Tipo 3	4	4	7	12	0	2	0	3	32
	Tipo 5	1	5	0	0	28	2	7	1	44

Se muestra como ejemplo el tour A en el camión tipo 3 del modelo experimental, donde la tasa de llegadas es la relación del número de viajes por hora, la tasa de servicio varía en función de la capacidad del camión ($\mu_{\text{tipo 3}}=0.5556$ y $\mu_{\text{tipo 5}}=0.444$ camiones/hr) estos parámetros se ilustran en la tabla 6.5, y siguiendo las ecuaciones descritas en la tabla 3.3, se obtuvieron las medidas de desempeño para el tiempo ciclo, donde este aumento a medida que el número de viajes incrementa como se observa en la figura 6.3 esto se debe a un decremento en la disponibilidad del servidor por lo cual se puede afirmar que el proceso de carga no es instantáneo, se trata de un proceso que requiere de una secuencia de operaciones. Los resultados observados generan información importante que indica que sistema requiere ser optimizado.

Tabla 6.5. Parámetros establecidos del sistema M/M/1 y Población finita en el Tour A

λ	0.0238	Camiones/hr
μ	0.5556	Camiones/hr
N	4	camión
c	1	servidor
ρ	0.0428	

Tabla 6.6. Sistemas M/M/1 y población finita del Tour A

n	z	Pn	WIP q	WIPs	λ_{efe}	TCq	TCs
0	1	0.8367	0	0.1883	0.0907	0.2758	2.076
1	0.1712	0.1432	0				
2	0.0219	0.0184	0.0184				
3	0.0019	0.0016	0.0032				
4	8.05E-05	6.738E-05	0.0002				
P ₀	0.8367		0.0217				

Los resultados de la tabla 6.6 mostraron que, en promedio, una unidad de transporte tipo 3 espera 17 min para ser cargado en la locación A del modelo experimental, ya que al momento de que la unidad entra al sistema aproximadamente faltaran 81 tarimas por cargar en la unidad anterior, este tiempo de espera es pequeño debido a que el sistema pasa en un 84 % de su tiempo vacío.

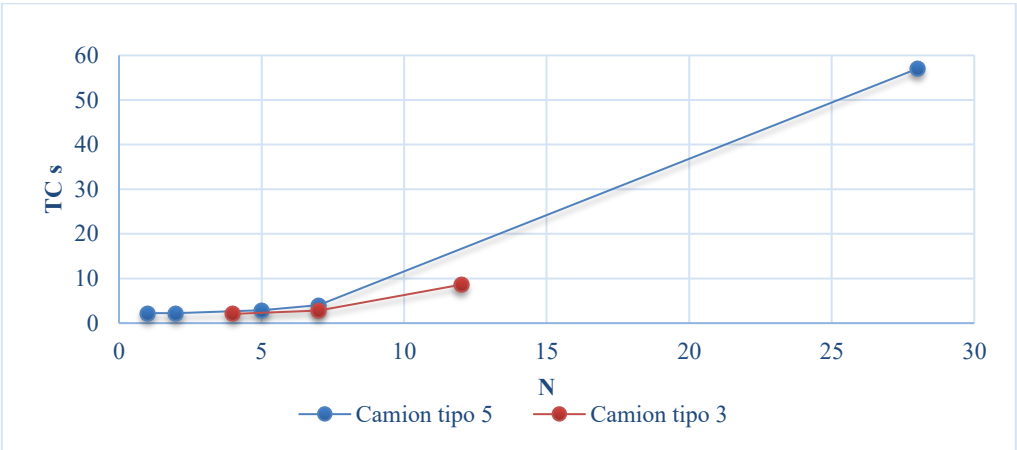


Figura 6.3 Tiempo de ciclo

6.5 Validación del modelo

Se evaluó el modelo de la etapa 5.2 para la distribución de viajes en los Tour A, B, E, F, G y H, y el análisis de viajes libres generados por unidad de transporte en los Tour C y D, descrito en la etapa 5.4, en 4 semanas con demanda irregular descritas en la tabla 6.7, obteniendo la distribución de viajes requeridos por cada tipo de camión en cada tours por semana, del modelo reportado por Soto y Gutiérrez (2011), así como el modelo experimental bajo las mismas condiciones.

