



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

### FACULTAD DE INGENIERÍA

#### SIMULACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTROS: EL CASO DE UN SISTEMA DE PRÉSTAMO ENTRE BIBLIOTECAS DE UNA UNIVERSIDAD DE MÉXICO

#### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

(INGENIERÍA EN SISTEMAS - INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES)

P R E S E N T A:

**JUAN PABLO RIQUELME RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS**

2006



JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Aceves García Ricardo

Secretario: Dra. Flores De La Mota Idalia

Vocal: Dra. Elizondo Cortés Mayra

1er. Suplente: M.I. Hernández Casanova Rodolfo

2do. Suplente: M.C. del Moral Dávila Manuel

Lugar donde se realizó la tesis:

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**TUTOR DE TESIS**

**DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS**

---

**FIRMA**

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Dra. Mayra Elizondo Cortés por la atención brindada para la elaboración de esta tesis, por su tiempo, recomendaciones y ayuda.

Al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Santa Fe, en especial a Lourdes García por su tiempo y colaboración para la realización de esta tesis.

A Eduardo Valín por su ayuda antes y durante la realización de mis estudios de maestría.

A mis compañeros y amigos por su confianza y apoyo en los últimos dos años.

A los sinodales por sus comentarios

Dr. Ricardo Aceves García

Dra. Idalia Flores De La Mota

Dra. Mayra Elizondo Cortés

M.I. Rodolfo Hernández Casanova

M.C. Manuel del Moral Dávila

Quiero dedicar esta tesis a mis padres por todo su cariño y apoyo en cada etapa de mi vida y a mi hermana Elisa por el compañerismo que ha mostrado y por la motivación que me ha dado tanto en mi vida personal como profesional.

# Índice

Introducción	1
Problemática	4
Hipótesis	5
Objetivo	6
Capítulo 1. Cadenas de suministros y simulación	8
1.1. La Cadena de Suministros	8
1.1.1 Definición de cadena de suministros	9
1.1.2 Cadena de suministros para servicios	11
1.1.3 La logística y la cadena de suministros	13
1.1.4 La logística inversa en la cadena de suministros	20
1.1.5 Relación con el sistema bajo estudio	23
1.2 Simulación de sistemas	24
1.2.1 Las cadenas de suministros como un sistema dinámico y complejo	25
1.2.2 Uso de la simulación	27
1.2.3 Casos en los que se ha utilizado la simulación en la cadena de suministros	28
1.2.4 Tabla resumen de los artículos analizados	31
1.2.5 Metodología de la simulación	34
1.3 Conclusión del capítulo	39
Capítulo 2. Planteamiento, modelo conceptual y recopilación de datos	41
2.1 Descripción del Sistema	41
2.1.1 Generalidades del Sistema	42
2.1.2 Objetivos del estudio de simulación	50
2.2 Elaboración del modelo conceptual	51
2.3 Información numérica del sistema	55
2.3.1 Recolección de datos del sistema	55
2.3.2 Sistema de distribución local	61
2.4 Ajuste de Datos	62

2.5 Conclusión del capítulo	71
Capítulo 3. Selección del software, modelo, verificación y validación	73
3.1 Selección del programa de cómputo	73
3.2 Breve descripción del funcionamiento del programa de simulación ARENA3.0	75
3.2.1 Elementos del programa	75
3.2.2 Módulos	76
3.2.3 Animación	77
3.3 Elaboración del programa de simulación	78
3.3.1 Lógica del modelo de dos bibliotecas	80
3.3.2 Descripción detallada de la elaboración del programa de simulación	81
3.3.3 Programa para el sistema de distribución local	94
3.4 Verificación del programa de cómputo	95
3.5 Validación del programa de cómputo	95
3.7 Conclusión del capítulo	104
Capítulo 4. Diseño de experimentos y análisis de resultados	105
4.1 El diseño de experimentos	106
4.2 Experimentos para el caso de estudio	109
4.2.1 Determinación de la influencia de los factores en la Variable de respuesta	109
4.2.2 Experimentos con aumento de la demanda	116
4.2.3 Experimentos con disminución de la demanda	119
4.3 Eficiencia del sistema	122
4.4 Conclusiones y Recomendaciones	125
Conclusiones Generales	127
Apéndice 1	131
Anexo 1	146
Anexo 2	150
Fuentes	154

# Introducción

## Antecedentes

Las bibliotecas forman actualmente parte vital de los sistemas mundiales de educación, así como de almacenamiento y recuperación de información. Dentro de las grandes bibliotecas se encuentra el conocimiento humano acumulado desde hace mucho tiempo, y se presenta disponible mediante libros, videos, grabaciones y otros medios.

Las bibliotecas modernas difieren en gran parte de las bibliotecas del pasado, tanto en contenidos, como en tipos, espacios físicos, atmósfera y servicios. Esto se debe a que los bibliotecarios están constantemente buscando formas de crecimiento y expansión de sus servicios y por consiguiente, de la contribución que puedan hacer a la sociedad. Es importante también, mencionar que las bibliotecas juegan un papel importante en conservar y aumentar el nivel cultural de una sociedad, así como de preservar el legado histórico-cultural de las mismas.

Los contenidos de las bibliotecas han cambiado a lo largo de los años, incluso la palabra biblioteca es inadecuada, ya que proviene del griego *biblíon*, que significa libro, lo cual indica que las bibliotecas antiguas eran grandes colecciones de libros. Sin embargo, actualmente, las bibliotecas contienen una gran variedad de otros materiales como revistas, periódicos, discos, videos, fotografías, mapas y bases de datos computarizadas. Estas últimas permiten la consulta del material de la biblioteca a distancia. La diversidad en los medios de transmisión de la información contribuye a un entendimiento integral de un tema específico.

Las bibliotecas actuales también muestran variedad en cuanto a especialidad, de manera que puedan servir a las necesidades específicas de la sociedad. Existen bibliotecas con una amplia colección de materiales referentes a un tema específico. Las bibliotecas pertenecientes a una facultad, por ejemplo, mantienen colecciones específicas, mientras que las bibliotecas públicas contienen volúmenes para un amplio sector de la sociedad.

En cuanto a los servicios, la tarea de proveer materiales para los usuarios de una biblioteca es una de las actividades que más contribuye a la cultura y al avance en la tecnología. Para hacer esto, el bibliotecario debe estar pendiente de nuevas publicaciones y otros materiales que aporten valor a la biblioteca y al usuario. Los encargados del material de la biblioteca constantemente evalúan gran cantidad de material, ya sea por inspección personal o mediante resúmenes y deciden cuáles deben estar disponibles dentro de las colecciones de una biblioteca. Como el presupuesto para las bibliotecas es limitado, la cantidad de material deseable siempre excede la cantidad que se puede obtener.

Cada año, se encuentra disponible una mayor cantidad de información acerca de temas de interés para todo público. El volumen de información publicada se duplica cada 10 a 20 años. La cantidad de material en la era de la información representa un reto para las bibliotecas. Los encargados de las bibliotecas requieren estar actualizados e informados sobre los nuevos medios en los que se presenta la información, y de nuevos materiales disponibles. Esto implica un mayor trabajo para ordenar y acomodar los volúmenes y la información adquirida dentro de cada biblioteca, de manera que se encuentre disponible más fácilmente para el usuario.

Ante estos retos, se han desarrollado nuevas herramientas y técnicas que facilitan y mejoran el trabajo de los bibliotecarios. Actualmente existen nuevos tipos de guías, índices y catálogos en formato electrónico para localizar el material que el usuario requiere. La tecnología computacional ha influido de manera directa a estas mejoras. También es posible almacenar gran cantidad de información en espacios relativamente pequeños. En un principio estas bibliotecas electrónicas permitieron acceder a la información en formato digital, con todas las ventajas que esto supuso en el acceso a la información pero sin desarrollar otras potencialidades de lo virtual.

De todos estos avances, tal vez el de mayor relevancia, y que ha ayudado a la administración de volúmenes dentro de una biblioteca sean los catálogos computarizados. Este tipo de herramientas constan de una base de datos en la que se puede obtener



información precisa y actualizada de cada ejemplar existente en la biblioteca en el momento en que se realice una transacción con cualquiera de ellos. Estas bases de datos proporcionan información al administrador de la biblioteca acerca de tipo de publicación, disponibilidad del material, fechas de préstamo y devolución, datos del usuario, recargos, entre otros.

El uso de este tipo de bases de datos ha llevado a la publicación de catálogos en línea, en los que la información acerca del material de la biblioteca se presenta al usuario de forma electrónica y sin necesidad de que éste tenga presencia física en la biblioteca. Sin duda, una ventaja importante en lo que se refiere a servicio al cliente. Además se reduce el tiempo de búsqueda de material, y el usuario, en cualquier momento puede tener acceso a las bases de datos de bibliotecas especializadas sabiendo exactamente la publicación que más se ajusta a sus necesidades y el lugar en donde se encuentra esa publicación.

Se puede decir, por lo tanto, que una biblioteca moderna tiene como misión, de manera general, satisfacer las necesidades de información de una comunidad específica. Sin embargo, como en toda empresa de servicios, los recursos con los que se cuenta son limitados. Es difícil pensar en una biblioteca que contenga todas las publicaciones conocidas que puedan satisfacer al cien por ciento las necesidades de una comunidad. Las bibliotecas digitales fueron un desarrollo posterior a los servicios electrónicos y surgieron para satisfacer las necesidades de tener acceso a todo tipo de información, de reunir colecciones de libros, servicios y personal especializado. El soporte digital, además, proporciona un complemento a otros modos tradicionales de preservación y difusión de la información cumpliendo una función de almacenamiento o de conservación del conocimiento frente a la masa de producción editorial de estos tiempos. Esta necesidad de disponibilidad de la información ha llevado a contar no sólo con apoyos, sino con textos en formato digital. El texto digital tiene la ventaja de que puede trasladarse a cualquier parte del mundo, además de que su costo de duplicación es prácticamente nulo relativamente hablando respecto a las publicaciones escritas en papel. Sin embargo, no se puede decir que el texto digital sea una solución al problema de abasto de la información, actualmente se plantean interrogantes acerca de los derechos de autor de las publicaciones y la facilidad

con la que éstas pueden ser copiadas. En México existen ya muchas bibliotecas que ofrecen un servicio digital.

Posterior a la aparición de las bibliotecas digitales, surgieron las llamadas bibliotecas virtuales, que son bibliotecas en las que se cuenta con publicaciones no impresas o de modo intangible y se caracterizan por brindar servicios en línea solamente. A lo largo del presente trabajo no se tratará el tema de las bibliotecas virtuales, sin embargo, es importante mencionarlo ya que, por su naturaleza, las bibliotecas virtuales se presentan como la solución al almacenamiento, transporte y manejo de materiales en las bibliotecas tradicionales, así como los costos que estas actividades representan.

## **Problemática**

La biblioteca que se va a estudiar corresponde a la categoría de biblioteca digital, ya que contiene publicaciones y servicios en línea, pero, tiene además, un acervo bibliográfico impreso como el de una biblioteca tradicional, por lo que los servicios de almacenamiento, colocación, préstamo y devolución de material están presentes. Dicha biblioteca, pertenece a una institución educativa con diferentes planteles distribuidos a lo largo del territorio mexicano. La biblioteca es, además, de reciente fundación y está sujeta a una demanda superior de libros “nuevos” que otras bibliotecas del sistema.

Cada plantel tiene su propio servicio de biblioteca, sin embargo, por lo mencionado en los antecedentes, no se cuenta con los recursos para tener una colección que satisfaga las necesidades del alumnado completamente. Para incrementar el nivel de servicio al cliente, y como servicio adicional de esta red de bibliotecas para satisfacer las necesidades de información, se cuenta con un préstamo de material impreso entre los diferentes planteles del sistema, el cual se conoce como préstamo interno. Dicho servicio permite que el usuario no sólo consulte los catálogos de una biblioteca a distancia, sino que, en caso de requerir algún ejemplar, pueda recibir el material sin necesidad de trasladarse a la biblioteca en donde éste se encuentre. El servicio de préstamo entre bibliotecas no es

nuevo, y existen convenios entre distintas bibliotecas para intercambiar material impreso siguiendo ciertas normas y políticas de préstamo y reclamo de material.

En el momento en que aparece el transporte de productos físicos, en este caso libros o material bibliográfico, se plantean varias interrogantes como:

- ¿Quién debe asumir el costo de transporte de libros de una biblioteca a otra?
- ¿Es conveniente mandar y recibir libros que no existan en el acervo de la biblioteca o comprar el material que se solicita con mayor frecuencia?
- ¿Cómo minimizar los costos logísticos asociados con el transporte del material?
- ¿Qué sucede con los cambios en la demanda de libros de otras bibliotecas?
- ¿Qué pasaría si aumentara la demanda de un periodo de operaciones a otro?
- ¿Cómo recuperar los libros que se mandaron previamente cuando se termine el plazo del préstamo?

Un factor importante que engloba estas cuestiones es el comportamiento de la demanda en una biblioteca y la manera en cómo impacta los costos asociados con el envío y recepción de material.

## **Hipótesis**

El objetivo de un sistema de préstamo entre bibliotecas es hacer que las diferentes instituciones trabajen en conjunto para incrementar el nivel de servicio al usuario, por lo que se puede concebir bajo el concepto de cadena de suministros. A su vez, una cadena de suministros se presenta como un sistema complejo y dinámico, por lo que se requiere la simulación para analizar su comportamiento. Para soportar esta afirmación es necesario primero definir el concepto de cadenas de suministros y determinar si se ajusta dicho concepto a un sistema de esta naturaleza. Por otro lado, es importante plantear la manera en que se va a abordar la problemática descrita anteriormente, conociendo algunas formas en las que se han tratado este tipo de sistemas anteriormente. Finalmente se abordará el problema mediante la técnica que resulte más adecuada.

## Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo general hacer un análisis del sistema de préstamo entre bibliotecas bajo el esquema de cadenas de suministros mediante un estudio de simulación. A continuación se presenta una lista de los objetivos específicos de este trabajo:

1. Presentar el sistema de bibliotecas como una cadena de suministros para hacer un análisis posterior, bajo este enfoque, del intercambio de material enfocado a una de las bibliotecas del sistema.
2. Obtener un modelo de una cadena de suministros formada por una o más empresas de servicios que salga del esquema tradicional de una cadena para productos manufacturados.
3. Obtener un modelo que involucre no sólo el flujo de material en un sentido, sino en sentido contrario, es decir, el regreso del material, lo cual implica el uso de la logística inversa para la elaboración del mismo.
4. Obtener un modelo de simulación cuyo propósito sea analizar el sistema experimentando con escenarios no existentes, lo cual no podría hacerse empleando otra técnica. Dichos escenarios pueden presentar un alza o baja en la demanda de libros para la biblioteca bajo estudio.
5. Obtener, mediante el programa de simulación una base para analizar, posteriormente, el rendimiento del sistema de manera que se presente como valor agregado entre los servicios que ofrece el sistema universitario al que pertenecen las bibliotecas.
6. Describir el programa de simulación que se obtenga en este trabajo, de manera que sirva de base para programadores interesados en modelar sistemas similares.

Tomando en cuenta los objetivos, este trabajo de tesis está dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Cadenas de suministros y simulación. Se describe el concepto de cadenas de suministros y cómo se puede aplicar al sistema de préstamo entre bibliotecas. Se explica también el concepto de simulación y los pasos para realizar un estudio de simulación; se da también la razón por la que se utiliza esta técnica para estudiar un sistema de suministros.

Capítulo 2. Planteamiento, modelo conceptual y recopilación de datos. Una vez descritos los pasos para hacer un estudio de simulación se plantean, en este capítulo los primeros pasos que se refieren a la descripción del sistema, objetivos de medición, recolección de datos, elaboración y validación del modelo conceptual.

Capítulo 3. Selección del software, modelo, verificación y validación. Este capítulo está dedicado a la descripción del programa de simulación que se va a utilizar, y la elaboración de un modelo en computadora que cumpla con los objetivos del estudio de simulación y permita experimentar con el sistema.

Capítulo 4. Diseño de experimentos y análisis de resultados. En este capítulo se describen los experimentos realizados con el programa de simulación planteando situaciones diferentes de mayor o menor demanda. También se analizan los resultados de los experimentos y se dan las conclusiones finalizando el estudio de simulación.

# Capítulo I

## Cadenas de Suministros y Simulación

### **Introducción.**

Previamente se planteó la problemática del sistema. En este capítulo se aborda el tema de cadenas de suministros con el objeto de describir el concepto de manera que se pueda comprobar que se adapta a la problemática y al sistema bajo estudio. Posteriormente se plantea la simulación como una técnica para estudiar sistemas complejos, se presentarán algunos casos en los que se ha utilizado la simulación para solucionar los problemas que han surgido en la administración de la cadena de suministros desde que se empezó a utilizar el término. Finalmente, se hablará de la simulación de sistemas, y se presentará como una herramienta importante para la planeación, puesta en marcha y evaluación de la cadena de suministros, de manera que se pueda utilizar para abordar el problema del sistema de bibliotecas. También se plantean los pasos a seguir para elaborar un estudio de simulación.

### **1.1.La cadena de suministros.**

La forma de hacer negocios internacionalmente está cambiando y se habla de una nueva economía, nuevos paradigmas, nuevas industrias, nuevas teorías de negocios y un aumento general en la competitividad.

La administración de la producción en las organizaciones promueve la reducción de costos, el buscar mejores servicios, de mejor calidad y a bajo costo, reducir tiempos, buscar nuevos mercados y ahorrar en general. Esto, aunado al aumento en la tecnología de las comunicaciones y formas de establecer contacto a distancia, ha influido en la distribución geográfica de las organizaciones. La nueva distribución territorial de las compañías produce costos logísticos mayores y aumenta la necesidad de tener buenos canales de comunicación. El concepto de Cadena de Suministros surge para reducir los efectos negativos de esta nueva economía.

El término “Administración de la Cadena de Suministros” ( o SCM por sus siglas en inglés) parece haber emergido en los últimos años de la década de los 80’s y sigue ganando aceptación e interés. Actualmente existen muchos libros y artículos especializados en la cadena de suministros o en algún aspecto de ésta. También existen compañías consultoras dedicadas a solucionar problemas relacionados con la cadena de suministros. Aunque el término es relativamente nuevo, los problemas que aborda, tales como operaciones, predicción de la demanda, distribución, localización, planeación agregada, control de inventarios, entre otros, no lo son. La nueva aportación de la administración de la cadena de suministros es la visión holística del problema, en la que se maneja el flujo de materiales y de información entre los diferentes componentes de la cadena de forma integrada.

### **1.1.1 Definición de cadena de suministros.**

Se han propuesto diversas definiciones desde el surgimiento de la administración de la cadena de suministros. Aquí se presentan algunas de ellas.

Chase (2004) por ejemplo, propone que la cadena de suministros es aplicar un enfoque sistémico a la administración del flujo de información, materiales y servicios desde la materia prima, a través de fábricas y almacenes hasta el consumidor final. Esta definición involucra una serie de agentes que participan totalmente en el proceso de transformación y distribución de un producto. Además da un indicio de que la cadena de suministros no sólo se refiere al camino que sigue el producto en su transformación, sino al flujo de información y de servicios dentro de esta red de agentes dentro de la cadena.