Tabla 6.7 Volúmenes de tarima para recolección por tour

Tour	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
A	1 609	1 164	1 256	1 345
B	1 916	4 933	2 168	3 008
C	2 322	2 452	2 949	1 491
D	3 304	4 081	2 732	3 954
E	8 016	13 559	17 039	9 080
F	2 602	2 778	3 124	1 424
G	3 992	4 678	4 816	2 340
H	2 828	1 758	2 363	450
Total	26 589	35 403	36 447	23 092

Fuente: (Soto y Gutiérrez, 2011)

En las tablas 6.8 a 6.15 se muestra un resumen por semana en la distribución de viajes requeridos para satisfacer la demanda establecida por tour, así mismo se representa el tiempo de ciclo en el proceso de carga de tarimas en horas que con lleva cada uno de estos.

La semana 1 presenta un total de 55 viajes distribuidos en los tres tipos de unidades señalado por Soto y Gutiérrez (2011); sin embargo el modelo experimental requiere un viaje menos, logrando optimizar en un 9.8 % el tiempo de ciclo generado por el proceso de carga reflejado las locaciones B y G, las cuales se logró disminuir en un 20 y 30 % respectivamente.

Tabla 6.8 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 1

	Camiones	Tours								Viajes requeridos por semana
		A	B	C	D	E	F	G	H	
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	0	1	6	8	0	0	0	0	15
	Tipo 4	0	2	0	0	0	0	1	1	4
	Tipo 5	3	1	0	0	15	5	7	5	36
Resultados experimentales	Tipo 3	0	2	5	8	0	0	3	0	18
	Tipo 5	3	2	0	0	15	5	5	6	36

Tabla 6.9 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 1

	Camiones	Tours								TCs	TCs en la semana
		A	B	C	D	E	F	G	H		
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	0	1.5593	2.4695	3.3919	0	0	0	0	7.4207	50.771
	Tipo 4	0	2.1164	0	0	0	0	2.1017	2.1017	6.3198	
	Tipo 5	2.3806	2.2712	0	0	22.5625	2.9023	4.0116	2.9023	37.0305	
Resultados experimentales	Tipo 3	0	1.8755	2.2391	3.3919	0	0	1.9441	0	9.4506	45.8137
	Tipo 5	2.3865	2.2371	0	0	22.5625	2.9023	2.9023	3.3724	36.3631	

En la semana 2, Soto y Gutiérrez (2011) no obtuvieron una solución entera, por lo cual presentan un faltante en 359 tarimas, señalando que el modelo experimental satisface la demanda establecida con 73 viajes, la distribución de estos se muestran en la tabla 6.10, y el tiempo de ciclo en el proceso de carga en la tabla 6.11 siendo menor en 3.24 horas, donde el tour C presenta una disminución en este proceso por 5.59 horas con un viaje más, siendo esta locación la que presenta mayor problema, mientras en la locación B por 1.74 horas.

Tabla 6.10 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 2

	Camiones	Tours								Viajes requeridos por semana
		A	B	C	D	E	F	G	H	
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	0	5	6	10	0	0	0	0	21
	Tipo 4	0	5	0	0	0	0	0	0	5
	Tipo 5	2	1	0	0	25	5	9	3	45
Resultados experimentales	Tipo 3	2	4	6	9	4	1	0	2	28
	Tipo 5	1	6	0	0	22	5	9	2	45

Tabla 6.11 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 2

	Camiones	Tours								TCs	TCs en la semana
		A	B	C	D	E	F	G	H		
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	0	2.2391	2.4695	5.2448	0	0	0	0	9.9534	78.2645
	Tipo 4	0	2.6739	0	0	0	0	0	0	2.6739	
	Tipo 5	2.2371	2.2712	0	0	49.5351	2.9023	6.2896	2.4019	65.6372	
Resultados experimentales	Tipo 3	1.8755	2.0706	2.4695	4.1618	2.0706	1.5593	0	1.8755	16.0828	75.0267
	Tipo 5	2.2712	3.3724	0	0	41.8713	2.9023	6.2896	2.2371	58.9439	

Para satisfacer la demanda en la semana 3 se requieren 75 viajes reportados, sin embargo con el modelo experimental requiere uno menos, ambas asignaciones cumplen con los requisitos de recolección, estas distribuciones se indican en la tabla 6.12, respecto al tiempo de ciclo en la carga de tarimas esta semana se presenta la mayor optimización con un 17%, donde la locación A presenta un decremento en este parámetro por 53%, así como los tours B, E y H entre un 16 a 30 % (ver tabla 6.13).