Otra definición se encuentra en el foro dedicado a la cadena de suministros de la Universidad de Stanford (1999), donde se menciona que la administración de la cadena de suministros se encarga del manejo de los flujos de información, materiales y dinero dentro de una red que consiste en proveedores, fabricantes, distribuidores y consumidores. Analizando estas dos definiciones se puede observar que además de los materiales, existen otros elementos en movimiento dentro de la cadena, como lo son la

información, servicios y el dinero. Si se ve a la cadena como un sistema, es importante mantener un flujo de todos los factores mencionados dentro del sistema, ya que si se interrumpe, es probable que el resto de los elementos de la cadena sufran las consecuencias. Esta visión sistémica de la cadena se encontraba ausente ya que las compañías sólo se preocupaban por sus proveedores y clientes directos, no quiere decir que anteriormente no se afectara todo el sistema por la falla en uno de sus elementos, sino que antes no se tenía esta visión. Una empresa vista como un sistema con sus propios métodos y operaciones ya no es práctico, con el paso de los años, las compañías se han dado cuenta de la influencia recíproca que existe con otras entidades similares.

Una definición más amplia de cadena de suministros se presenta a continuación: “Es el conjunto de empresas integradas por proveedores, fabricantes, distribuidores y vendedores coordinados eficientemente por medio de relaciones de colaboración 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 en las cadenas de valor de los integrantes con el propósito de satisfacer los requerimientos de los consumidores finales” (Jiménez, 2000). Esta definición plantea que la cadena de suministros es la integración de procesos de varias organizaciones para mejorar los aspectos financieros, de distribución, servicios y rentabilidad de cada uno de los elementos que componen la cadena.

Otras definiciones para el término “cadena de suministros” se presentan a continuación:

- La cadena de suministros es la entrega al cliente de valor económico por medio de la administración sincronizada del flujo físico de bienes con información asociada de las fuentes de consumo (LaLonde, 1994).
- La cadena de suministro es un proceso que busca alcanzar una visión clara del suministro basado en el trabajo conjunto de clientes, consumidores y vendedores para anular los costos que no agregan valor, mejorando la calidad, el cumplimiento de los pedidos, mayor velocidad y para introducir nuevos productos y tecnologías (Anne Millen Porter, 1997).
- La cadena de suministro involucra a todas las actividades asociadas con la transformación y el flujo de bienes y servicios, incluidos el flujo de información, desde las fuentes de materia prima hasta los consumidores. Para una coordinación continua, existe la necesidad de poder medir, identificar y capturar



los grandes beneficios y costos de la cadena, creando mecanismos para distribuir información y ganancias de la colaboración a todos los miembros de la misma. (Ballou, et al. 2000).

- La administración de la cadena de suministros es un enfoque sistémico de la entrega de productos fabricados al cliente final, usando la tecnología de la información para coordinar los elementos de la cadena desde los proveedores de materia prima hasta los detallistas, alcanzando un nivel de integración que es una ventaja competitiva no disponible en un sistema logístico tradicional. (Fitzsimmons, 2004).

Tomando en cuenta las definiciones anteriores se puede concluir que la cadena de suministros es un concepto en el que todos los agentes involucrados en el proceso de crear un producto y llevarlo hasta el cliente coordinan sus actividades y procedimientos de manera que se pueda dar mayor valor al cliente con el producto o servicio que se le ofrece. Esta conclusión tiene dos implicaciones: primero, el concepto de cadena de suministros gira alrededor de crear valor al cliente, es decir, se entiende que el cliente o consumidor tiene requerimientos y necesidades más allá del producto que se le da y que cada agente en la cadena es responsable de cubrir una o varias necesidades; segundo, la cadena de suministros es una metodología que se puede aplicar a un grupo de empresas para agregar valor al cliente y no excluye o restringe al tipo de empresas que la forman.

### **1.1.2 Cadena de suministros para servicios.**

Las definiciones anteriores hablan acerca de la cadena de suministros como un sistema para bienes físicos, pero ¿es posible tener una cadena de suministros para servicios? Si tomamos la cadena de suministros como un enfoque en el que distintos agentes coordinan sus actividades para mejorar el servicio al cliente, entonces es posible contar con cadenas de suministros para servicios, aunque en distintos términos. Fitzsimmons (2004), menciona que la cadena de suministros para servicios es diferente a la cadena de bienes físicos debido principalmente a que existe una dualidad del cliente-proveedor. En una cadena de objetos físicos, el objeto es el que se transfiere de un elemento a otro en la cadena. Los servicios pueden ser considerados como una acción en la mente,

cuerpo, pertenencias e información de las personas. De esta manera, los servicios se hacen en “algo” que se provee por parte del cliente.

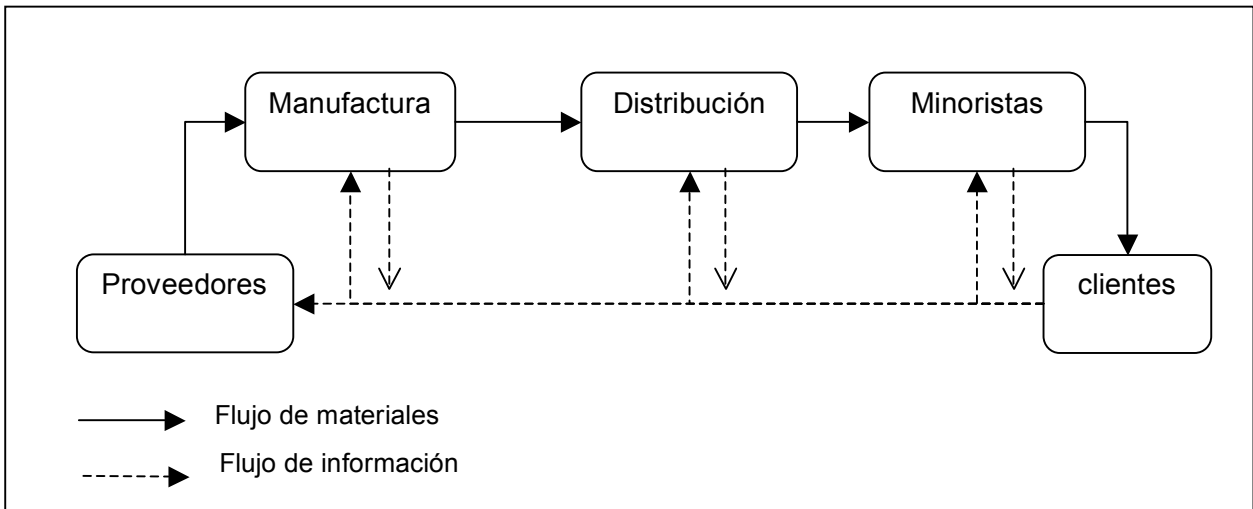


Figura 1.1 Cadena de suministros para bienes tangibles. Fuente: Fitzimmons 2004.

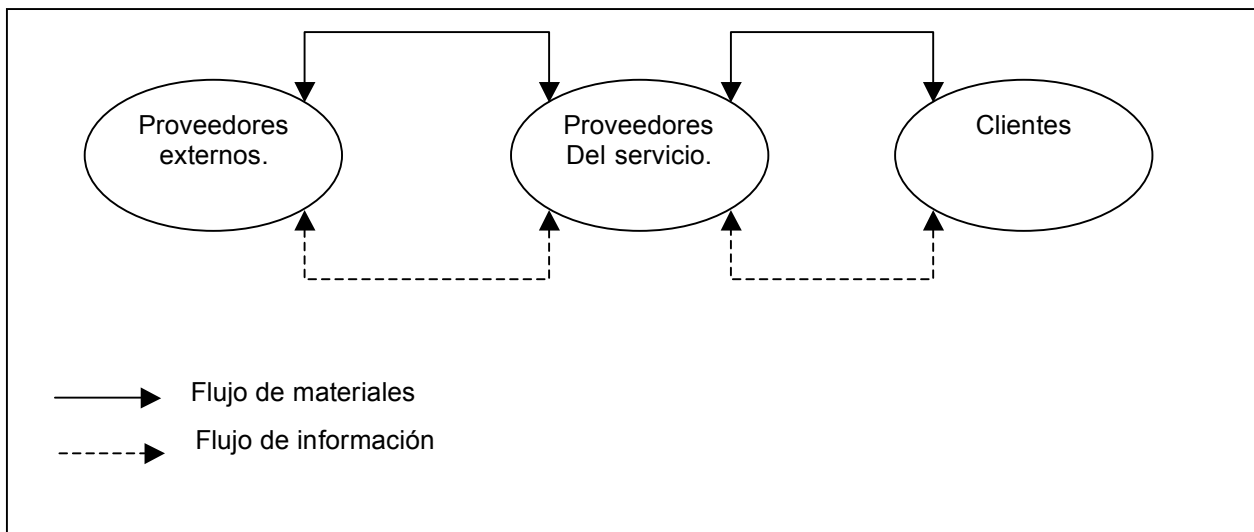


Figura 1.2. Cadena de suministros para servicios. Fuente: Fitzimmons 2004.

En la figura 1.2 se muestra un intercambio de materiales e información entre el cliente y el proveedor del servicio. Para que se realice el acto del servicio, el cliente aporta algo (materiales o información). Sin esta aportación por parte del cliente, el proveedor de servicios no puede dar el servicio solicitado.

En ocasiones puede ocurrir que el proveedor de servicios requiera material de fuentes externas para completar el servicio, por ejemplo, un mecánico puede necesitar ciertas piezas o partes para completar la reparación del automóvil, en este caso estamos hablando de un proveedor externo que participa en la cadena, sin embargo es muy difícil que la cadena se extienda más allá de estos niveles. En el caso del proveedor de servicios, se puede hablar de una o muchas empresas que presten el servicio al cliente de manera conjunta.

A diferencia de la cadena de suministros para bienes tangibles, en los servicios no existe la parte de inventarios, salvo que se refiera a los materiales necesarios para llevar a cabo el servicio. Pero en sí un servicio no se puede guardar, se crea y se consume en el mismo instante. Un inventario de servicios es similar a calcular la capacidad de servicio que tiene el proveedor.

Otra diferencia muy marcada entre los dos tipos de cadenas de suministros es el resultado del servicio que se le da al cliente. En una cadena que trabaja con bienes tangibles, el producto en esencia es el mismo para todos los clientes, éstos saben, o pueden tener la misma expectativa para el producto que reciben. Sin embargo, cuando se habla de servicio, la aportación del cliente es muy importante y varía dependiendo de las características de éste. En otras palabras, el resultado del servicio (producto del servicio) está sujeto a la disposición del cliente para recibirlo. Esta situación hace que aumente la importancia de la aportación del cliente y de la comunicación entre ambos.

### **1.1.3 La logística y la cadena de suministros.**

Es importante mencionar la diferencia que existe entre el término “cadena de suministros” y “logística”. En ocasiones estos dos conceptos se pueden confundir o usar indistintamente. De acuerdo a Chase (2004), la logística es un término que se refiere a la administración de funciones de soporte del ciclo completo de los materiales, desde la compra y producción, la planeación y control del trabajo en proceso, hasta la compra, embarque y distribución del producto terminado. Jiménez (2000) une los términos “logística”, “distribución física”, “administración de materiales” y “administración logística” bajo el un concepto que se refiere al control y administración de los flujos de

materia prima, mercancías e información. Siguiendo estas definiciones, se puede entender a la logística como la parte de la cadena de suministros que se encarga de lo relacionado con el flujo de materiales a lo largo de ésta. Sin embargo, este flujo de materiales no puede desligarse del flujo de información. La producción de cada eslabón dentro de la cadena, con la exigencia de hacer un trabajo más práctico, está sujeta a la demanda que recibe de los elementos que se encuentran más cerca del cliente. En otras palabras, la información acerca de la demanda de suministros es la que dicta las cantidades y tiempos de producción y distribución de materiales y productos terminados. De esta manera, la logística toma un sentido más amplio que el de sólo enfocarse al flujo de materiales. Tomando en cuenta estos aspectos, se puede decir que la logística queda comprendida dentro de la cadena de suministros. La misma cadena de suministros es “logística” pero fuera de la misma empresa.

La logística busca administrar estratégicamente la adquisición, el movimiento, el almacenamiento de productos y el control de inventarios, así como todo el flujo de información asociado, a través de los cuales la organización y su canal de distribución se encauzan de modo tal que se maximice la rentabilidad a largo plazo de la empresa.

Ballou (1991) define la logística como la actividad que abarca todas las actividades relacionadas con el traslado – almacenamiento de productos que tienen lugar entre los puntos de adquisición y los puntos de consumo.

La logística determina y coordina en forma óptima el producto correcto, el cliente correcto, el lugar correcto y el tiempo correcto. El rol de la logística será por lo tanto satisfacer la demanda proyectada.

Solamente a través de un profundo análisis de la demanda es posible determinar el punto de partida para el logro del resultado final de la actividad logística, atender dicha demanda en términos de costos y efectividad.

La logística dentro de la empresa depende del alcance que cada compañía le dé a la actividad, es decir, no es fácil agrupar una serie de actividades como actividades logísticas ya que pueden pertenecer a otras áreas de acuerdo a la política de cada

empresa. Sin embargo, se pueden mencionar cuatro actividades importantes que pertenecen a la logística:

a) El servicio al cliente. Es un proceso clave de la logística ya que todos los otros procesos están enfocados a mejorar el servicio al cliente. En otras palabras, todas las actividades dentro de la cadena de suministros deben de agregar valor para el cliente en mayor o menor grado, de no ser así, no hay razón para que existan dichas actividades. Los estándares de servicio al cliente fijan el rendimiento y la rapidez con la cual se lleva a cabo la actividad logística. El servicio al cliente debe llevarse a cabo en las etapas de preventa, venta y posventa. Los puntos a considerar dentro del proceso de servicio al cliente incluyen: determinar las necesidades del cliente, determinar la respuesta del cliente al servicio que le presta, y establecer los niveles de servicio al cliente. En resumen, para aumentar la calidad del servicio al cliente es necesario mostrar empatía con él, es decir, tratar de observar las necesidades del cliente desde su punto de vista.

b) Procesamiento de pedidos. Este proceso es clave ya que, aunque no representa el porcentaje de costos que tienen la gestión de inventarios o el transporte, sí agrega valor para el cliente en tiempo. Es un elemento importante que determina el tiempo total para que un cliente reciba el producto final. En este proceso tiene su inicio el movimiento del producto. En la mayoría de las cadenas de suministros, los requerimientos del cliente se transmiten mediante órdenes o pedidos. El procesamiento de estos pedidos involucra todos los aspectos de administración de los requerimientos del cliente desde la recepción de los pedidos hasta la distribución, facturación y entrega. Los puntos importantes a considerar dentro del procesamiento de pedidos incluyen: interacción entre la gestión de pedidos y la de inventarios, métodos de transmisión y procesamiento de información sobre pedidos y reglas para la confección de pedidos. La tecnología de información actual puede manejar enteramente los requerimientos del cliente en tiempo real. El beneficio que aporta el flujo rápido de información se relaciona directamente con la cantidad de trabajo que se realiza en el procesamiento de pedidos. La comunicación vía Internet del consumidor con el fabricante, combinado con un servicio rápido de entrega resulta en un servicio de entrega del producto a un menor costo, y por lo tanto un valor agregado al cliente.

c) La gestión de inventarios. Este proceso se considera clave ya que en él recae la decisión de suministrar los productos de forma instantánea o en periodos regulares. El principal objetivo de la gestión de inventarios es asegurar la disponibilidad del producto para cuando el cliente lo requiera. Los puntos a considerar en la gestión de inventarios incluyen: políticas de inventarios a nivel de materia prima y productos semi-terminados y terminados, proyección y programas de ventas, gestión de inventarios en almacenes, número, tamaño y localización de almacenes y estrategias de entrada y salida de productos de almacenes. Los productos almacenados en el inventario se consideran como un costo ya que la mercancía no ha sido vendida y, por lo tanto, no se ha obtenido una ganancia por esos productos. Debido a esto, un objetivo clave en la administración de inventarios es alcanzar una rentabilidad máxima de inventarios mientras se satisfacen los requerimientos de servicio al cliente. Bowersox (2002) propone una estrategia para lograr esta meta basada en cinco aspectos: segmentación de los clientes, utilidad del producto, integración de los sistemas de transporte, actividades basadas en el tiempo y desarrollo competitivo. De esta manera, el compromiso de una empresa para distribuir sus productos de manera rápida con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente se convierte en un factor importante de competencia. Si la mercancía puede ser entregada rápidamente, no hay necesidad de mantener grandes cantidades de inventario.

d) El transporte. La definición de transporte dada por Islas (1992) es: “el transporte es un proceso tecnológico, económico y social cuya función es trasladar personas y cosas de un lugar a otro a través del espacio. Se dice que es un proceso porque consta de una serie de actividades que se repiten constantemente como son cargar, desplazarse, descargar, volver a cargar, etc. Es tecnológico porque involucra el uso de diversos conocimientos técnicos con fines productivos. Es económico y social porque representa una condición indispensable para el desarrollo de las actividades productivas y de interrelación social”. En logística, el transporte es un área operacional que mueve y posiciona inventario. Es difícil imaginar una empresa moderna que funcione sin el movimiento de sus materias primas, o sus productos terminados, más aún si se quiere agregar valor al cliente y colocar el producto a su alcance mejor y más rápido que los competidores.

Este proceso incluye: selección del modo y medio de transporte, consolidación de envíos, establecimiento de rutas de transporte y la gestión de la flota de vehículos de transporte (propia y/o terceros).

Sobra mencionar la importancia de una buena elección del modo de transporte (terrestre, aéreo, marino), ya que una buena o mala elección puede incrementar o reducir los costos logísticos totales de manera significativa. Además se deben analizar las ventajas del tipo de vehículos que se pueden utilizar, ya sea vehículos de transporte general o de características especiales, y si es mejor tener vehículos propios o contratar los servicios de terceros.

Existen tres factores importantes que intervienen en la calidad del transporte (Bowersox, 2002) que son costo, rapidez y consistencia. El costo del transporte es el pago por envío entre dos lugares geográficamente separados, además del costo de mantener un inventario en tránsito. La rapidez del transporte se refiere al tiempo requerido para completar un viaje específico. Generalmente se relacionan costo y rapidez en el sentido de que un servicio de transporte rápido es más costoso, de esta forma, para seleccionar un modo de transporte adecuado se debe hacer un balance entre costo y rapidez. Finalmente, la consistencia en el transporte se refiere a las variaciones en el tiempo requeridas para llevar a cabo un movimiento de mercancía en un número de envíos. La consistencia es el componente más importante en la calidad del transporte, ya que proporciona una idea exacta del tiempo total que requiere un envío.

De estos procesos, los que absorben la mayor cantidad de los costos logísticos, son el transporte y la gestión de inventarios. Sin embargo también son los procesos que mayor valor agregan, el transporte agrega valor de distribución y de lugar, mientras que la gestión de inventarios agrega valor de tiempo. La gestión de inventarios está ligada al transporte, por ejemplo, la elección de modos de transporte de productos está basado en el volumen y tamaño de los cargamentos específicos. De manera que para elaborar un cargamento se debe tener un inventario con una mezcla adecuada de productos.

En conjunto estas actividades logran la satisfacción del cliente y da a la empresa reducción de costos, que es uno de los factores por los cuales las empresas están obligadas a enfocarse a la logística.