Tabla 6.12 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 3

	Camiones	Tours								Viajes requeridos por semana
		A	B	C	D	E	F	G	H	
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	2	2	7	7	1	0	5	1	25
	Tipo 4	0	2	0	0	0	1	0	2	5
	Tipo 5	1	1	0	0	31	5	5	2	45
Resultados experimentales	Tipo 3	3	4	7	6	7	1	0	2	30
	Tipo 5	0	1	0	0	26	5	9	3	44

Tabla 6.13 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 3

	Camiones	Tours								TCs	TCs en la semana
		A	B	C	D	E	F	G	H		
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	1.8755	1.8755	2.8505	2.8486	1.7966	0	2.2391	1.7966	15.2824	98.5379
	Tipo 4	0	2.1164	0	0	0	2.1017	0	2.1164	6.3345	
	Tipo 5	2.2712	2.2712	0	0	64.3369	2.9023	2.9023	2.2371	76.921	
Resultados experimentales	Tipo 3	1.9441	2.0706	2.8486	2.4695	2.8486	1.5593	0	1.8755	15.6162	81.7704
	Tipo 5	0	2.5254	0	0	52.0459	2.9127	6.2896	2.3806	66.1542	

La semana 4 demanda 48 viajes señalados por Soto y Gutiérrez en 2011 sin embargo, con el modelo propuesto se presenta una disminución de estos, distribuidos en los distintos tipos de camiones analizados, la asignación se detalla en la tabla 6.14. Dando como resultado una diferencia estadística significativa en el tiempo de ciclo presentado un incremento de 3.4 horas en el análisis experimental (ver tabla 6.15), esto se debe al aumento en la locación E al requerir 17 viajes del camión tipo 5 mientras que Soto y Gutiérrez (2011), emplearon 15 de tipo 5 y 2 del tipo 4.

Tabla 6.14 Asignación de camiones en los viajes requeridos: Semana 4

	Camiones	Tours								Viajes requeridos por semana
		A	B	C	D	E	F	G	H	
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	1	1	4	9	0	1	2	0	18
	Tipo 4	0	0	0	0	2	0	0	1	3
	Tipo 5	2	5	0	0	15	2	3	0	27
Resultados experimentales	Tipo 3	1	2	3	9	0	1	3	0	19
	Tipo 5	2	4	0	0	17	2	2	1	28

Tabla 6.15 Tiempo de ciclo en los viajes requeridos: Semana 4

	Camiones	Tours								TCs	TCs en la semana
		A	B	C	D	E	F	G	H		
Reportado por Soto y Gutiérrez (2011)	Tipo 3	1.7966	1.7966	2.0761	4.1618	0	1.7966	1.9056	0	13.5333	50.0741
	Tipo 4	0	0	0	0	2.1164	0	0	2.1017	4.2181	
	Tipo 5	2.2371	2.9059	0	0	22.562	2.2371	2.3806	0	32.3227	
Resultados experimentales	Tipo 3	1.7966	1.9056	1.9461	4.1618	0	1.7966	1.9461	0	13.5528	53.4369
	Tipo 5	2.2371	2.5853	0	0	28.3724	2.181	2.2371	2.2712	39.8841	

En cuanto al tiempo de ciclo en horas encontrado por semana se muestra en la figura 6.4, en la cual se observa una diferencia en el total por 19.52 horas, indicando que el proceso de carga ha sido optimizado en un 8%, esto ayudará a crear y sostener una ventaja competitiva de la empresa en un aumento en la demanda a través de nuevos mercados.

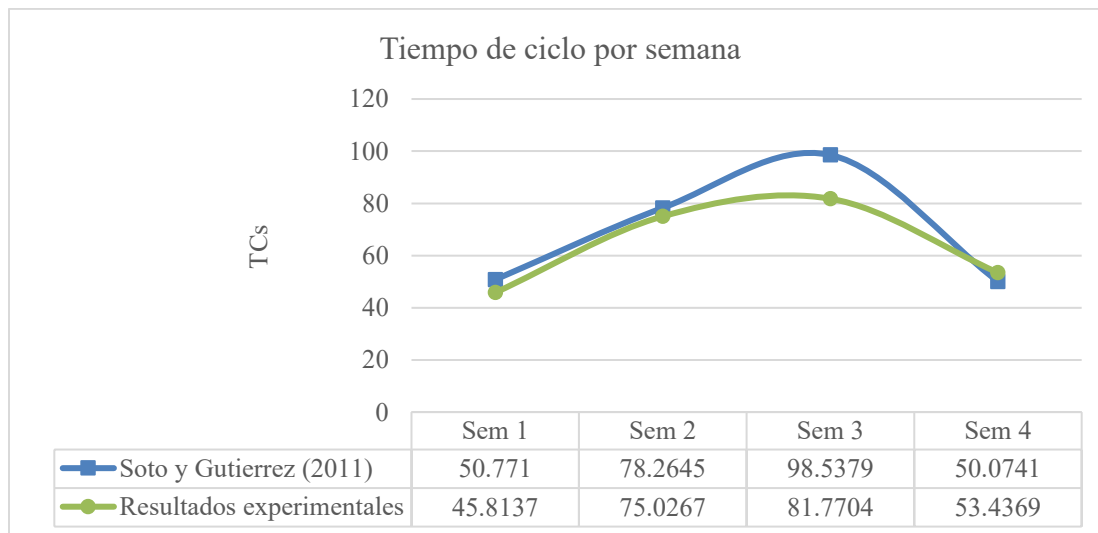


Figura 6.4 Comparación del tiempo de ciclo del modelo reportado y el experimental.

Capítulo 7 .Conclusiones

La definición de la cadena de suministro en 8 subredes ayudo a comprender la situación actual y mejorarla con el fin de cumplir con las expectativas de los clientes.

Los resultados del modelo arrojaron una nueva distribución de los viajes requeridos para la recolección de 36 931 tarimas, lo cual ayudo a generar una nueva plantilla de camiones.

Con la plantilla generada se garantizó el cumplimiento de la demanda establecida con un excedente de 72 tarimas, creando una ventaja en la capacidad de recolección.

El modelo M/M/1 y población finita fueron convenientes para el análisis del desempeño y la toma de decisiones, por lo que la suma acumulada del tiempo de carga de tarimas se convirtió en un factor de importante.

Con la validación del modelo se logró demostrar la optimización en un 8% del tiempo de ciclo en la carga de tarimas generado por el sistema, permitiendo identificar que el tipo de transporte no se debe seleccionar solo por el costo de traslado si no por los beneficios globales que le brinda a la empresa.

Bibliografía

- Alomoto, N., Acuña, C., Salvador, M., Ortiz, J., & Ruiz Torres, A. (2014). La gestión de la cadena de suministro en Ecuador: Caso de las pymes. *Formación Gerencial*, 13(2).
- Ballou, R. (2004). *Business Logistics management*. USA: Prentice Hall.
- Bhaskar, V., & Lallement, P. (2010). Modeling a supply chain using a network of queues. *Applied Mathematical Modelling*(34), 2074-2088.
- Botani, E., Montanri, R., Rinaldi, M., & Vignali, G. (2015). Modeling and multiobjective optimization of closed loop supply chains: A case Study. *Comput. Ind. Eng.*, 87(9), 328-342.
- Cárdenas Eusse, S. (2016). La cadena de suministro (SCM) y su relación con el inventario. *QUID*(27), 33-39.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación* (Tercera ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Correa Espinal, A., & Gómez Montoya, R. (2009). Tecnologías de la información en la cadena de suministro. *Dyna*(157), 37-48.
- Croxton, K., García Dastugue, S., Lambert, D., & Rogers, D. (2001). The Supply Chain Management Processes. *The International Journal of Logistics Management*, 12(2), 13-36.
- Curry, G., & Feldman, R. (2011). *Manufacturing Systems. Modeling and Analysis* (Segunda ed.). Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag.
- Eppen, G. D., Gould, F. J., Schmidt, C. P., Moore, J. H., & Weatherford, L. R. (2000). *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Construcción de Modelos para la toma de Decisiones con Hojas de Cálculo Electrónicas* (Quinta ed.). México: Prentice-Hall.
- Fixson, S. (2005). Product architecture assessment: A tool to link product, process, and supply chain design decisions. *Operations Management*, 23(3-4), 345-369.
- Fornari, J., Grieco, S., & Parodi, M. (2010). Análisis de Líneas de Producción Utilizando Técnicas Tradicionales. *ENERGEIA Cuaderno de investigación*(8), 41-43.
- Gross, D., Shortie, J., & Harris, C. (2008). *Fundamentals of queueing theory* (4th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.