Otras actividades que incluye el concepto de logística son las llamadas actividades de soporte, que incluyen:

a) Almacenamiento. Se refiere al espacio físico destinado como almacén. La diferencia con la gestión de inventarios, que fue descrito anteriormente, es que este último proceso se refiere a una serie de procedimientos para manejar los productos dentro del este espacio físico. Algunas actividades relacionadas con el almacenamiento incluyen: determinación del espacio de almacenamiento, diseño de almacén y de los muelles de carga y descarga, configuración del almacén, ubicación de los productos en el almacén, etc.

b) Manejo de mercancías. Como el resto de los procesos de soporte, el manejo de mercancías puede existir en menor o mayor grado dependiendo de la empresa. Este proceso se refiere a la manera en que se debe tratar el producto en sus diferentes etapas. Los productos en cada etapa del proceso logístico, deben ser recibidos, trasladados, almacenados, acomodados y agrupados para elaborar las órdenes y pedidos del cliente. El trabajo y equipo que se invierte en el manejo de materiales influye de manera importante en el costo logístico total. Si el producto no se maneja con cuidado puede resultar en un costo por daño o pérdida del producto. Sobra decir que un producto sujeto a una menor cantidad de movimientos y traslados tiene menos riesgo de sufrir daños. Algunas actividades dentro del manejo de mercancías incluyen: selección del equipo, procedimientos de preparación de pedidos / lotes, almacenamiento y recuperación de mercancías.

c) Compras. En ocasiones, las compras de material se consideran como actividades de producción más que de logística, sin embargo tienen un impacto directo en el costo del producto y en el tiempo total de entrega del mismo. Las actividades de este proceso incluyen: selección de las fuentes de suministro, programación de los requerimientos y selección de oportunidades de compra.

d) Planificación del producto. Al igual que las compras de material, este proceso se considera dentro de la producción, sin embargo está relacionado directamente con el manejo de inventarios y la elección del modo de transporte. Algunas actividades de este



proceso incluyen: especificación de materias primas y productos semi-terminados y programación de secuencias de entrega vinculadas a ciclos de producción.

e) Empaque. Este proceso se considera de soporte ya que no todos los productos necesitan el mismo nivel de protección, sobre todos si se habla de materias primas. En general, el empaque del producto está relacionado con la protección, la presentación y la localización del producto. Además, el proceso de empaque ayuda a facilitar la eficiencia en el manejo de materiales; el producto fabricado en latas, botes o cajas, se agrupa en unidades más grandes, con la ventaja de que el producto tiene una mayor protección a lo largo del proceso logístico y disminuye el tiempo de manejo de material, ya que una unidad grande requiere menos tiempo en su movimiento, que el tiempo que se requiere para mover una gran cantidad de unidades pequeñas. Algunas actividades de este proceso incluyen: diseño de envase, empaque y embalaje en función al manejo del producto, almacenamiento, nivel de protección del producto.

f) Gestión de información. El flujo de la información identifica los requerimientos de cada agente dentro de la cadena de suministros. Existen distintos requerimientos respecto al tamaño del pedido, inventario y transporte de mercancías. La gestión de la información tiene como objetivo administrar los distintos requerimientos para incrementar la calidad en la cadena de suministros. Algunas actividades de este proceso incluyen: recolección, almacenamiento y tratamiento, análisis de datos, procedimientos de control.

Estas actividades, junto con un mejor manejo de las líneas de producción y de inventarios, un mejor y más confiable sistema de información, y el desarrollo de estrategias como JIT, trae beneficios a la empresa tales como:

- Incrementar la competitividad y mejorar la rentabilidad de las empresas ante el reto de la globalización.
- Optimizar la administración logística comercial nacional e internacional.
- Coordinación óptima de todos los factores que influyen en la decisión de compra: calidad, confiabilidad, precio, empaque, distribución, protección, servicio.

- Ampliación de la visión gerencial para convertir a la logística en un modelo, un marco, un mecanismo de planificación de las actividades internas y externas de la empresa.

La tabla 1.1 resume las actividades principales y de soporte de la logística.

Actividades Principales:	Actividades de Soporte:
Servicio al cliente	Almacenamiento
Procesamiento de pedidos	Manejo de mercancías
Gestión de inventarios	Compras
Transporte	Planificación del producto
	Empaque
	Gestión de la información

Tabla 1.1. Actividades principales y de soporte de la logística.

#### 1.1.4 La logística inversa en la cadena de suministros

La logística inversa tiene el mismo significado que logística pero en sentido inverso. Es decir, es la serie de actividades que abarcan el traslado y almacenamiento de productos y flujo de información, pero ahora, desde el punto de consumo hasta el punto de origen de forma eficiente, con el propósito de recuperar parcial o totalmente el valor del producto, o la devolución en sí del mismo.

Siguiendo esta definición, la logística inversa se encarga del retorno de mercancías en la cadena de suministros, que al igual que en el envío, se pretende hacer de la forma más efectiva y económica posible. En otras palabras, la logística inversa es un flujo hacia atrás en la cadena de suministros.

La devolución de productos del consumidor al fabricante o distribuidor se asocia generalmente con un disgusto del consumidor con el producto debido al mal funcionamiento de éste o simplemente a que el producto no cumplió con las expectativas del cliente. Sin embargo, y sobre todo en años recientes, muchas empresas se ven obligadas a tener un proceso de recuperación o reciclado de muchos productos de

consumo por ejemplo, envases y embalajes, componentes de automoción, material eléctrico y electrónico, residuos peligrosos, además de las ya mencionadas devoluciones de clientes de productos defectuosos u obsoletos, excesos de inventarios y rotación de productos.

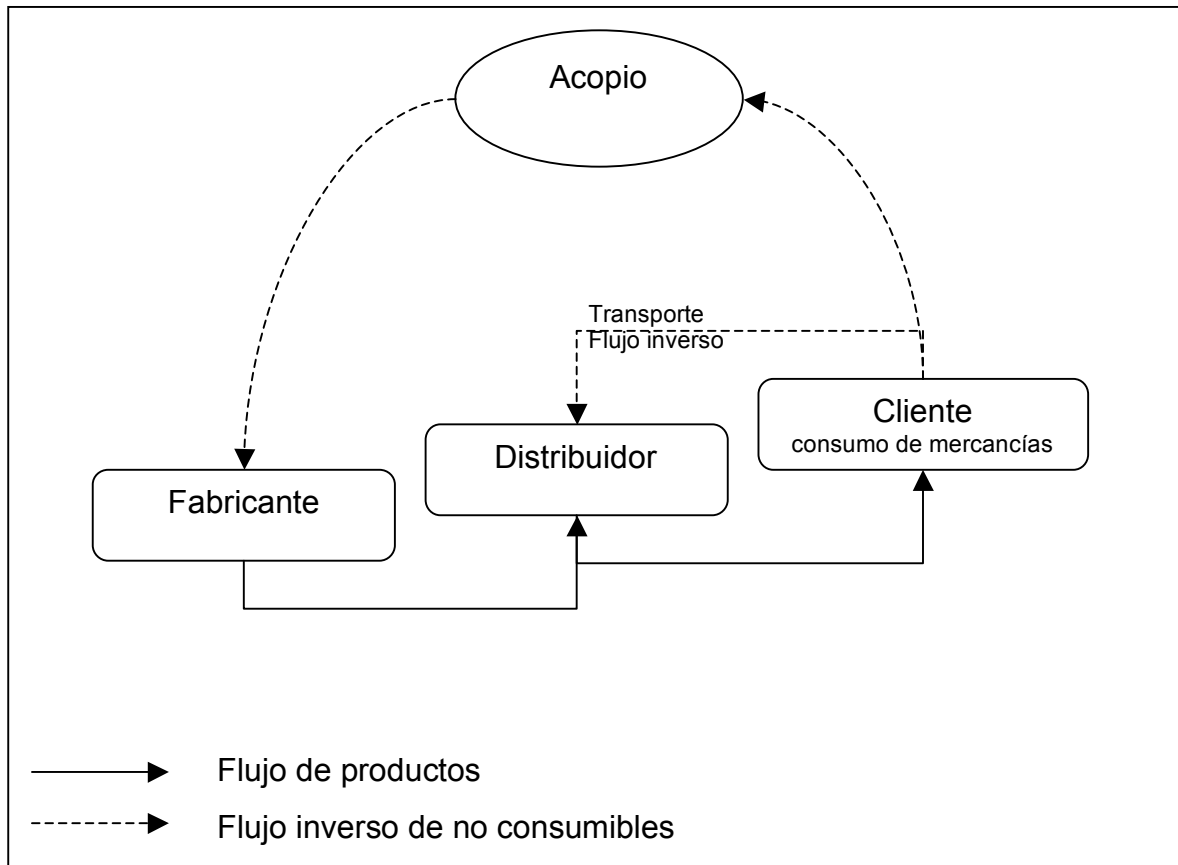


Figura 1.3. Flujo directo e inverso de mercancías. Fuente: Elaboración propia basado en Antún 2004.

Por la importancia de la recuperación de materiales dentro de la cadena de suministros, las empresas se ven obligadas a modificar sus procesos productivos haciendo los productos más fáciles de recuperar, además de modificar la distribución de los mismos, con el fin de simplificar los procesos de distribución y recuperación en uno solo. El concepto de logística inversa está ganando la atención de las empresas ya que es una nueva área de oportunidad para reducir costos.

Los motivos principales para considerar un estudio de logística inversa dentro de la empresa se pueden agrupar en:

- Reducción de costos. La reducción del costo del producto va ligada con la recuperación del valor del envase o el empaque en forma de reciclaje o en algunos casos de re-uso del mismo.
- Responsabilidad social. Con mayor frecuencia se consumen productos que sean seguros de usar, amigables con el medio ambiente, no contaminantes, etc. Lo que representa para las empresas un nuevo nicho de mercado de compradores que desean consumir de “manera correcta”. Para lograr alcanzar este grupo de consumidores es necesario tomar medidas de seguridad y limpieza tanto para los productos como para sus envases.
- Naturaleza del negocio. Existen productos cuya naturaleza es ser creados para un número grande de usuarios diferentes, lo cual implica la devolución física del producto una vez usado. Dentro de este rubro se pueden agrupar todos los servicios de renta, como automóviles, libros y videos.
- Requerimientos legales. En algunos casos, las empresas se ven obligadas, ya no por la presión social, sino legal, a proteger la salud y el ambiente mediante la recolección de residuos que puedan causar algún daño.

La administración de la logística inversa tiene una repercusión directa en actividades importantes de la empresa:

- a) Compras. La empresa debe poner atención en la selección de proveedores, así como en el tipo de materias primas, empaque, partes, componentes, de manera que éstos sean más fáciles de recuperar en los casos en los que la empresa lo requiera.
- b) Diseño del producto. Se modifican las actividades de diseño y manufactura del producto, así como los materiales que se utilizan, de manera que se tengan productos que puedan ser re-usados o reciclados por la empresa.
- c) Fomentar el reciclado. Implica la modificación de las políticas de la empresa para reducir el uso de materias primas vírgenes, siempre que se respeten los

estándares de calidad del producto. Implica también el estudio e investigación de nuevas tecnologías que permitan utilizar materiales reciclados. El incremento en los procesos de reciclado, exige que se utilicen nuevos materiales, sustitutos para los que comúnmente se usan, es decir, materiales que cumplan las mismas funciones pero que agreguen valor, como es el caso de los plásticos, aluminio y materiales compuestos.

- d) Administración de residuos. Consiste en hacer una evaluación de los costos de rechazo o de aceptación de residuos. En ocasiones puede ser más costoso el proceso de desecho de materiales, o simplemente el hecho de deshacerse de ellos, que llevar a cabo un proceso de re-uso.

Para tener una adecuada dirección de logística inversa, se necesita de varios elementos que, organizados como un sistema, permitan el flujo de materiales en ambos sentidos dentro de la cadena.

Finalmente se puede decir que en vistas de una mejor competitividad, las empresas deben poner más atención al enfoque logístico inverso de manera que los procesos inversos no influyan directamente en el costo del producto.

#### **1.1.5 Relación con el sistema bajo estudio.**

Los conceptos de logística y cadena de suministros que se han explicado a lo largo del capítulo, se pueden aplicar a un sistema de préstamo entre bibliotecas bajo los siguientes supuestos:

- a) Una Biblioteca es una empresa de servicios, ya que requiere de la aportación de información por parte del usuario para comenzar el proceso de servicio. Si se habla de muchas bibliotecas conectadas y organizadas para incrementar el servicio al cliente se puede utilizar el enfoque de cadenas de suministros para una empresa de servicios, tomando en cuenta que se manejan productos físicos como se hace en una cadena de suministros para bienes.

- b) El servicio que presta una biblioteca incluye tanto el almacenaje como el transporte de material y si éste se lleva a cabo entre bibliotecas, además implica un flujo inverso, ya que este material se debe regresar. Las bibliotecas se deben preocupar tanto por el envío como por el regreso de material.

Una vez que el sistema de bibliotecas se plantea como un sistema de suministros, se puede hacer un estudio del funcionamiento de esta red de bibliotecas. En adelante se debe de establecer una metodología para llevar a cabo este estudio tomando en cuenta los objetivos y las características del sistema.

Un estudio de cadenas de suministros no es sencillo, ya que se tiene un gran número de elementos y una serie de conexiones distintas entre ellos. Además, el sistema cambia respecto al tiempo. No es fácil encontrar una técnica exacta con la que se pueda abordar este tipo de problemas en sistemas tan complejos.

Una metodología que sirve para este tipo de análisis es la simulación. En la siguiente sección se explica la manera en la que se puede abordar la problemática mediante la técnica de simulación y se dan ejemplos de casos similares en los que se ha empleado.

## **1.2 Simulación de sistemas.**

Se puede definir un sistema como un conjunto de partes relacionadas entre sí para lograr un objetivo determinado. Existen diferentes tipos de sistemas dependiendo del número de elementos que contengan y de a manera en la que estos elementos se relacionan.

La complejidad de un sistema aumenta de acuerdo al número de elementos y sus interrelaciones. Es decir un sistema simple tiene pocos elementos y un número reducido de relaciones entre ellos, o bien, puede tener un gran número de elementos pero poco relacionados entre sí, por ejemplo una máquina simple de poleas o palancas. En cambio un sistema complejo cuenta con un gran número de interrelaciones entre sus elementos, por ejemplo un sistema social, en el que cada individuo puede relacionarse con otro e interactuar de muchas maneras distintas.

Mientras más complejo sea un sistema, es más difícil representarlo, analizarlo o estudiarlo.

En el momento de estudiar un sistema organizacional, por ejemplo: un almacén, un sistema de transporte o distribución, una cadena de suministros. Es necesario tomar decisiones sobre las acciones que afectan al sistema. Estas decisiones deben contribuir a que éste alcance de mejor manera sus objetivos. Sin embargo, mientras mayor sea la complejidad del sistema, cada una de las acciones puede repercutir en un mayor número de elementos del mismo, por lo que se hace cada vez más difícil predecir los efectos que una sola acción tendrá en todo el sistema.

### **1.2.1 Las cadenas de suministros como un sistema dinámico y complejo.**

Las cadenas de suministros son sistemas de naturaleza compleja debido al gran número de componentes que las forman y a la interacción entre estos componentes.

Con el surgimiento de la globalización, una empresa se ve obligada a modificar sus procesos de producción y comercialización para responder y satisfacer la demanda de los clientes. Este proceso de reingeniería se lleva a cabo bajo una visión holística del proceso que tiene el producto, desde la concepción hasta su entrega final llamada cadena logística o cadena de suministros. Se había definido anteriormente la cadena de suministros como la aplicación de un enfoque sistémico a la administración del flujo total de información, materiales y servicios desde la materia prima a través de las fábricas y bodegas hasta el consumidor final.

Esta definición implica que una empresa dentro de determinada industria debe conocer los procesos de sus proveedores y consumidores, lo que hace que crezca la cantidad de elementos en el sistema logístico y sus diferentes interacciones, aumentando la complejidad del mismo. Bansal (2003) plantea seis pasos para planear una cadena de suministros, cada uno llevado a cabo de manera colaborativa entre las empresas dentro de la cadena: diseño de la cadena, planeación de la demanda, planeación de los

suministros, planeación de la distribución, planeación de la producción, planeación del transporte.

Dadas las actividades a realizar por las empresas componentes de la cadena para aumentar su eficiencia, se hace difícil la administración de la misma. Hoang y Azadivar (2003) plantean la administración de la red de suministros como una tarea compleja debido a que los diferentes componentes de la cadena tienen diferentes objetivos. Por esta razón el administrar una cadena de suministros implica el manejo de un gran número de variables de decisión tanto las que se refieren a localización, producción, distribución y predicción de la demanda, como las variables de procedimientos y políticas, que generalmente son distintos en cada uno de los componentes de la cadena y no siempre están encaminados al mismo objetivo. Kara (2006) argumenta que la complejidad de una cadena de suministros en ambos sentidos (directo e inverso) es mayor debido a que existe un alto grado de incertidumbre acerca de la calidad y cantidad de los productos que se puedan recuperar después de ser usados.

La administración de un componente de la cadena, implica ya cierta complejidad en el sentido de que se llevan a cabo una serie de operaciones en puntos de almacenamiento conectados en el flujo de materiales. En la cadena de suministros varias organizaciones pueden estar involucradas en el proceso logístico, cada una con su propia política y forma de hacer las cosas. Raramente existe personal familiarizado con todos los sistemas en diferentes plantas o compañías (Persson y Olhager, 2002)

Sumado a la complejidad de la cadena debido a sus elementos e interacciones, ésta se caracteriza por ser de naturaleza dinámica, es decir, sus componentes cambian con el paso del tiempo.

Sunil y Meindl (1992) mencionan que una cadena de suministros es un sistema dinámico e involucra un flujo continuo de información y productos entre diferentes etapas. Cada etapa de la cadena de suministros lleva a cabo diferentes procesos e interactúa con otras etapas de la cadena. Por su parte, Hoang y Azadivar mencionan que la cadena de suministros es un sistema complejo que evoluciona con el tiempo, la demanda y la capacidad de los proveedores cambia con el tiempo y las interrelaciones entre los elementos también cambian con el tiempo.



Para ilustrar la naturaleza dinámica de la cadena se puede mencionar el llamado efecto látigo, definido por Chase (2004) como “la magnificación en la variabilidad de la demanda mientras se mueve desde el consumidor hasta el productor en la cadena de suministro”. Higuchi y Trout (2004) ejemplifican el efecto látigo al llevar a cabo un estudio de simulación dinámica para analizar este factor y la distorsión de la información que se produce en el caso de un producto de ciclo de vida corto de la empresa japonesa Bandai, dedicada a la elaboración de juguetes. En este ejemplo se puede observar cómo la información del minorista tarda en llegar al fabricante, el cual tiene una percepción equivocada de la demanda. Así aumenta la producción sin que en ese momento, o en el momento en el que el producto llega al consumidor, se aseguren los volúmenes de venta proyectados.

Al elemento mencionado anteriormente, se suma la incertidumbre de la demanda, de los tiempos de proceso, producción y transporte, y de los suministros en cada elemento de la cadena, debida a eventos aleatorios, imprecisión, falta de evidencia o falta de credibilidad de la evidencia (Petrovic, 2001).

### **1.2.2 Uso de la simulación.**

La simulación es una técnica de la Investigación de Operaciones que consiste en formular un modelo que se ajuste o represente un sistema real para poder llevar a cabo experimentos con él, con el fin de entenderlo y así entender el comportamiento del sistema real que representa. Es una técnica adecuada para la administración, planeación y evaluación de sistemas complejos y dinámicos como lo es una cadena de suministros.

Para predecir la forma en la que el sistema responderá a ciertas acciones es necesario experimentar con él. Sin embargo, la experimentación sobre un sistema no siempre es factible debido a costos, tiempo, distancias, seguridad, etc. Es por esta razón que en lugar de tomar el sistema real bajo estudio, se experimenta con un modelo que represente de la mejor manera el sistema real. Al experimentar con un modelo, se evitan los inconvenientes planteados anteriormente.

El enfoque de cadenas de suministro tiene el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso logístico. Sin embargo, debido a la complejidad y naturaleza dinámica que presenta el sistema, no es posible encontrar un modelo que cubra todos los aspectos de la cadena. Gooding, Sarjoughian y Kempf (2003) explican que esta situación requiere mucha experimentación para formular y validar las políticas de control y que a menudo se incurre en grandes costos, por lo que la modelación y simulación del sistema es una alternativa viable.

Person y Olhager (2002) mencionan que para analizar la cadena de suministros es necesaria la simulación ya que puede manejar el comportamiento estocástico a través de la cadena, de esta manera se pueden evaluar situaciones de líneas de espera y otros fenómenos basados en la incertidumbre de tiempos de operación y transporte.

Muñoz (2003) menciona que debido a la capacidad de modelar sistemas complejos, la simulación se convierte en una herramienta poderosa para evaluar el desempeño de una cadena de suministros, en especial para analizar el desempeño de las políticas de inventarios.

### **1.2.3 Casos en los que se ha usado la simulación en la cadena de suministros.**

Nersesian y Boyd (1996) mencionan que cuando el procedimiento analítico se vuelve muy complejo, los procedimientos heurísticos son comúnmente aceptados y dan resultados. Las técnicas heurísticas como la simulación, no proveen de un resultado exacto al sistema que se estudia, sino que plantean una respuesta aproximada.

Person y Olhager (2002) llevan a cabo un estudio de simulación para una cadena de suministros de productos de comunicación móviles. El estudio de simulación se lleva a cabo para evaluar los componentes de la cadena en tres diferentes situaciones: la cadena de suministros anterior, actual y futura. Para cada uno de estos modelos se llevan a cabo todos los pasos de la simulación.

Muñoz (2003) propone un enfoque Bayesiano en el que incorpora información del escenario que se va a modelar, así como información de periodos anteriores

correspondiente a distribuciones de probabilidad de un modelo de simulación. De esta manera reduce la incertidumbre asociada a la información que se tenga de estudios anteriores, que generalmente es utilizada para alimentar los modelos de simulación. En otras palabras, se utiliza la simulación con datos que corresponden al escenario actual combinados con datos de escenarios anteriores. Es importante mencionar que debido a las fluctuaciones de las variables en la cadena de suministros, los datos de escenarios anteriores no siempre son una fuente confiable de información para futuros escenarios.

Rossetti y Chan (2003) desarrollaron un marco de simulación de cadenas de suministro para facilitar el análisis dinámico de esos sistemas. Mediante este estudio se identificaron y analizaron los elementos fundamentales necesarios para modelar situaciones de cadenas logísticas mediante simulación.

Williams y Gunal (2003) utilizan un software de simulación llamado SimFlex<sup>TM</sup> para el análisis de cadenas de suministro, que ofrece ventajas para modelar redes logísticas y es compatible con otros programas de computadora.

Tan, Zhao y Taylor (2003) presentan un ejemplo de una cadena de suministros distribuida en diferentes puntos geográficos en la que cada elemento tiene un programa de simulación propio, los cuales se integran mediante una arquitectura de alto nivel (HLA). Esta serie de programas distribuidos tienen un lenguaje común.

Walsh, Sawhney y Bashford (2003) presentan un estudio de simulación para la industria de la construcción. En este caso se puede observar cómo la simulación ayuda a tomar decisiones en un ambiente de incertidumbre en donde los costos varían respecto al tiempo.

Dalal, Bell, Denzien y Keller (2003) explican la necesidad de que algunos modelos de simulación utilicen un tiempo de “calentamiento” dependiendo de los datos con los que se trabajan. Después proponen una manera de alimentar un programa de simulación con datos reales provenientes de una base de datos de distribución en una cadena logística de automóviles.

Truong y Azadivar (2003) abordan un problema de Diseño de una cadena de suministros mediante un enfoque que involucra la combinación de algoritmos genéticos, programación entera mixta y simulación. En este estudio se consideran diferentes variables de decisión como ¿fabricar o comprar? selección de socios, planeación de la producción en inventarios en cada etapa de la cadena, localización y capacidad de la producción. La simulación juega un papel importante en la evaluación de costos y nivel de servicio al cliente en la cadena.

Stchedroff y Cheng (2003) modelan un sistema de flujo continuo de combustible mediante variables discretas que se refieren a eventos que suceden respecto al tiempo. Utilizan programación lineal y simulación. En este ejemplo la simulación es importante para la generación de eventos dentro de la cadena.

Sen, Pokharel y Yulei (2004) construyen un modelo matemático para mejorar la estrategia de una compañía dentro de la cadena de suministros. Para el modelo se toman en cuenta factores como el ciclo de vida del producto, cambios de precio, y el nivel de servicio al cliente. La simulación se utiliza para analizar diferentes situaciones no existentes cambiando algunas de las variables.

Reiner y Trcka (2004) analizan el efecto látigo en una cadena de suministros usando simulación. Modelan el comportamiento de la demanda desde los minoristas, el centro de distribución y el productor encontrando resultados interesantes al concluir que en este ambiente de simulación, el efecto látigo no siempre se elimina al reducir el número de componentes en la cadena.

Costantino (2005) utiliza un algoritmo de planeación de rutas de vehículos para simular los efectos que tendría el cierre de centros de distribución de oxígeno medicinal en una cadena de suministros en Italia. El oxígeno medicinal es distribuido en cilindros y una vez que se usa, se debe recoger el cilindro vacío. Además existe un tiempo máximo de entrega de cilindros debido a que un retraso podría poner en riesgo la salud de los usuarios del gas. En este trabajo se prueban distintos escenarios en los que se cierran uno o dos centros de distribución y se analiza la capacidad de los centros de distribución restantes de manera que se puedan entregar los cilindros llenos a tiempo y se puedan recoger los cilindros vacíos en el menor número de viajes posible.

Kara (2006) utiliza el programa de simulación Arena para simular una cadena de suministros en la que se distribuye una serie de productos y se recogen después de ser usados de manera que se pueda reciclar el material. El objetivo del estudio es determinar la mejor localización de la planta de recolección y desensamble del producto a reciclar.

#### 1.2.4 Tabla resumen de los artículos analizados.

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Aspectos de la cadena considerados.</b>	<b>Objetivo de la simulación</b>	<b>Software</b>
Persson, Olhager	2002	Flujo de materiales, procesos, instalaciones.	Evaluar distintos diseños de cadenas de suministros tomando en cuenta parámetros como calidad, tiempos y costos.	Taylor II
Bansal	2003	Toma en cuenta todos los elementos de la cadena en la fase de planeación.	Crear escenarios futuros para la planeación de la cadena.	SAP
Dalal, Bell, Keller	2003	Distribuidor. El sistema de distribución.	Evaluar un sistema de simulación que se integra con la base de datos del sistema de distribución para iniciar la simulación con un periodo de calentamiento.	VIN – VISION VIN – LOGIC
Godding, Sarjoughian	2003	Flujo físico de materiales y flujo de información dentro de la cadena.	Modelar y analizar los diferentes flujos dentro de la cadena y las conexiones entre ellos. Buscar una forma de ahorrar en	DEVJAVA

			experimentos sobre los flujos en la cadena.	
Hoang, Azadivar	2003	Considera todos los aspectos. Al ser un esquema híbrido, divide los componentes de la cadena en cualitativos y cuantitativos	Evalúa el desempeño de cada cadena con relaciones no lineales y complejas. La simulación es un paso dentro del esquema de AG en el artículo.	El programa de simulación fue diseñado usando Java.
Muñoz	2003	Predicción de la demanda del fabricante. Ventas directas.	Experimentar con información aleatoria que se introduce al programa de simulación.	Se crea un modelo para la información que entra a la simulación.
Reiner Trcka	2003	Efecto látigo.	Analizar y reducir la incertidumbre en la demanda generada desde el cliente final hasta el productor.	ProcessModel, Matlab.
Rossetti, Chan	2003	Todos	Definir los objetos requeridos para la simulación y diseñar una forma de relacionarlos.	Software propio, orientado a objetos.
Stchedroff, Cheng	2003	Considera el flujo continuo de materiales a lo largo de la cadena	Abordar un problema continuo mediante simulación de eventos discretos.	No usa software, se modela una situación continua y se divide en eventos discretos.
Tan, Zhao Taylor	2003	Fabricantes, distribución,	Analizar la relación existente entre los	Interfaces y protocolos

		proveedores	proveedores y el fabricante en la industria automotriz.	estandarizados bajo una infraestructura GRIDS (Generic Runtime Infrastructure for Distributed Simulation)
Terzi Cavalieri	2003	Este artículo es de tipo informativo, explica la relación entre la cadena de suministros y la simulación.		
Williams, Gunal	2003	Todos, aunque los resultados se enfocan en la planta de manufactura y el distribuidor de productos dentro de la cadena.	Comprobar el uso del software SIMFLEX en la simulación de cadenas de suministros.	SIMFLEX
Walsh, Sawhney, Bashford	2003	Evaluación de costos a largo plazo. Aparecen todos los agentes de la cadena desde el productor de madera hasta el consumidor final.	Reducir el riesgo provocado por las fluctuaciones en el precio de la madera para la construcción de casas a largo plazo.	iGrafx Process 2000
Higuchi, Troutt	2004	Efecto látigo. Demana a lo largo de la cadena.	Uso de la simulación dinámica para el análisis de un producto con un ciclo de vida corto.	STELLA. Software de simulación dinámica.

Sen, Pokharel, YuLei	2004	Aspectos dinámicos: variación de la demanda entre otros.	Evaluar la estrategia de posicionamiento de la cadena de suministro bajo la dinámica de ésta.	No se menciona
Costantino, Di Gravio, Tronci	2005	Diseño de rutas de vehículos, distribución y recolección de productos.	Analizar el comportamiento del sistema si faltaran algunos componentes del mismo.	Software especializado para VRP. Hoja de cálculo.
Kara, Rugrungruang, Kaebernick	2006	Localización de centros de producción y reciclado. Transporte y recolección de productos	Determinar una buena localización para un centro de acopio y manufactura de productos.	Arena 7.0

Es importante mencionar que de los autores listados anteriormente, ninguno habla de un caso en el que se use simulación para estudiar el concepto de logística inversa

### 1.2.5 Metodología de la simulación.

La simulación es básicamente un proceso de experimentación sobre un modelo que representa a un sistema real. Sin embargo, para llevar a cabo un estudio de simulación completo se debe tomar en cuenta el mismo diseño del modelo que va a representar al sistema bajo estudio. De esta manera el proceso de simulación consiste en varias actividades además de la experimentación. En otras palabras, cuando se habla de simulación se considera el proceso de diseño de un modelo, posteriormente evaluar si el modelo se apega o no al sistema real y finalmente hacer experimentos con el modelo y presentar resultados.

A continuación se presentan los pasos para realizar un estudio de simulación. Algunos pasos pueden cambiar de nombre o se pueden integrar varios de ellos en uno solo dependiendo del autor que se trate, sin embargo, para hacer un estudio de simulación



que cumpla con su propósito, es necesario incluirlos todos. Coss (2003) propone los siguientes pasos para llevar a cabo un experimento de simulación: (1) Definición del sistema, (2) Formulación del modelo, (3) Colección de datos, (4) Implementación del modelo en la computadora, (5) Validación, (6) experimentación, (7) Interpretación y (8) Documentación. Para el presente estudio se seguirá la misma línea de trabajo agregando una validación del modelo entre los pasos tres y cuatro. En el desarrollo del siguiente capítulo se describirá cómo se desarrollan cada uno de los pasos para el problema en cuestión.

### 1. Definición del sistema.

Consiste en hacer una observación y análisis del sistema que se va a modelar, es decir, se definen los elementos del sistema y las relaciones que existen entre ellos; también se definen los subsistemas que lo componen y otros sistemas con los que interactúa.

Una vez que se tiene establecido el sistema que se quiere modelar, se hace una delimitación del problema, la cual consiste en definir con mucho cuidado los objetivos o metas del estudio de simulación para posteriormente incluir variables de decisión que concuerden con las metas establecidas. Además es importante delimitar el problema de manera que el modelo que posteriormente se desarrolle contenga los elementos necesarios que se quieren medir.

### 2. Formulación del modelo.

Consiste en abstraer un modelo de la realidad. En otras palabras, definir todas las variables que representan el problema real así como sus interacciones lógicas, relaciones causa – efecto e implicaciones. Es importante hacer una representación del modelo conceptual mediante un diagrama de flujo, un dibujo o esquema que describa en forma completa al modelo.

En esta etapa es importante definir el nivel de detalle con el que el modelo representará al sistema real. Un modelo con poco nivel de detalle puede caer en el error de no reflejar la realidad que representa, mientras que un modelo con alto nivel de detalle puede ser difícil de implementar y de usarse para experimentación, además de que requiere mucho

tiempo para su formulación y validación. El nivel de detalle que se elija para un modelo está muy ligado a los objetivos que se escogieron en el primer paso. No es fácil llegar a un nivel de detalle óptimo para cada modelo, ni existen reglas a seguir para plantear un buen modelo, depende mucho de las habilidades de la persona encargada de la modelación.

### 3. Recolección de datos.

La recolección de datos en un proyecto de simulación influye directamente en la formulación del modelo conceptual debido a la facilidad o dificultad de obtenerlos. Generalmente los datos se encuentran en registros, bitácoras, pedidos, tablas, etc. sin embargo, en ocasiones no se cuenta con información suficiente para realizar el estudio por diversas razones: el sistema es nuevo y no se cuenta con registros de ningún tipo, o simplemente no se toman datos por considerarse una actividad innecesaria. En estos casos se recurre a la opinión de expertos en el tema que puedan proporcionar información confiable para el estudio, o bien, se obtienen los datos por propia experimentación. Estos datos, posteriormente servirán para obtener información útil acerca del sistema. Para manipular los datos en esta etapa se utilizan técnicas de estadística descriptiva, como la elaboración de tablas de frecuencias, histogramas y distribuciones de probabilidad.

El resultado de la simulación depende en gran parte de la calidad y cantidad de la información disponible para que sea útil y válido para tomar decisiones. Si la información con la que se trabaja es falsa o incompleta, el resultado no puede ser confiable.

Una vez que se tenga el modelo conceptual y la información correspondiente al modelo, es importante validarlo antes de elaborar el modelo en computadora. Para validar el modelo conceptual se utiliza la ayuda de la gente más relacionada con el sistema real, los cuales se conocen como expertos, su función es determinar si el modelo conceptual es una representación adecuada de la realidad. La validación del modelo conceptual permite por un lado cerrar definitivamente los primeros tres pasos del proyecto de simulación y por otro evita hacer alguna reprogramación cuando el proyecto se encuentre en las últimas etapas.

#### 4. Implementación del modelo en la computadora.

Una vez que se ha validado el modelo conceptual se procede a hacer un modelo de cómputo del modelo conceptual para manipularlo y poder experimentar sobre él. Para esta etapa es importante contar con un experto en programación o que conozca el software que se va a utilizar, y que además entienda el modelo conceptual.

El primer paso es definir si se va a utilizar un software de propósito general (como C++, Basic, o Pascal) o algún paquete comercial especializado. Existen muchas diferencias entre ambos y la decisión de usar uno u otro recae en el programador. Un lenguaje de propósito general tiene la ventaja de que es más conocido y muchos programadores tienen experiencia en su uso, sin embargo, tiene la desventaja de manejar muchas líneas de código y se dificulta el encontrar errores en la programación, además el tiempo de programación es mucho mayor si el modelo crece en complejidad. Carson (2003) menciona que un programa en un lenguaje de propósito general tarda de 4 a 10 veces más tiempo de programación que si se hace en un buen paquete comercial, con la desventaja que se requiere de la ayuda constante del programador original para manipular el modelo en computadora.

Una vez que se ha tomado a decisión acerca del software y se crea el modelo, el siguiente paso es verificarlo. Sargent (2003) define verificación como asegurarse de que el programa de cómputo y su implementación son correctos. Esta definición se refiere a probar el modelo y asegurarse de que las respuestas que se obtengan sean coherentes, y que no haya errores en el código.

#### 5. Validación.

Sargent (2003) define validación como el asegurarse de que el modelo computacional alcanza un grado satisfactorio de exactitud consistente con la aplicación del modelo. En otras palabras, consiste en ver qué tanto el modelo computacional representa al sistema real bajo estudio. La validación se puede realizar mediante pruebas estadísticas de comparación de muestras entre los datos tomados del sistema y los datos arrojados por el modelo de cómputo. Sin embargo, si no se cuenta con información para hacer estas

pruebas, se recurre a la opinión de expertos o a la aprobación de la persona que va a utilizar el modelo de simulación.

Coss (2003) menciona cinco formas más comunes para validar el modelo:

- La opinión de expertos sobre los resultados.
- La exactitud para predecir datos históricos.
- La exactitud para predecir datos futuros.
- La comprobación de la falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
- La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento.

## 6. Experimentación.

Una vez que se ha verificado y validado el modelo de simulación se procede con la elaboración de experimentos. La experimentación consiste en generar datos con diferentes niveles de las variables de decisión para posteriormente analizarlos y compararlos.

Para llevar a cabo la experimentación es necesario, en primer lugar hallar las variables que se cree que afectan en mayor grado al resultado de la simulación, posteriormente, decidir los niveles de las variables que se van a probar y el número de corridas que se van a realizar en cada nivel. Los datos resultantes son arrojados por el programa de cómputo.

## 7. Interpretación.

Esta etapa del estudio de simulación se puede incluir en la experimentación. Consiste en interpretar los datos que arroja la simulación y en base a ellos tomar una decisión acerca de las acciones que se realizarán sobre el sistema.

Es evidente que la simulación no es una herramienta de optimización. La simulación provee información suficiente para la toma de decisiones, sin embargo, no indica la decisión óptima.

## 8. Documentación.

Se debe contar con la documentación debida de todo el proyecto de simulación, de manera que se pueda respaldar la decisión tomada al final. Esta documentación debe contener: Metas, temas específicos y medidas de desempeño, diagramas de flujo, descripción de cada subsistema, suposiciones que se hicieron para la simplificación, proceso de validación, fuentes de información, minimizar el tamaño del código del programa de cómputo, descripción del programa de cómputo, animaciones y los métodos de validación.

Los capítulos posteriores en este trabajo están basados en los pasos del estudio de simulación descritos anteriormente.

### **1.3 Conclusión del capítulo.**

El enfoque de la cadena de suministros ayuda a las empresas a dar un mejor servicio al cliente y reducir costos asociados con tiempos de entrega, producción, calidad, etc. Sin embargo, la implementación de la cadena de suministros no es algo sencillo. En primer lugar existen cadenas con un gran número de componentes, en donde cada componente es un sistema con cierta complejidad, de manera que la complejidad se amplifica al tomar en cuenta todos los componentes. Segundo, las variables de decisión en la cadena de suministros son estocásticas, es decir, cambian con el tiempo.

Tomando en cuenta estos factores, un modelo analítico resulta inadecuado para analizar y mejorar la cadena de suministros, se debe usar otra herramienta. Se propone usar simulación ya que:

1. La simulación tiene capacidad para manejar este tipo de complejidad y dinámica dentro de la cadena de suministros como se puede ver en los ejemplos presentados.

2. La simulación provee un ambiente de experimentación en el que se evitan los costos asociados con la experimentación en sistemas reales.
3. En este estudio se pretende analizar el sistema en situaciones o escenarios no existentes que podrían presentarse en un futuro.
4. Para el presente trabajo se hará un análisis del tipo “qué pasaría si”, en el que se observa el comportamiento del sistema cambiando una serie de variables.

El papel de la simulación como herramienta para analizar y evaluar cadenas de suministro va creciendo en importancia y se presenta como una opción para el mejoramiento de este tipo de sistemas.