- Gunter , B., Stefan , G., Hermann , d., & Kishor , S. (2006). *Queueing Networks and Markov Chains. Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications* (2nd ed.). United States of America.: John Wiley & Sons, Inc.
- Hall, R. (2013). *Queueing Methods For services and Manufacturing* (XVI ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Hariaga, M., As ad, R., & Shamayleh, A. (2016). Integrated economic and environmental models for a multi stage cold supply chain under carbon tax regulation. *J- Clean Prod*(155), 1357-1371.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2000). *Introduction to operations research* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Hopp, W., & Spearman, M. (2000). *Factory Physics. Foundations of Manufacturing Management* (Segunda ed.). New York: Irwin McGraw-Hill.
- Hugos , M. (2003). *Essentials of supply chain management*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Iglesias López, A. (2016). *Distribución y logística. Curso ESIC de emprendimiento y gestión empresarial*. Madrid, España: ESIC.
- Izar Landeta, J. (1998). *Fundamentos de Investigacion de Operaciones para Administración* (Vol. II). México: Universitaria Potosina.
- Jerez Riesco, J. L., & García Mendoza, Á. (2010). *Marketing internacional para la expansión de la empresa* (Primera ed.). Madrid, España: Esic.
- Jianwei, R., Chunhua, C., Hao, X., & Qingqing, Z. (2018). An optimization model for the operations of a pallet pool with both radio-frequency identification–tagged pallets and non-tagged pallets. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(1), 1-13.
- Jiménez Sánchez, J., & Hernández García, S. (2002). Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico. *Instituto Mexicano del Transporte*(2015), 1-248.
- Kim , T., & Glock , C. (2014). On the use of RFID in the management of reusable containers in closed-loop supply chains under stochastic container return quantities. *Transport Res E: Log*(64), 12–27.
- Kim, T., & Glock, C. (2014). A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return quantities. *Transp. Res.*, 64(4), 12-27.

- Kim, T., Glock, C., & Kwon, T. (2014). A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return times. *Omega*, 43(3), 30-40.
- Kumar, R., Jain N., K., & Som, B. (2014). Optimization of an M/M/1/N Feedback Queue with Retention of Reneged Customers. *Operations Research and Decisions*(3), 45-58.
- Long, D. (2008). *Logística internacional: Administración de la cadena de abastecimiento global*. México: Limusa.
- M. Knod , E., & J. Schonberger, R. (2001). *Operations Management. Meeting customers' Demands* (Seventh ed.). Singapore: McGraw-Hill International Edition.
- Muñoz , N. (2009). *Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios*. México: Cengage Learning.
- Muruganantha Prasad, K., & Usha, B. (2015). A comparison between M/M/1 and M/D/1 queuing models to vehicular traffic atKanyakumari district. *IOSR Journal of Mathematics*, 11(1), 13-15.
- Ni, L., He, Y., Zhou, L., & Deng, L. (2015). Robust control optimization of triole-echelon closed-loop pallet plol system in mukti-uncertain environment. *J. Inf. Comput. Sci*, 12(7), 289-310.
- Pino , D., & De La Fuente , G. (2001). *Teoría de líneas de espera. Modelos de colas*. Gijón: Servicio de publicaciones Universidad de Oviedo.
- Ramírez Echeverri , S. (2010). *Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-confección en el entorno colombiano* (Vol. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas). Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Render , B., Ralph, S., & Hann, M. (2006). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Mexico: Pearson.
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Cleaner Production*, 16(15), 1699-1710.
- Singer , M., Donoso, P., & Scheller-Wolf , A. (2008). Una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios. *ABANTE*, 11(2), 1-22.
- Soto Betancourt, C. R., & Gutiérrez González , E. (2011). Modelo para optimizar la recolección de tarimas en una empresa arrendadora. En I. A. Rivera González, M. A. Cristóbal Vázquez , & M. Aguilar Fernández, *Administración de la Cadena de*

Suministros. Diseño y aplicacion de modelos en empresas mexicanas (Primera ed., págs. 181-211). México: Instituto Politécnico Nacional.

Taha, H. (2012). *Investigación de operaciones* (Novena ed.). México: Pearson Educación.

Anexos

Producto de investigación

Publicación del trabajo en Pistas Educativas en el número semestral Enero- Junio 2019

[PE] Decisión del editor



Editor Responsable <pistaseducativas@itcelaya.edu.mx>

Mié 20/02/2019 08:18 AM

Usted; Salvador Hernández González; Vicente Figueroa Fernández; José Alfredo Jiménez García; Mauricio Felipe Flores Molina

El siguiente mensaje se está enviando a nombre de Pistas Educativas.

Ing Karla Militza Mendoza Ramos:

Tomamos una decisión sobre su envío a Pistas Educativas, "DISEÑO DE UN MODELO DE MEDICIÓN DEL TIEMPO DE CICLO EN LA OPTIMIZACIÓN DE UNA CADENA DE SUMINISTRO (DESIGN OF A MODEL MEASUREMENT OF CYCLE TIME IN THE OPTIMIZATION OF A SUPPLY CHAIN)".

Nuestra decisión es: "ARTÍCULO ACEPTADO"

Su artículo formará parte del número semestral enero-junio 2019, el cuál se publicará a finales de junio 2019.

Saludos

Atte
Editor Responsable