## **Capítulo II**

### **Planteamiento, modelo conceptual y recopilación de datos**

#### **Introducción.**

En este capítulo se inicia el estudio del sistema. Previamente se definió al sistema como complejo y se propuso un método para analizarlo. Como se definió en el capítulo anterior, el estudio de simulación debe seguir ciertos pasos para llevarse a cabo. En este capítulo se describe el proceso correspondiente a los primeros pasos del estudio de simulación para el sistema que se está estudiando. Primero se hará una descripción del sistema, su funcionamiento y elementos que lo componen, así como la descripción de la problemática a la que está sujeto. Esta descripción se apoya en un modelo conceptual del sistema, correspondiente al segundo paso del estudio de simulación. Finalmente, se proporciona la información estadística del sistema para saber, cuantitativamente, cómo se comporta.

#### **2.1 Descripción del Sistema.**

La cadena de suministros que se estudia mediante simulación en este trabajo es un sistema de transporte y distribución de libros entre bibliotecas de una misma institución en México, que cuenta con planteles distribuidos en las principales ciudades del país.

Es importante recordar la problemática del sistema. El sistema de bibliotecas funciona mediante una biblioteca digital, que permite consultar catálogos por medio de la red, sin necesidad de que el usuario tenga presencia física dentro del plantel en el que se encuentra la biblioteca. Este sistema permite al usuario saber en qué biblioteca se encuentra el material que más se ajusta a sus necesidades y permite también a la biblioteca, ajustarse a las necesidades de la mayoría de la población.

Una vez que el usuario encuentra el material que necesita y el lugar en el que se encuentra, es posible hacer un pedido para que este material sea enviado a la biblioteca

a la cual pertenece, y posteriormente sea devuelto cuando el plazo de préstamo haya concluido.

Este sistema implica costos de inventarios y de transporte de material, por lo que se busca analizar el sistema y hacerlo más eficiente.

### **2.1.1 Generalidades del sistema.**

El sistema sobre el cual se trabaja es la cadena de préstamos y devoluciones de libros entre diferentes bibliotecas que pertenecen a una misma institución y distribuidas a lo largo de la República Mexicana. Es necesario comenzar esta sección con la descripción del sistema al que pertenece esta cadena de bibliotecas.

La institución de la que se habla cuenta con 33 planteles distribuidos a lo largo del territorio mexicano. Cada uno cuenta con su propia biblioteca. Las bibliotecas están distribuidas en las principales entidades de la República Mexicana como se muestra a continuación:

1. Aguascalientes
2. Veracruz
3. Chiapas
4. Chihuahua
5. Distrito Federal
6. Sonora
7. Estado de México
8. Colima
9. Morelos
10. Nuevo León
11. Guanajuato
12. Sinaloa
13. Puebla
14. Querétaro.
15. Michoacán.



- 16. Jalisco
- 17. Tamaulipas.
- 18. Zacatecas.
- 19. Coahuila.

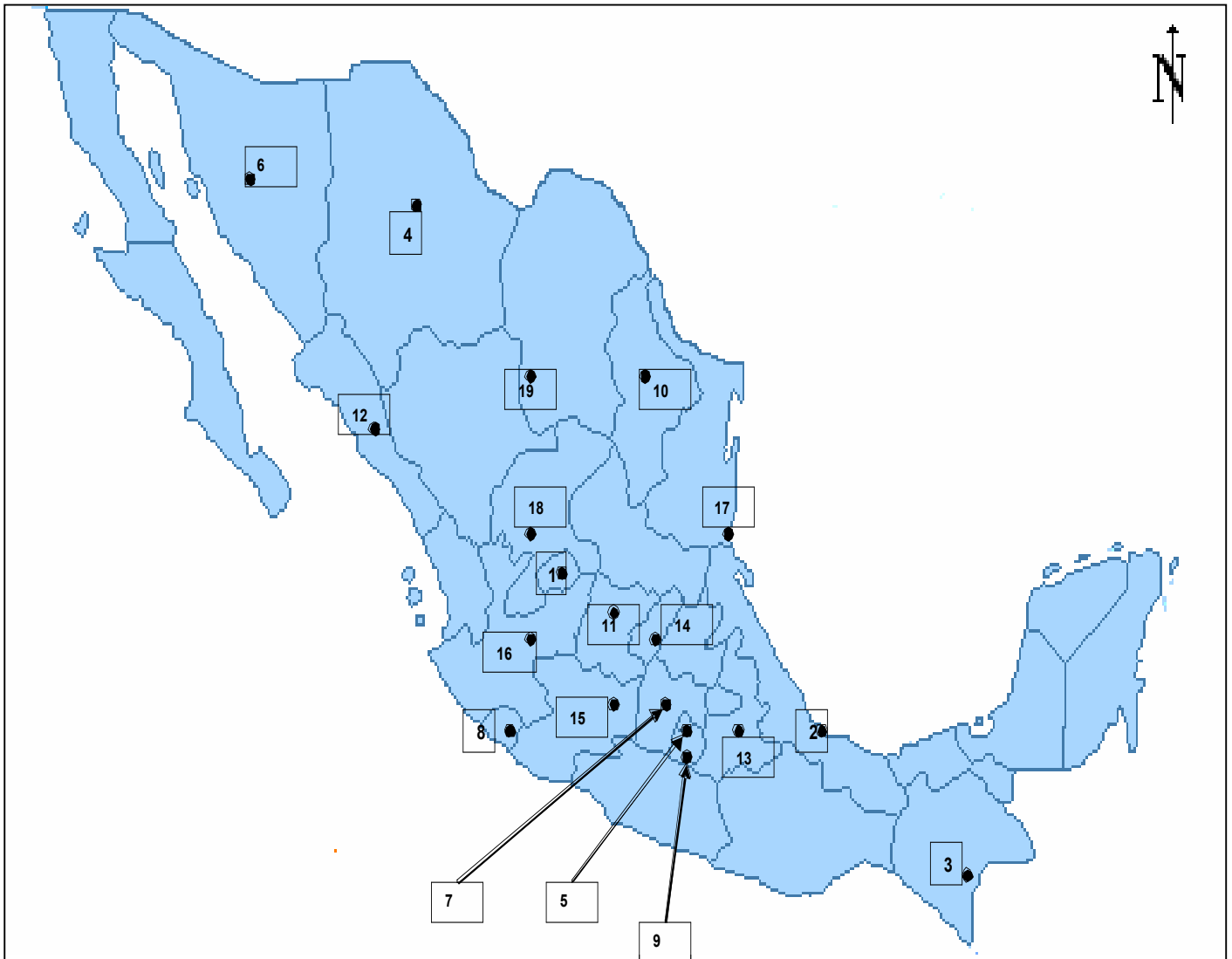


Fig. 2.1 Distribución geográfica de las bibliotecas a lo largo del territorio nacional.

En el Distrito Federal existen dos planteles, uno ubicado al sur de la ciudad y otro al poniente, para distinguirlos se utilizará el nombre de DF1 y DF2 respectivamente.

Este estudio se realiza para analizar a la situación de uno de los planteles mencionados anteriormente, DF2, es decir, se analizará el préstamo de la biblioteca ubicada en este plantel a otras bibliotecas y de otras bibliotecas a DF2. Esta decisión se debe a la situación geográfica del plantel, pero principalmente a que debido a que es de reciente fundación (Agosto de 2001) la biblioteca es pequeña y se encuentra en crecimiento. Tanto el crecimiento de la biblioteca como el tipo de publicaciones que se manejan, hacen pensar en un crecimiento de la demanda de este servicio de préstamo. Esta biblioteca, actualmente cuenta con 38,000 volúmenes aproximadamente en estantes entre los que se encuentra la bibliografía básica de los cursos impartidos en el plantel, así como bibliografía complementaria. Sin embargo, a pesar de tener pocos volúmenes en comparación a otras bibliotecas del sistema, los ejemplares con los que cuenta son de reciente publicación, lo cual, se ha observado, incrementa la demanda de libros por parte de otras bibliotecas.

Este servicio de préstamo de libros en esta biblioteca incluye dos partes:

1. El préstamo de libros a nivel externo, el cuál incluye préstamos entre bibliotecas que no pertenecen a la institución, sino a universidades o instituciones diferentes.
2. El préstamo de libros a nivel interno, en el que se incluyen todas las bibliotecas de los planteles de la misma institución distribuidas en el territorio Nacional, como se describió anteriormente.

El manejo de los préstamos en ambos niveles se lleva a cabo mediante el uso de una base de datos, la cual contiene un catálogo que se actualiza en el momento de realizar alguna transacción. El funcionamiento específico de esta base de datos así como el sistema digital que lo forma no se cubre en este trabajo

El funcionamiento de ambos sistemas se muestra en los siguientes diagramas de flujo. Se describen los pasos a seguir para el proceso de solicitud de material a otras bibliotecas. El diagrama de flujo se utiliza para todas las bibliotecas en su calidad de receptoras del material:

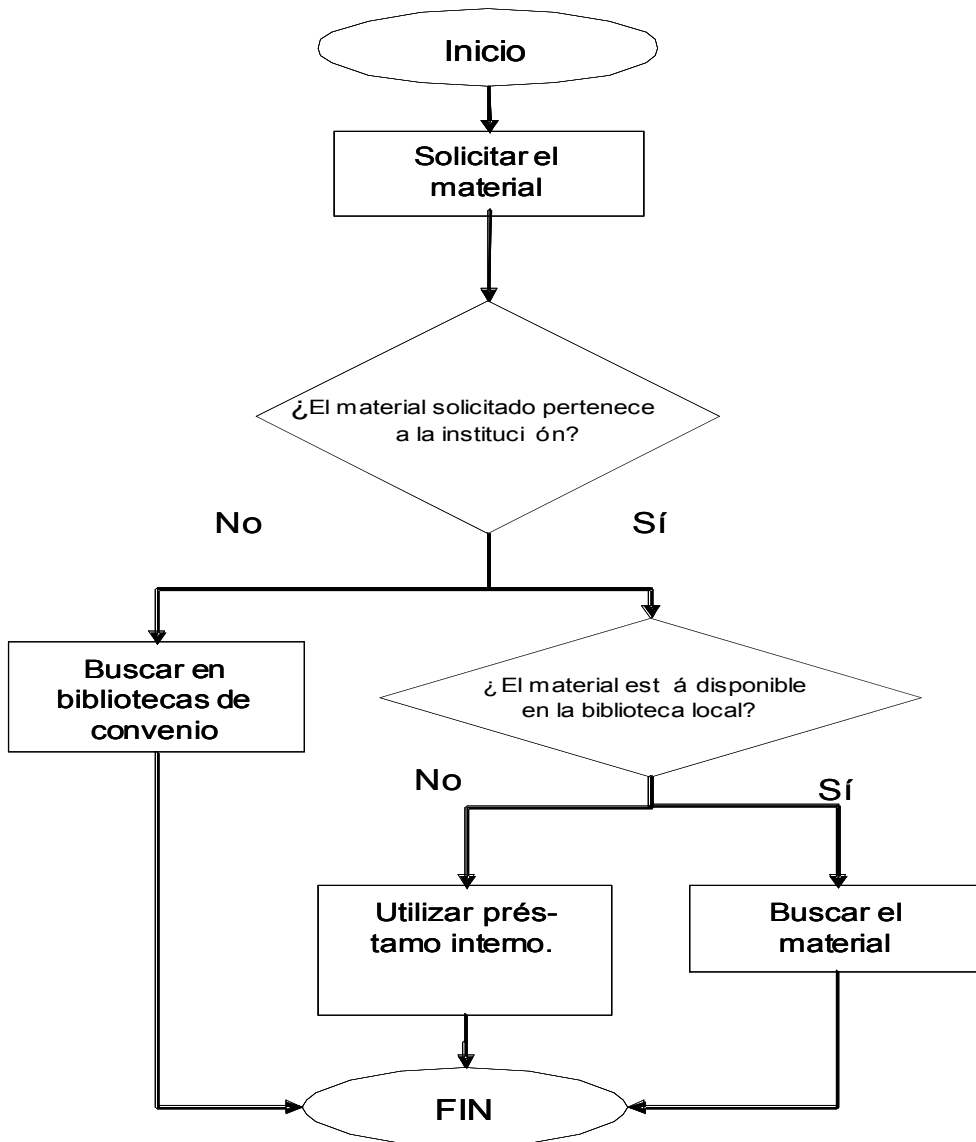


Fig. 2.2. Diagrama de flujo para el proceso de préstamo de material tomando en cuenta la opción de préstamo interno o préstamo externo. Elaboración propia.

Descripción de las actividades:

- a) Solicitar el material: el proceso del préstamo comienza cuando un usuario realiza una solicitud de préstamo. Esta solicitud se puede hacer presencial en el mostrador de biblioteca o bien, mediante el uso de una biblioteca digital a través de la página en Internet de la biblioteca;

- b) ¿El material solicitado pertenece a la institución?: Este paso consiste en evaluar si el material pertenece a alguna de las bibliotecas de la institución.
- c) ¿El material está disponible en la biblioteca local?: si el material sí está en alguna de las bibliotecas, ésta puede ser a la que pertenece el alumno, o bien, una biblioteca situada en otra entidad dentro del territorio mexicano. En algunos casos el material que se requiere pertenece a la colección de la propia biblioteca pero se encuentra en tránsito o está prestado, es decir, no está disponible, de manera que la única opción es buscarlo en otra biblioteca
- d) Utilizar préstamo interno: en caso de que el material esté en el sistema pero no pertenezca a la colección en la propia biblioteca, entonces se debe utilizar el préstamo interno.
- e) Buscar el material: si el material está en la propia biblioteca, entonces es necesario avisar al usuario para que pueda realizar la búsqueda del material.
- f) Buscar en bibliotecas de convenio: Debido a que el material no se encuentra en ninguna de las bibliotecas de la institución, es necesario buscarlo en la base de datos de alguna de las bibliotecas de convenio, de manera que se pueda solicitar el material y hacer un pedido.

El estudio se realiza para el sistema de préstamo interno. La razón por la cual no se toma en cuenta el sistema de préstamo externo es que se maneja en base a convenios con otras instituciones, y estos pueden aparecer y desaparecer con facilidad. El préstamo interno, en cambio, se realiza entre bibliotecas del sistema, y para que aparezca o desaparezca una de las bibliotecas del sistema, tendría que cerrar uno de los planteles en el que se encuentra dicha biblioteca, o bien, establecer nuevos planteles. Sin embargo, el modelo que se obtenga del estudio del préstamo interno puede servir para un estudio posterior del préstamo externo en caso de que se requiera ya que el procedimiento general del préstamo entre bibliotecas es aplicable para ambos tipos de préstamo.

El siguiente diagrama de flujo ilustra los pasos a seguir para la solicitud de un material usando el sistema interno (A), el cual se estudiará en este trabajo. Este diagrama de flujo se puede aplicar a cualquier sistema de préstamo entre bibliotecas.

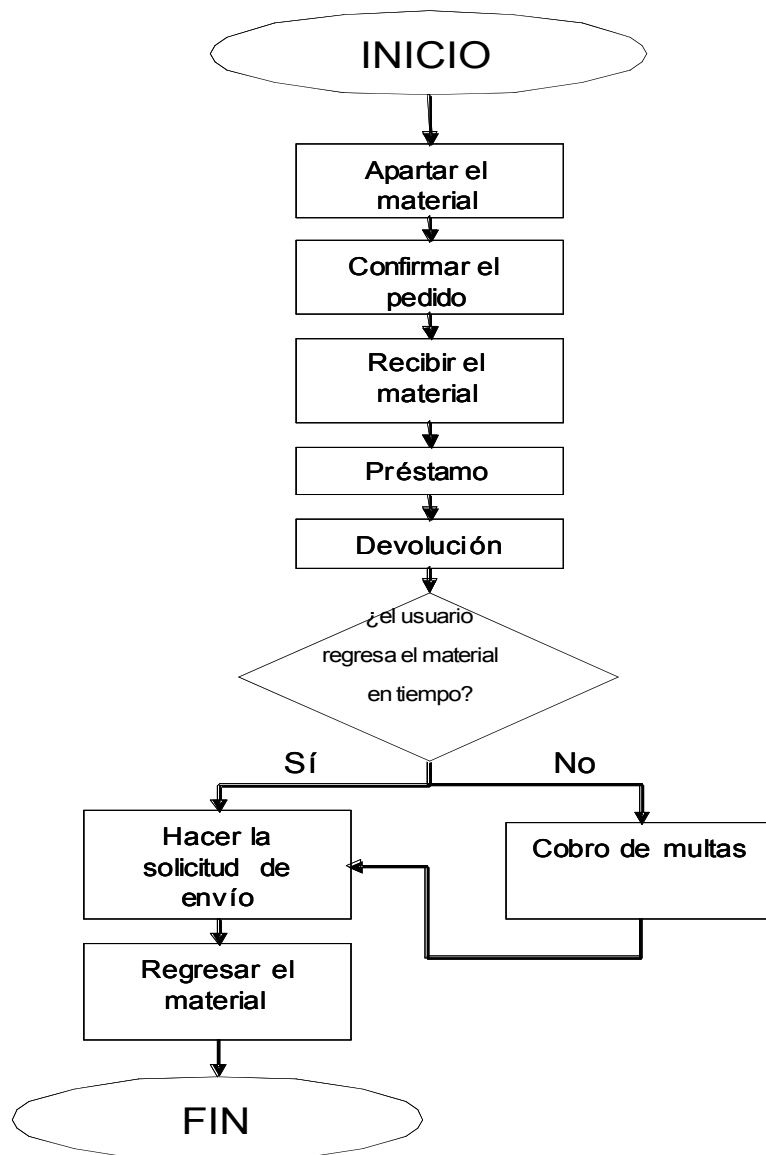


Fig. 2.3. Diagrama de flujo que muestra los pasos para establecer un servicio de préstamo interno. Elaboración propia.

Descripción de las actividades:

- a) Apartar el material: En el diagrama previo a este paso ya se verificó la existencia y disponibilidad en alguna biblioteca del sistema. De esta forma sólo queda hacer el apartado, el cual se hace por medio electrónico o desde el mostrador de la biblioteca;
- b) Confirmar el pedido: Se recibe la confirmación de la biblioteca de origen (de la que procede el libro) sobre el pedido además de la fecha en la que se hará el envío;

- c) Recibir el material: Se le notifica al usuario la fecha en la que puede pasar al mostrador de biblioteca para recoger su material;
- d) Préstamo: El usuario recoge el material. El periodo de préstamo es de 7 días y se puede extender a 14 o hasta 21 días si se hace un resello y si el material no ha sido apartado;
- e) Devolución: Pasado el tiempo de préstamo, el usuario devuelve el libro a la biblioteca.;
- f) ¿El usuario regresa el material en tiempo?: Si el usuario no regresa el material a tiempo se hace sujeto a una multa de acuerdo al reglamento de cada biblioteca;
- g) Cobro de multas: Se establece la cantidad que será cobrada de acuerdo al número de días de retraso para entregar el material;
- h) Hacer la solicitud de envío: Se hace la solicitud a la compañía de mensajería o paquetería encargada del envío.
- i) Regresar el material: La biblioteca envía el material prestado de regreso mediante el mensajero.

El sistema de bibliotecas funciona durante todo el año teniendo tres periodos de descanso por lo que el año está dividido en dos periodos de actividades o semestres.

El préstamo de material tiene una duración de 7 días pudiéndose resellar por otros 7 ó hasta 14 días más de préstamo. En el caso de préstamo desde otros planteles se le indica al usuario la fecha de devolución del material al plantel receptor. El tiempo de traslado y de espera no se encuentra contemplado dentro de los 7 (14 ó 21) días de préstamo.

Dentro de este sistema de envío y recuperación de material interviene otra entidad que actuaría como subsistema, que es la empresa de paquetería encargada del transporte de material. El nivel de detalle de este estudio se limita al sistema en general, y no a las políticas y procedimientos de la empresa de paquetería. La elección de la empresa de paquetería o mensajería depende del plantel del que salen los libros y puede ser distinta para cada uno. El costo de envío de material lo asume la biblioteca que envía los libros, y tiene la libertad de seleccionar la empresa que mejor se acomode a sus necesidades. El envío que cada biblioteca realice incluye los libros que se pidieron de otras bibliotecas, así como los libros devueltos a los mismos. De esta manera, una biblioteca paga por los

libros que envía, pero no por los que recibe sean o no suyos. Haciendo un balance, el costo total se distribuye en partes iguales tanto para la biblioteca que envía como para la que recibe material. Por ejemplo, si una biblioteca pide material a la biblioteca del Distrito Federal, es esta biblioteca la que asume el costo de envío. Pero en el momento de regresar los libros, la biblioteca a la que se le prestaron los libros asume el costo de retorno de material.

Si tomamos al sistema de bibliotecas como una entidad, se puede hablar de un incremento en el costo de envío para todo el sistema, en lugar de un incremento en el costo de cada entidad. Es decir, dado que el costo de envío y de devolución se reparte entre dos planteles, el costo neto de la transacción es un costo para el sistema.

Ahora que se conoce el sistema y sus características, se puede aplicar el enfoque de cadenas de suministro descrito en el capítulo anterior para estudiarlo.

El sistema de bibliotecas es, por su naturaleza, un servicio, sin embargo, existe un flujo de material. Haciendo referencia a la figura 1.2, la cual esquematiza una cadena de suministros para servicios, se puede obtener la siguiente aplicación para el sistema de bibliotecas:

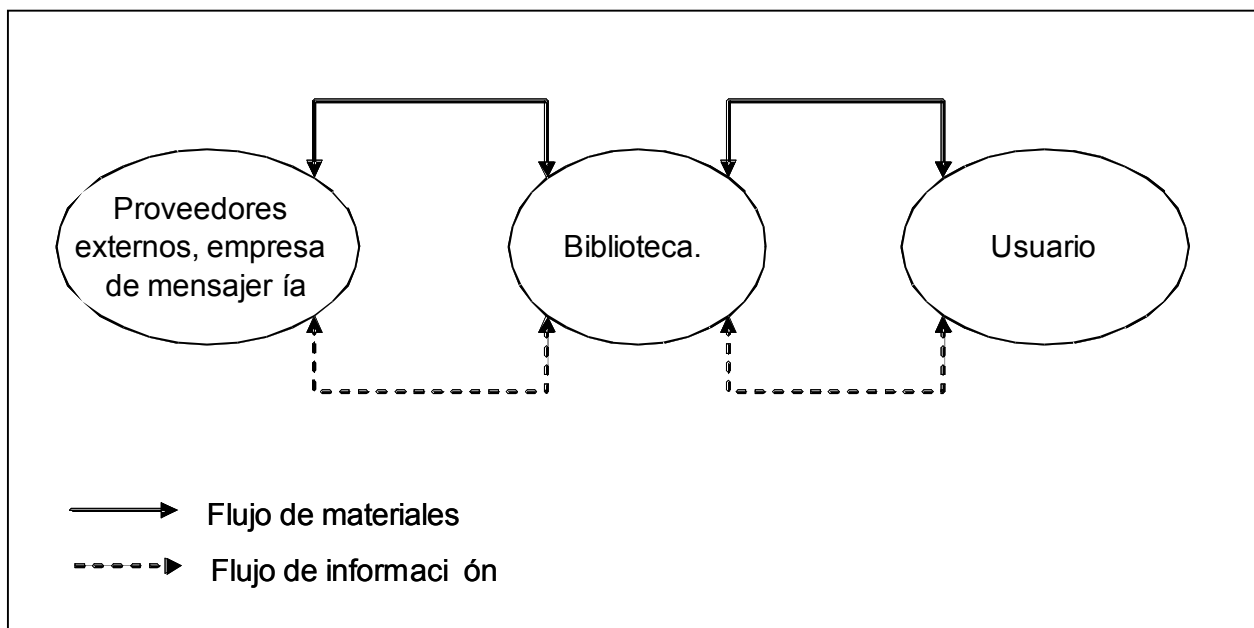


Fig. 2.4. El sistema de bibliotecas como una cadena de suministros para una empresa de servicios. Elaboración propia basado en Fitzimmons, 2004.

Este esquema representa el sistema de bibliotecas como una cadena de suministros para servicios. Los materiales que se trasladan se refieren a material impreso. Esta cadena funciona con información previa por parte del usuario. Es esta información la que dispara el funcionamiento de los otros agentes. La biblioteca, con esta información hace uso de un proveedor externo, que en este caso se refiere a la empresa de mensajería para llevar a cabo el servicio.

Es importante notar en la figura que tanto el flujo de materiales como de información se hace en ambos sentidos. En el caso de los materiales, el flujo en ambos sentidos indica un proceso de logística inversa en el sistema.

En el capítulo anterior también se define la cadena de suministros como una visión sistémica de todos los agentes que intervienen en el proceso de elaboración y entrega de los satisfactores al cliente. Al tener un enfoque completo de los flujos de materiales y de información, y contar con la información de los costos en el sistema, se le considera como una cadena de suministros.

Es posible que exista un segundo proveedor, que sería la editorial o alguna empresa que proporcione libros al sistema de bibliotecas, sin embargo, éste no se toma en cuenta ya que no interviene en el flujo de material o de información en todo momento. Es decir, para el sistema de préstamo interno, la biblioteca no hace una solicitud de compra cuando el usuario hace un pedido, estas solicitudes se llevan a cabo una vez que se termine el periodo de operaciones de la biblioteca, o en casos especiales.

### **2.1.2 Objetivos del estudio de simulación.**

Los objetivos del estudio de simulación que están expresados en los objetivos generales del trabajo, sin embargo es importante especificar qué es lo que se pretende lograr con el programa de simulación.

1. El modelo de simulación que se elabore debe tener la característica de que el material fluye en dos sentidos. Para lograrlo se plantea una manipulación de las



variables del programa de simulación que permitan un flujo “normal” y un flujo inverso sin perder la identidad de los elementos que entran en el modelo.

2. La variable de respuesta del modelo de simulación debe ser el número de libros que se mueven en el sistema ya que es un indicador del costo del servicio y sirve para tomar decisiones sobre el sistema.
3. El propósito del programa de simulación es hacer un análisis de escenarios no existentes (con un alza o baja de la demanda) que no se podría hacer empleando otra técnica.
4. Los resultados que se obtengan deben servir para tomar decisiones respecto al valor agregado de los servicios ofrecidos por el sistema educativo.

## **2.2 Elaboración del modelo conceptual.**

El sistema de préstamo de libros entre bibliotecas del sistema cuenta con los siguientes subsistemas:

1. Una base de datos de los volúmenes en existencia en las distintas bibliotecas.
2. Un sistema de paquetería para el envío de libros.
3. Un sistema de recepción y control de los volúmenes que se encuentran en tránsito.
4. El usuario.

El modelo general del sistema tomando en cuenta los subsistemas descritos y lo mencionado en las secciones anteriores es el siguiente:

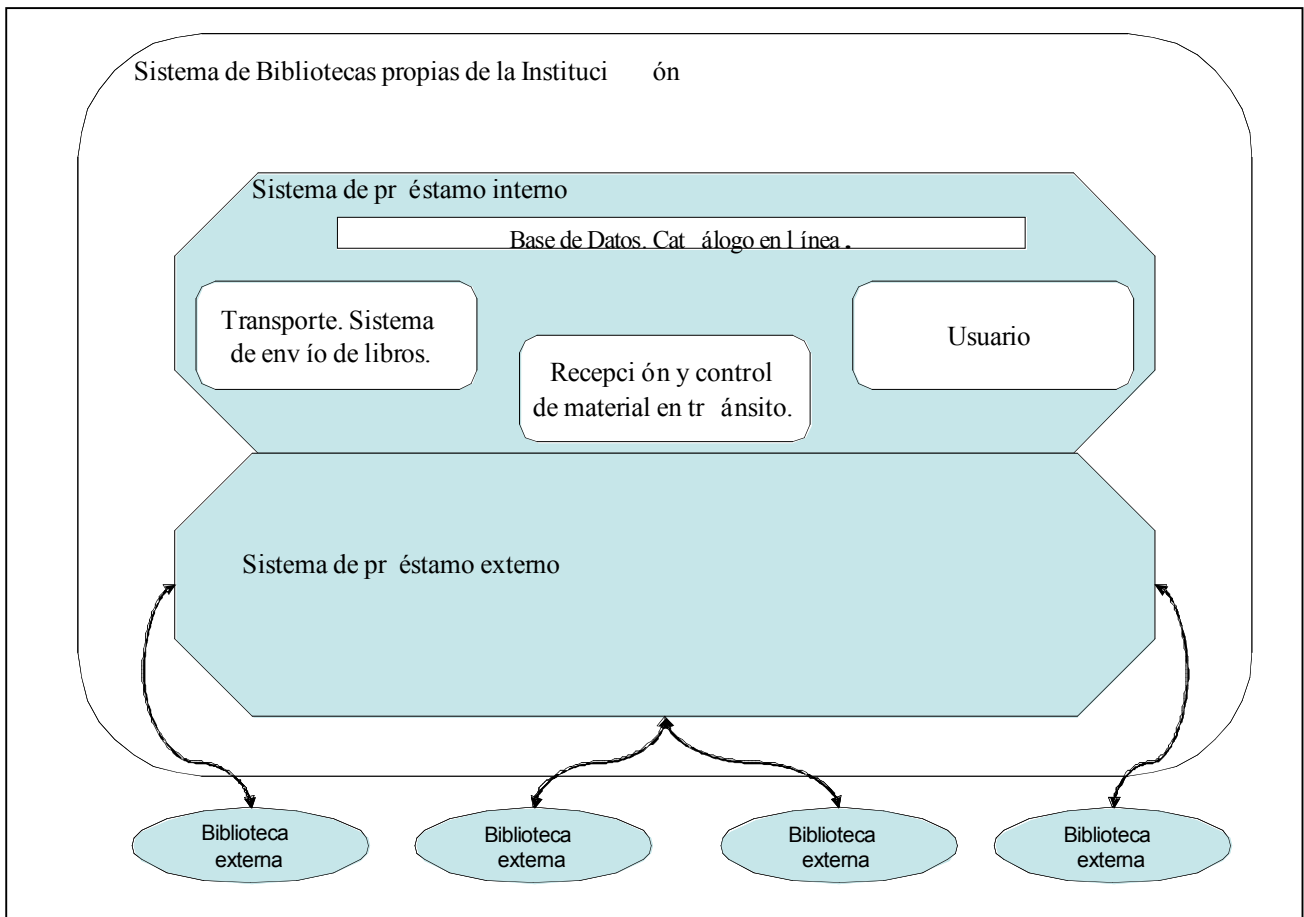


Fig. 2.5. Modelo de todo el sistema que comprende el préstamo interno y el préstamo externo. Elaboración propia.

En la figura 2.5 se muestran los dos servicios de préstamo de material a otras instituciones que se tiene en cualquier biblioteca perteneciente al sistema. Si tomamos al sistema de bibliotecas como una entidad, el sistema de préstamo externo es la única parte que tendría contacto con otras entidades, es decir entidades fuera del sistema, mientras que el préstamo interno se realiza entre las partes que se encuentran dentro de la entidad.

En algunos sistemas, el usuario es una entidad ajena al sistema, sin embargo, en este caso, por tratarse de una institución educativa, el usuario, necesariamente pertenece al sistema.

El siguiente modelo conceptual se plantea de acuerdo a la descripción del funcionamiento del préstamo interno hecho en la sección anterior. Quedando como se muestra a continuación:

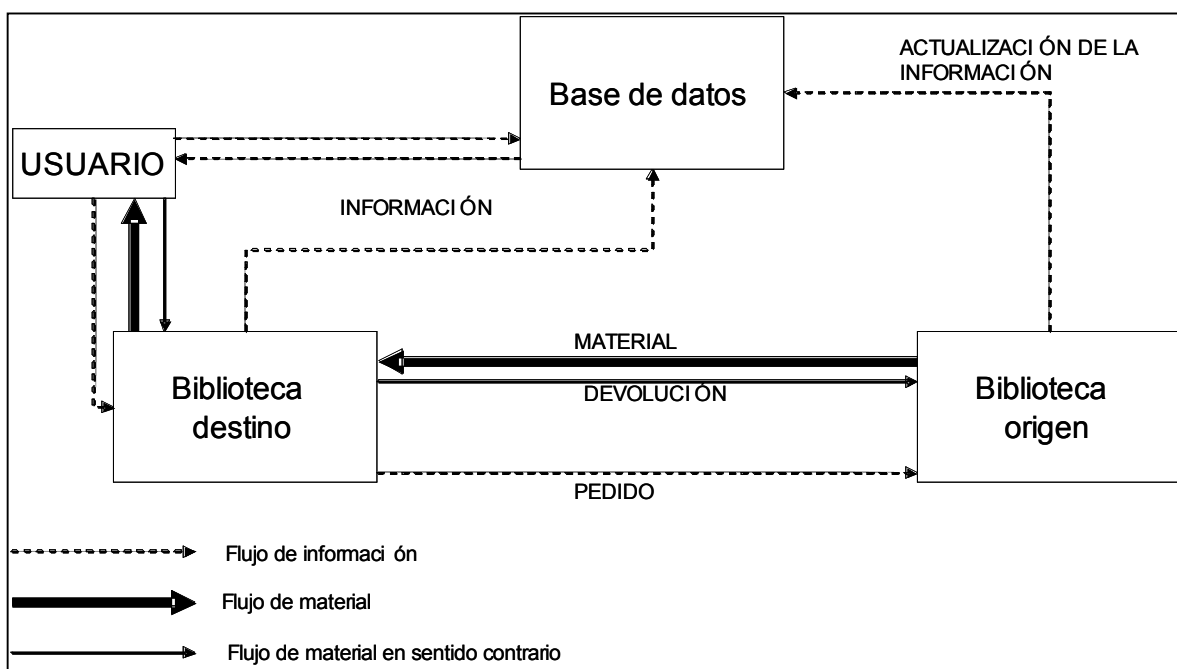


Fig. 2.6. Modelo conceptual del sistema de préstamo interno. Elaboración propia.

El recuadro BD significa Base de Datos, y es la parte en la que interviene el sistema de información, el cual contiene el catálogo en línea de todas las publicaciones de las bibliotecas del sistema. En el momento en que se hace una transacción es necesario solicitar información de disponibilidad del material al sistema y actualizar la información con el nuevo estatus del material (apartado, prestado, devuelto, etc). El modelo inicia con el usuario que verifica la existencia del material en la base de datos, hace su pedido al plantel al cual pertenece, posteriormente el material solicitado se mueve de la biblioteca origen a la biblioteca destino, y de aquí al usuario. Más tarde, el usuario regresa el material a la biblioteca “destino” y ésta lo regresa la biblioteca “origen”, completando el ciclo. En todo momento se debe mantener la información actualizada en la base de datos.

Una parte importante de este modelo es el flujo del material. El traslado de material se lleva a cabo por medio de una compañía de paquetería como ya se ha mencionado anteriormente. La empresa encargada de esta actividad depende de la biblioteca que está enviando material. En el caso de la biblioteca DF2, el costo de envío de material se calcula por unidad enviada llamada guía, una guía incluye una cantidad variable de

libros y tiene un límite de peso por cada guía. Es decir, el costo de enviar un libro o varios libros es el mismo siempre y cuando no rebasen el tope de masa o de cantidad de libros establecido, en este caso se tendría que comprar otra guía o pagar el exceso. Una guía puede contener libros correspondientes a pedidos o a devoluciones siempre y cuando el destino sea el mismo. No se pueden incluir libros de distintos destinos en la misma guía.

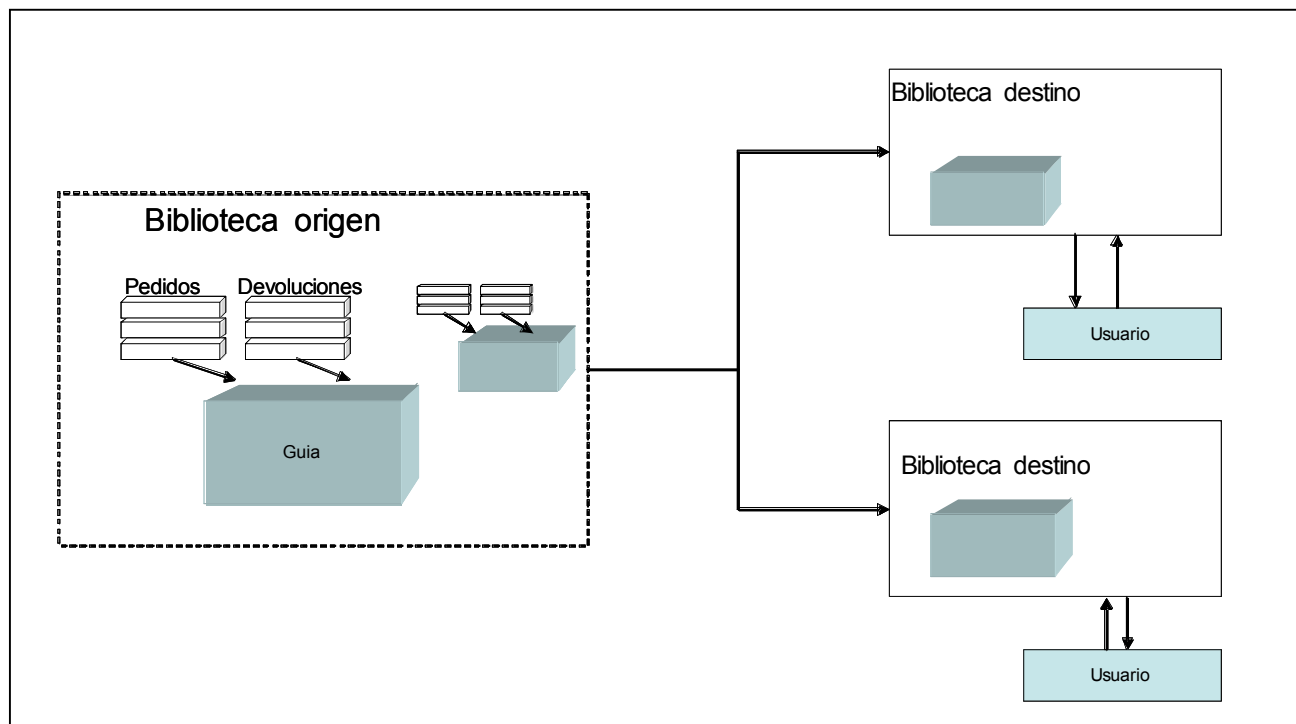


Fig. 2.7. Flujo del material dentro de guías establecidas. Elaboración propia.

Como se puede ver en la figura 2.7, el material pedido por otra biblioteca se puede mandar junto con el material devuelto a la misma, de manera que se aproveche la cantidad total de espacio dentro de la guía. En caso de que no se junte el total de peso de la guía, el material se tiene que mandar ya que si no, éste sufriría un retraso. Está claro que si se da esta situación, habría un desperdicio en el espacio de la guía.

En el caso particular de la biblioteca DF2, los costos de las guías son fijos sin importar el lugar a donde se mande el paquete, siempre y cuando el destino se encuentre dentro del territorio mexicano. El sistema que se maneja es un apartado de cierto número de guías las cuales se van utilizando conforme se vaya necesitando.

Los costos del apartado de guías de la empresa de paquetería se muestran a continuación:

Volumen (No. de guías)	Precio
30 -60	\$71.00
61 - 120	\$67.00
121 - 300	\$63.00
301 - 600	\$61.00
601 - 1200	\$58.00
1201 - 3000	\$56.00
3001 - 7500	\$55.00
7501 - 15000	\$54.00
15001 en adelante	\$53.00

Tabla 2.1 Precios por el número de guías. Fuente: [www.estafeta.com](http://www.estafeta.com)

## **2.3 Información numérica del sistema.**

### **2.3.1 Recolección de datos del sistema.**

Se obtuvieron los datos de envío y recepción de material durante todo el año 2005. Es importante tomar en cuenta que los meses de enero, julio y diciembre tienen una baja considerable en el número de transacciones debido a que parte del mes, la biblioteca cierra sus operaciones por vacaciones.

Los nombres de los planteles que se refieren en las siguientes figuras están abreviados.

Las siglas corresponden como se indica a continuación:

1. Aguascalientes	AGS
2. Veracruz	VER
3. Chiapas	CHS
4. Chihuahua	CHI
5. Distrito Federal	DF1*
6. Sonora	SON
7. Estado de México	MEX
8. Colima	COL
9. Morelos	MOR
10. Nuevo León	MTY**
11. Guanajuato	GTO
12. Sinaloa	SIN
13. Puebla	PUE
14. Querétaro.	QRO
15. Michoacán.	MIC
16. Jalisco	JAL
17. Tamaulipas.	TAM
18. Zacatecas.	ZAC
19. Coahuila.	COA

\*Sólo se toma en cuenta la biblioteca ubicada al sur de la Ciudad de México (DF1) debido a que el estudio se hace para envíos y llegadas de libros a la biblioteca ubicada en el poniente del Distrito Federal (DF2).

\*\*Las siglas corresponden a la ciudad de Monterrey en el estado de Nuevo León debido a que la biblioteca se encuentra en dicha ciudad.

La tabla 2.2 muestra el número de libros recibidos de otras bibliotecas por mes a la biblioteca en la Ciudad de México (DF2). La tabla 2.3 muestra el número de libros enviados de la Ciudad de México (DF2) a otras bibliotecas.



Tabla 22 Resumen Material Recibido

	DF1	MEX	MTY	AGS	VER	CHS	CHI	SON	COL	MOR	GTO	SN	PUE	QRO	MC	JAL	TAM	ZAC	COA
mes1	3	18	7	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
mes2	6	30	12	0	0	0	3	2	0	0	4	0	0	3	1	3	0	0	1
mes3	3	14	15	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
mes4	6	34	9	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	2	0	0	2
mes5	6	7	5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
mes6	5	11	6	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0
mes7	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
mes8	10	24	12	1	0	0	4	0	0	3	2	0	1	0	0	1	1	1	3
mes9	8	29	15	2	1	0	4	0	0	0	0	0	2	1	0	2	1	0	0
mes10	26	27	7	0	0	0	1	0	1	0	2	0	2	1	0	3	1	0	1
mes11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Total	75	197	89	4	3	0	15	3	1	4	17	0	5	10	1	15	3	2	9
Promedio	6.82	17.91	8.09	0.36	0.27	0.00	1.36	0.27	0.09	0.36	1.55	0.00	0.45	0.91	0.09	1.36	0.27	0.18	0.82



Tabla 2.3 Resumen Material Enviado

	DF1	MEX	MTY	AGS	VER	CHS	CHI	SON	COL	MOR	GTO	SIN	PUE	QRO	MC	JAL	TAM	ZAC	COA
mes 1	7	41	16	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	0	0
mes 2	14	69	28	0	0	0	7	5	0	0	9	0	0	7	2	7	0	0	2
mes 3	7	32	35	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5
mes 4	14	78	21	0	5	0	2	0	0	2	2	0	0	5	0	5	0	0	5
mes 5	14	16	12	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	2	0	0	0
mes 6	12	25	14	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	2	0
mes 7	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
mes 8	23	55	28	2	0	0	9	0	0	7	5	0	2	0	0	2	2	2	7
mes 9	18	67	35	5	2	0	9	0	0	0	0	0	5	2	0	5	2	0	0
mes 10	60	62	16	0	0	0	2	0	2	0	5	0	5	2	0	7	2	0	2
mes 11	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0
Total	173	453	205	9	7	0	35	7	2	9	39	0	12	23	2	35	7	5	21
Promedio	15.68	41.19	18.61	0.84	0.63	0.00	3.14	0.63	0.21	0.84	3.55	0.00	1.05	2.09	0.21	3.14	0.63	0.42	1.88

La figura 2.8 muestra el total de libros recibidos en el periodo de un año. La figura 2.9 muestra el total de libros enviados en el mismo periodo.

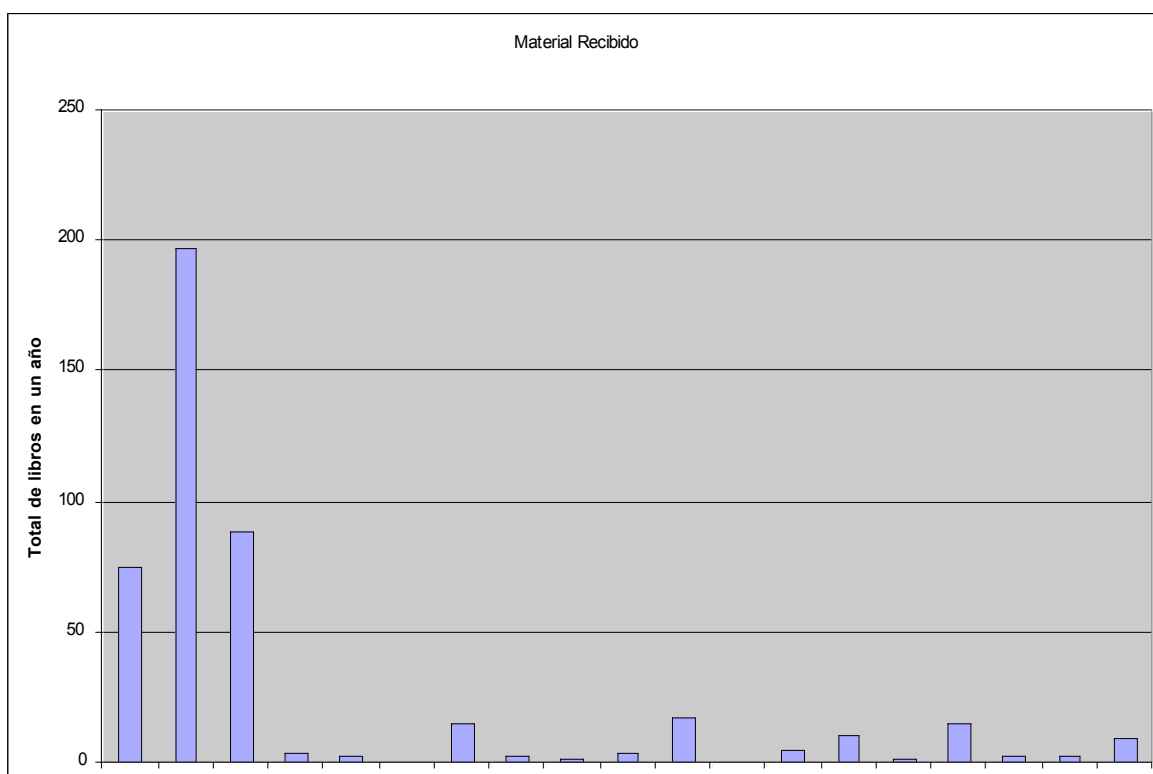


Fig. 2.8. Total de libros recibidos.

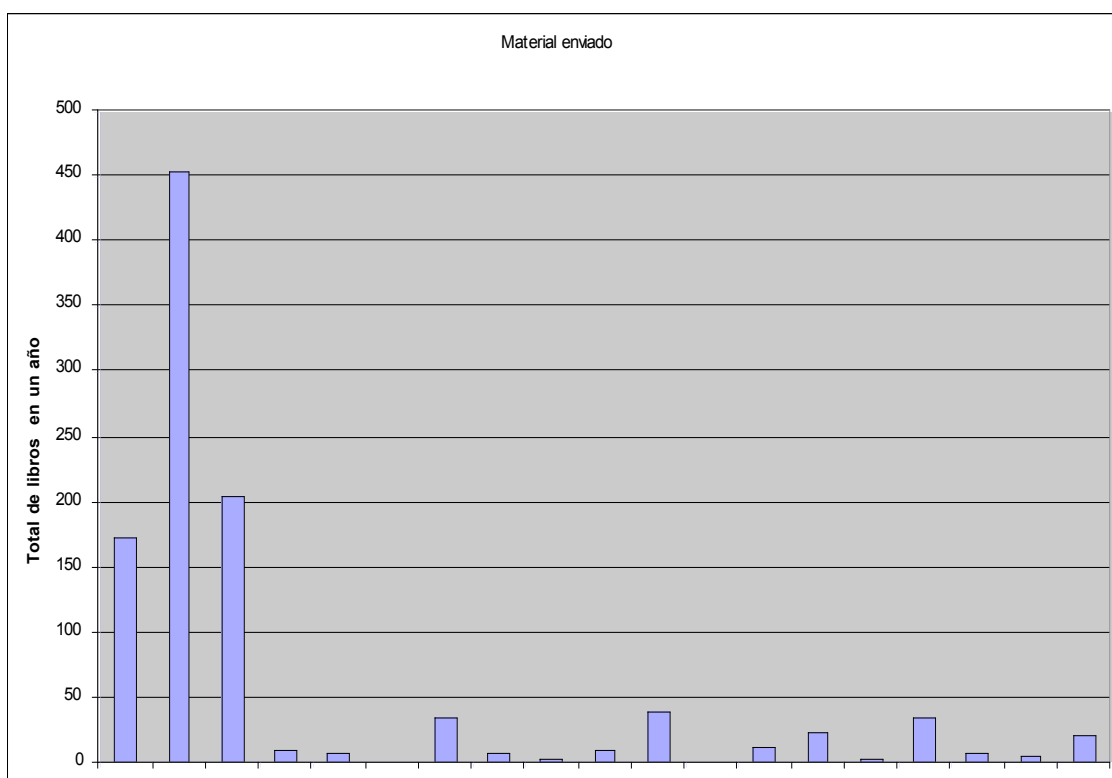


Fig. 2.9. Total de libros enviados.

Los envíos y llegadas de material se toman con respecto a los datos obtenidos de la biblioteca DF2. Se puede notar una diferencia considerable entre el número total de envíos, 1042 libros y de llegadas 665 libros lo que indica una mayor demanda de libros de esta biblioteca. Esto se confirma en las figuras 2.8 y 2.9, en ésta última, se puede observar un aumento en la altura de las barras, lo que corresponde a un mayor número de libros.

Como se puede observar tanto en las tablas 2.2 y 2.3 como en las figuras 2.8 y 2.9, existen bibliotecas con mayor actividad para el intercambio de libros, tomando en cuenta envíos y llegadas de material. Para el caso del material recibido, las bibliotecas con mayor actividad son:

- Distrito Federal
- Estado de México
- Nuevo León
- Querétaro

En la figura 2.10 se puede observar el porcentaje que representan estas bibliotecas con respecto a las otras. Las bibliotecas de mayor demanda corresponden al 84% del total, mientras que las otras bibliotecas tienen un 16% del total de llegadas.

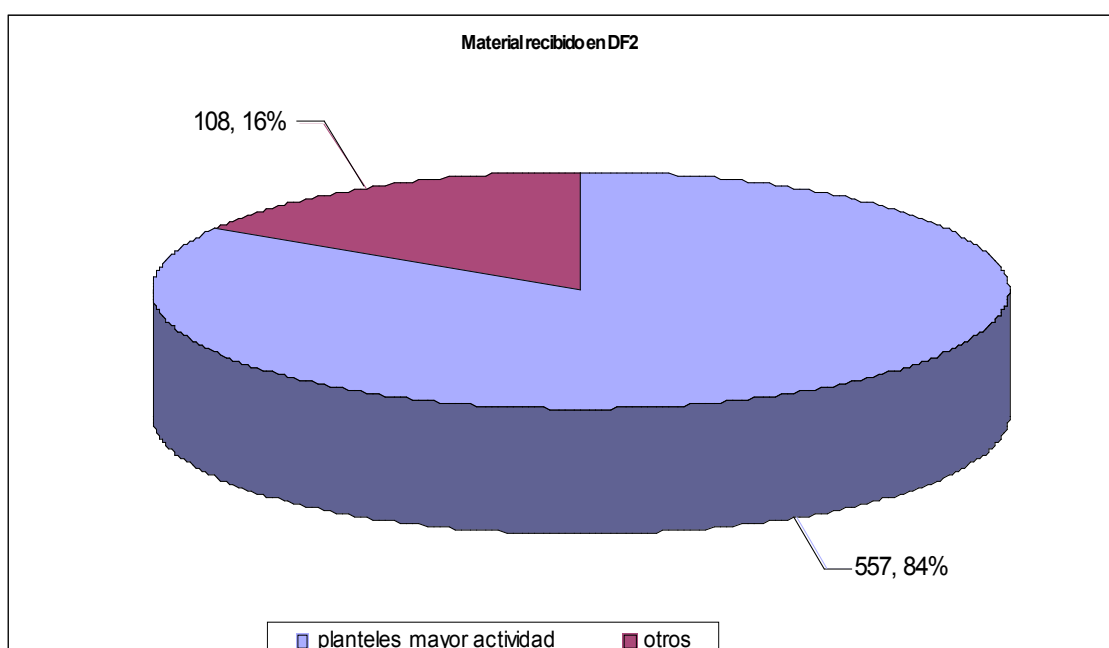


Fig. 2.10. Comparación del material recibido en las bibliotecas principales respecto a las otras.

La misma observación se puede hacer para el material enviado, lo cual se puede ver en la figura 2.11. La cantidad de libros que se envían a las mismas bibliotecas corresponde al 82% del total, manejándose 853 libros enviados durante el año. A otras bibliotecas sólo se enviaron 189 libros que corresponden al 18% del total de envíos.

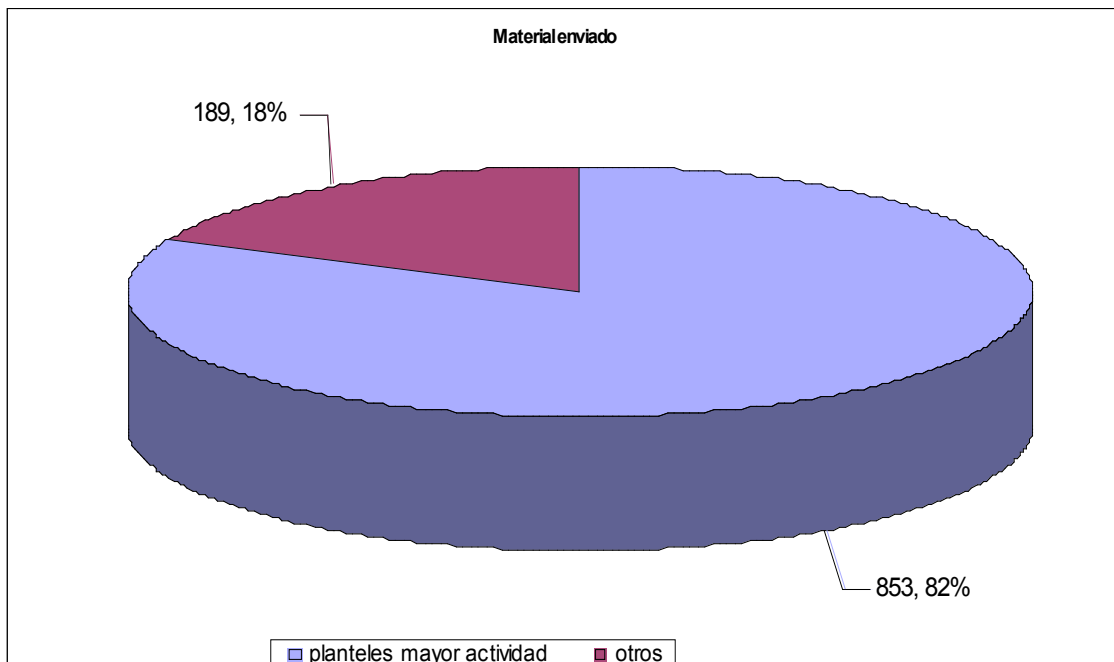


Fig. 2.11. Comparación del material enviado en las bibliotecas principales respecto a las otras.

### 2.3.2 Sistema de distribución local.

Es importante mencionar que las dos bibliotecas con mayor número de envíos y recepciones de material a DF2, que son las bibliotecas en el Distrito Federal y el Estado de México, pertenecen a un sistema de distribución local debido a la cercanía geográfica de los tres planteles. En este sistema no se utiliza el sistema de guías y en lugar de una compañía de paquetería, se utiliza un mensajero que reparte y recoge libros en las tres bibliotecas. Otra característica de este sistema es que el servicio no tiene ningún costo para la biblioteca que se está estudiando.

Dentro del modelo en computadora que se explicará más adelante, se pretende tomar como ejemplo el intercambio de material entre DF2 y una de las bibliotecas que no

corresponda al sistema de distribución local, en concreto, se utilizará la biblioteca de Monterrey debido a que es la tercera con mayor interacción. Hay dos razones importantes para esta decisión:

1. Se considera más representativo un modelo en el que existan restricciones de capacidad para el envío de libros, de manera que se puedan generar escenarios futuros que muestren situaciones útiles para el sistema.
2. Al no haber costos ni límite de capacidad para el envío de material en el caso de la distribución local, el problema pierde complejidad y se convierte en un problema de organización de material por parte de la biblioteca.

## **2.4 Ajuste de datos.**

En el apartado anterior se mostró la información obtenida. Esta información representa el 100% de los datos correspondientes al periodo de 2005.

El siguiente paso en el estudio consiste en ajustar estos datos a una distribución de probabilidad que más se adecue al sistema, para lo cual se define primero la variable aleatoria como el número de libros (enviados y recibidos) por unidad de tiempo. La unidad de tiempo que se maneja para el ajuste es una semana.

El ajuste de datos a una distribución de probabilidad específica se realiza mediante una prueba de bondad de ajuste. Este método hace una comparación de los datos tomados de la muestra con los valores esperados de una distribución. Este procedimiento se puede hacer vaciando los datos en un programa de estadística para que realice el ajuste automáticamente a la distribución que más se parezca a los datos. Para este trabajo se utiliza el programa de ajuste de ARENA versión 3.0. La razón para escoger este programa es que posteriormente se utilizará el programa de ARENA para la simulación del sistema y se requiere una distribución que se pueda manejar en el programa de simulación. Las razones para usar ARENA como programa de simulación para este estudio se explicarán en el siguiente capítulo.

Basado en los datos proporcionados, ARENA provee estimaciones de los valores de los parámetros, además de una expresión de la distribución de probabilidad seleccionada que se puede usar en el modelo. Al hacer un ajuste a una distribución de probabilidad, también se estiman sus parámetros y una medida de qué tan bien se ajustan los datos a ciertas distribuciones.

Las distribuciones de probabilidad se pueden incluir en uno de dos tipos: teóricas o empíricas. Las distribuciones teóricas generan muestras basadas en una formulación matemática. Las distribuciones empíricas dividen los datos en grupos y se calcula la proporción de valores en cada grupo. Cada tipo de distribución se divide en continua y discreta. Las distribuciones teóricas continuas que soporta ARENA para poder usar en el modelo son: exponencial, triangular, normal, uniforme, beta, Erlang, gamma, lognormal y Weibull. La distribución de Poisson es discreta, y trabaja con cantidades enteras. La distribución de Poisson se usa para describir el número de eventos que ocurren en un intervalo de tiempo (Kelton 1998)

ARENA puede ajustar cualquiera de las distribuciones anteriores a los datos proporcionados. Sin embargo el usuario es el que debe decidir acerca de la función que se va a utilizar, desafortunadamente no hay reglas establecidas para tomar la decisión. Generalmente se pueden obtener buenos ajustes con grandes cantidades de datos, pero cuando se tienen pocos datos o no se cuenta con ellos es necesario tomar una decisión para el modelo y hacer una validación posterior para ver si el modelo y la distribución son adecuados.

En el caso de una distribución teórica, existe una opción de ajustar a todas las distribuciones y probar cuál es la que mejor se ajusta. El programa automáticamente calcula estadísticos de prueba y jerarquiza las distribuciones resultantes de acuerdo a las que tengan el menor cuadrado del error ( una medida de la calidad de ajuste de los datos a la distribución).

El programa de ajuste de ARENA tiene tres medidas numéricas de la calidad de ajuste de una distribución que pueden ayudar a tomar una decisión acerca de la distribución más adecuada para los datos.

La primera medida es el cuadrado medio del error, que representa los cuadrados de las diferencias entre las frecuencias relativas de las observaciones en una celda y la frecuencia relativa de la distribución de probabilidad ajustada, correspondiente al rango de datos en una tabla de frecuencias. Si el valor de cuadrado medio del error es alto la distribución se encuentra más alejada de los datos proporcionados. El programa de ajuste de ARENA jerarquiza las distribuciones de probabilidad en orden ascendente de sus cuadrados medios del error.

Las otras dos medidas de ajuste de datos que maneja ARENA son las pruebas de bondad de ajuste Chi cuadrada y la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Estas dos, son pruebas de hipótesis que se pueden usar para comprobar si las distribuciones de probabilidad son un buen ajuste para los datos. El parámetro utilizado en estas dos pruebas es el valor  $p$ , el cual siempre se encuentra entre 0 y 1. El valor  $p$  representa la probabilidad de obtener un conjunto de datos que es más inconsistente con la distribución ajustada que con el conjunto de datos que se tienen en realidad, si la distribución ajustada es “verdadera”. Los valores de  $p$  mayores indican mejores ajustes, aunque, al igual que con cualquier prueba de hipótesis estadística, un alto valor de  $p$  no constituye una prueba de buen ajuste, sólo indica falta de evidencia en contra de la distribución.

Un valor de  $p$  de menos de 0.05 indica que la distribución no constituye un buen ajuste. Cuando se trata de ajustar o escoger una distribución no existe una manera universalmente aceptada de escoger la mejor distribución. Las pruebas mencionadas anteriormente muestran una lista de distribuciones ordenada. Si los valores de  $p$  tanto en la prueba Chi cuadrada como en K-S son lo suficientemente altos (0.1 o mayores), entonces se puede usar alguna de las distribuciones teóricas establecidas en ARENA. Esto es cierto a menos que la muestra de datos sea muy pequeña, en cuyo caso, las pruebas de bondad de ajuste no funcionan (Kelton, 1998).

En el caso de la ausencia de datos o de poca cantidad de datos, deben hacerse algunos supuestos. No existe una solución directa para estas situaciones, sin embargo se pueden hacer algunas sugerencias que funcionan o han funcionado en la mayoría de los casos (Kelton, 1998).

Kelton hace las siguientes afirmaciones:

- Si los datos que se estiman varían independientemente (un dato no influye para la generación del siguiente dato) la distribución exponencial es una buena opción. Esta distribución se usa para tiempos entre llegadas en los que no hay un proceso generando estas llegadas.
- Si los datos representan una actividad donde hay un valor “más probable” con alguna variación entre ellos, las distribuciones triangular o normal son buenas opciones, ya que representan procesos con grados de variabilidad y sus parámetros son fáciles de estimar. La distribución triangular se define con un valor mínimo, máximo y más probable, los cuales pueden ser una buena representación de un proceso real. La distribución normal se define con una media y una desviación estándar. Al ser una distribución infinita, puede contener valores muy grandes o muy pequeños de vez en cuando.
- Si no se tiene mucho conocimiento acerca del proceso se pueden determinar los valores máximo y mínimo y se puede usar una distribución uniforme, la cual se forma con valores entre el máximo y mínimo distribuidos de igual manera.
- Muchos procesos se encuentran sujetos a llegadas externas de entidades, por ejemplo, llegadas de personas, llamadas en centros de atención telefónica y sistemas de manufactura con demandas externas. En estos casos es oportuno usar un proceso Poisson para simular el sistema. La distribución de Poisson provee una manera de reflejar exactamente los patrones de llegadas basados en el tiempo.

De acuerdo con lo que menciona Kelton, se requiere tener una gran cantidad de datos para poder obtener una prueba confiable. Los parámetros de medición de ARENA indican si se hace un buen ajuste o no. Sin embargo, no en todos los casos de las bibliotecas se tienen suficientes datos.

El único indicador que el programa obtiene es el cuadrado medio del error. Por este motivo, se tomará un proceso Poisson con la media obtenida en las tablas resumen para los casos de las bibliotecas con un número reducido de datos. Esta decisión está basada



en las afirmaciones hechas por Kelton, ya que la generación de pedidos es un proceso de llegadas externas independientes. El estudio se realizará entre las bibliotecas DF2 y Monterrey, por lo que se pueden tomar los datos de las tablas para hacer el ajuste.

Posteriormente se hará una validación de la información obtenida en el programa de simulación contra la información recabada para corroborar estos supuestos.

A continuación se presenta un ejemplo de un ajuste de datos para el número de libros enviados de la biblioteca DF2 a la biblioteca en el Estado de México:

La siguiente información se refiere al resumen de la muestra obtenido por ARENA:

Data Summary

Number of Data Points = 42

Sample Mean = 11.66

Sample Std Dev = 4.51

Es necesario aclarar que los 42 datos que se mencionan en el resumen corresponden a 42 semanas de servicio de la biblioteca. La información de los 11 meses mostrado en las tablas resumen se desglosó en 42 semanas de manera que hubiera suficiente información para trabajar.

La figura 2.12 muestra la frecuencia con la que se envía material a la biblioteca del Estado de México. La línea muestra una distribución uniforme a la que se pueden ajustar los datos obtenidos.

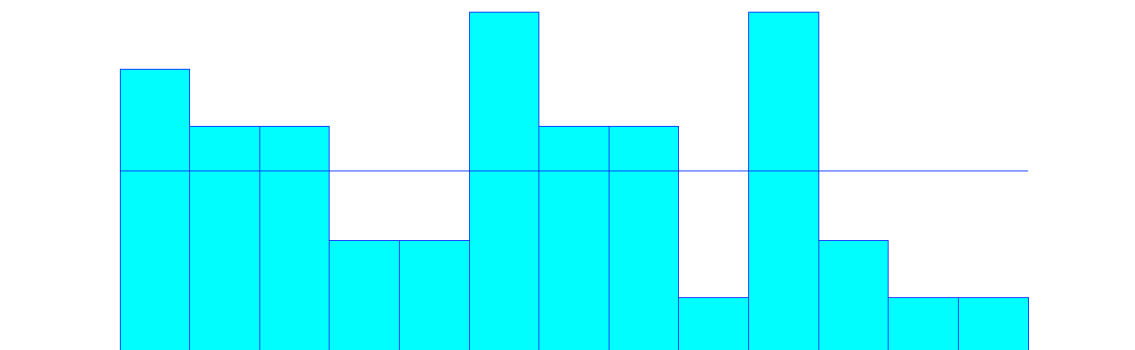


Fig. 2.12 Ajuste de datos para el número de libros enviados a la biblioteca en el Estado de México.

A continuación se muestran tanto la distribución a la que se ajustaron los datos, como los parámetros de esta distribución obtenidos también en ARENA.

### Distribution Summary

Distribution: Uniform

Expression: UNIF(0, 25)

Square Error: 0.024213

### Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 5

Test Statistic = 7.9

Corresponding p-value = 0.177

Se puede concluir, después de analizar esta información, que los datos se ajustan a una distribución Uniforme con parámetros (0,25) y para soportar esta decisión se cuenta con dos indicadores: el primero es el valor p de la prueba Chi cuadrada que es de 0.177, que de acuerdo con lo que se mencionó anteriormente, se encuentra por arriba del 0.05 y por lo tanto indica un buen ajuste. El segundo indicador es el cuadrado del error, tal vez el simple número de 0.024213 no muestra si es un buen o mal ajuste, pero si se compara con el cuadrado del error de otras distribuciones se puede observar que la distribución uniforme mencionada es una de las mejores opciones para ajustar a estos datos, sólo por debajo de la distribución Beta, como se muestra en la siguiente tabla. Una vez que se escoge una distribución, en este caso Uniforme, se hace la prueba Chi cuadrada y Kolmogorov-Smirnov para comprobar si fue o no un buen ajuste.

Function	Sq Error
Beta	0.0171
Uniform	0.0242
Triangular	0.0266
Normal	0.0281
Exponential	0.0281
Weibull	0.0285
Gamma	0.0297
Erlang	0.0352
Lognormal	0.0395

Poisson	0.0654
---------	--------

Tabla 2.4. Funciones con mejor ajuste para los datos correspondientes al material enviado a la biblioteca en el Estado de México.

Aunque la distribución beta se presenta como la mejor opción de acuerdo con la tabla anterior, funciona para datos continuos, por lo cual se escoge la distribución uniforme que es también una buena opción.

El mismo análisis se hace para los datos de otras bibliotecas, a continuación sólo se mostrarán los resultados del ajuste correspondiente a los envíos que se hicieron a Monterrey, debido a que es la biblioteca que se tomará como ejemplo para el modelo en computadora. Otros ejemplos de ajustes se pueden ver en el anexo 1.

#### Envíos de DF2 a Monterrey

##### Data Summary

Number of Data Points = 42

Min Data Value = 0

Max Data Value = 5

Sample Mean = 4.64

Sample Std Dev = 3.26

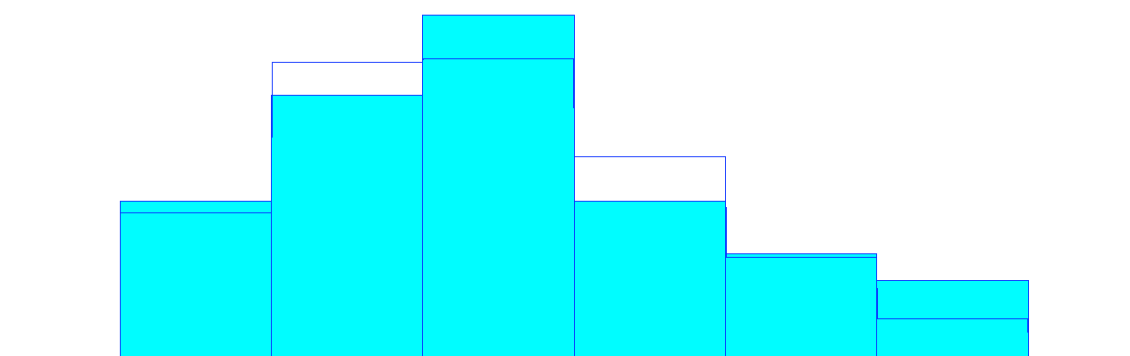


Fig. 2.13 Ajuste de datos para el número de libros enviados a la biblioteca en Monterrey.

##### Distribution Summary

Distribution: Poisson

Expression: POIS(5.06)

Square Error: 0.005233

Chi Square Test

Number of intervals = 5

Degrees of freedom = 3

Test Statistic = 1.21

Corresponding p-value > 0.75

Function	Sq Error
Poisson	0.00523
Weibull	0.00576
Gamma	0.00866
Erlang	0.00875
Triangular	0.00987
Normal	0.0108
Beta	0.0114
Lognormal	0.0186
Uniform	0.0408
Exponential	0.0637

Tabla 2.5. Funciones con mejor ajuste para los datos correspondiente al material enviado a Monterrey.

No se cuenta con un ajuste de datos para el material recibido de Monterrey debido a que hay muy poca información para establecer un ajuste. Basado en la afirmación de Kelton, la distribución que se utilizará para estos datos en el modelo de computadora es Poisson, los parámetros se ajustarán de manera que se obtengan los mismos datos de material recibido de Monterrey en el mismo periodo de tiempo, de esta manera, la expresión para la distribución Poisson correspondiente al material recibidos se obtendrá en el mismo experimento de simulación.

Otro ajuste que interviene en el modelo es el tiempo de lectura, este tiempo se obtuvo de registros aunque no representa el tiempo de lectura exactamente, ya que en ocasiones también existe un tiempo entre la llegada del libro a la biblioteca y el momento en el que el usuario lo recoge. El tiempo de lectura permitido es de 7 hasta 21 días como

máximo, sin embargo en la distribución también se toman en cuenta los retrasos en las devoluciones de material por parte del usuario.

A continuación se presenta el ajuste de datos para el tiempo de lectura.

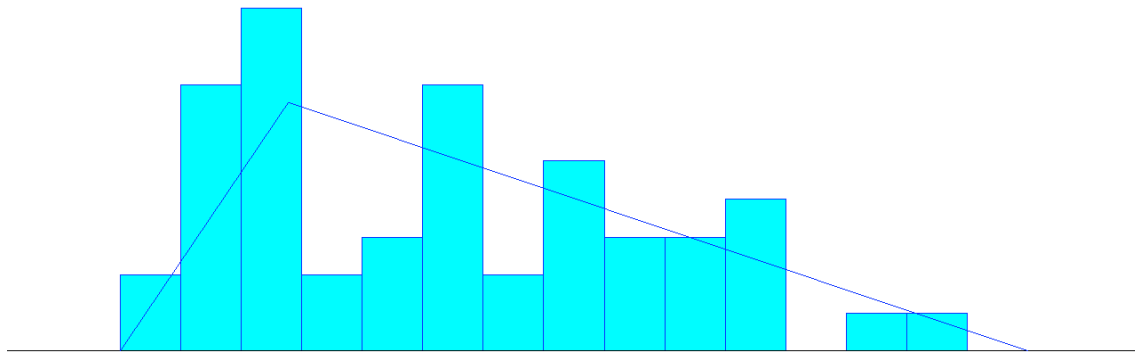


Fig. 2.14 Ajuste de datos para el tiempo de lectura.

#### Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression:  $\text{TRIA}(7.5, 12.5, 34.5)$

Square Error: 0.024895

Chi Square Test

Number of intervals = 7

Degrees of freedom = 5

Test Statistic = 8.38

Corresponding p-value = 0.149

Function	Sq Error
Triangular	0.0436
Weibull	0.0462
Gamma	0.0466
Erlang	0.0477
Beta	0.0487
Lognormal	0.0505
Normal	0.0583

Uniform	0.0638
Exponential	0.0649
Poisson	0.13

Tabla 2.6. Funciones con mejor ajuste para los datos correspondiente al tiempo de lectura.

La tabla 2.7 muestra un resumen de los ajustes hechos para el número de libros enviados y recibidos de la biblioteca en Monterrey, así como para el tiempo de lectura. Estas funciones se utilizarán en el programa de simulación que se describe en el siguiente capítulo.

Variable	Distribución	Expresión
Número de libros enviados a Monterrey	Poisson	POIS(5.06)
Número de libros recibidos de Monterrey	Poisson	A obtenerse durante la simulación
Tiempo de lectura	Triangular	TRIA(7.5, 12.5, 34.5)

Tabla 2.7. Resumen de las funciones ajustadas para los datos de las bibliotecas entre DF2 y Monterrey.

## 2.5 Conclusión del capítulo.

Este capítulo se enfoca al sistema bajo estudio. Después de una descripción de la problemática se describe el sistema con el que se va a tratar con todos sus componentes, incluyendo el suprasistema al cual pertenece y los componentes que pertenecen al sistema.

Se describió al sistema de acuerdo a su naturaleza y se le comparó con una cadena de suministros con las características que se describen en el capítulo 1. Además se mencionó que el sistema funciona con logística inversa debido a la acción de enviar y recibir el material con el que se trabaja.

De acuerdo a lo establecido acerca de los estudios de simulación, se delimitó el estudio, es decir, se conocen las partes que se incluyen en el trabajo y las partes que no, las

cuales pueden incluirse en estudios posteriores. Además, se establecieron los objetivos de este trabajo respecto a las características del sistema descritas previamente.

Una vez que se tiene una idea general del funcionamiento del sistema de préstamo interno, se ofreció una descripción numérica del funcionamiento del mismo, lo cual corresponde a los datos recolectados del sistema, y forma parte de un estudio de simulación, como se mencionó en el primer capítulo.

Finalmente se obtiene información importante de los datos recolectados. Esta información será usada en el modelo computacional de simulación, el cual forma parte del siguiente capítulo.

Al respecto de la información se puede decir que es preferible tener mucha información para hacer un análisis más confiable, sin embargo, en ocasiones no es posible recolectar la suficiente información y es necesario hacer ciertos supuestos acerca de cómo se debería comportar el sistema. No quiere decir que con mucha información se esté tomando una decisión 100% certera, simplemente es una mejor aproximación al comportamiento real del sistema. En el siguiente capítulo se hará una validación del modelo de simulación, la cual consiste en comparar los datos obtenidos del programa con los datos recolectados del sistema. Esta validación puede confirmar los supuestos hechos en este capítulo, o bien, rechazar los supuestos, con lo que se tendrían que formular otros.

## Capítulo 3

### Selección del software, modelo, verificación y validación

#### Introducción.

Este capítulo comprende todo lo referente al programa de simulación. Primero se describirá la elección del programa y la justificación para dicha elección. Posteriormente, se hará una breve explicación del funcionamiento del programa de cómputo para facilitar la comprensión de las actividades que se llevaron a cabo dentro del programa y el objetivo de cada una de ellas. Después de describir el modelo de cómputo elaborado, se describen tanto la verificación como la validación de dicho modelo. Finalmente, se explican los experimentos realizados, así como su justificación, es decir, el motivo de hacer cada experimento.

#### 3.1. Selección del programa de cómputo.

El sistema que se quiere modelar en este trabajo corresponde a una cadena de suministros que involucra logística inversa.

A continuación se presenta una lista de algunos programas de simulación que sirven para simular cadenas de suministros:

Nombre	Aplicaciones	Requerimientos	Animación	Disponibilidad	Experiencia del Programador
ARENA	Manufactura, transporte, inventarios, canales de	Windows 98, 2000, XP	Sí	Versión Estudiantil	Sí



	suministro.				
GPSS	Propósito general	Windows 95, 85, 2000	No	Disponible	Sí
ProModel	Manufactura, cadenas de suministros	Win 95, 98, 2000, XP	Sí	Versión estudiantil	Mediana
Simul8	Manufactura, canales de suministro, programación continua	Win 95 o superior	Sí	Versión Web	No

Tabla 3.1. Lista de programas de simulación más adecuados para el trabajo.

Los criterios más importantes para la selección del programa de simulación son la disponibilidad y la experiencia que el programador tenga con el programa. La disponibilidad del programa se refiere al grado de acceso que se tiene a alguna versión del programa. La experiencia del programador es el conocimiento de los elementos y del funcionamiento del programa.

El factor de costos en esta selección no se incluye debido a que el precio de un programa en su versión completa es muy alto. Para hacer un modelo básico, se utiliza una versión reducida del programa con ciertas restricciones, y en caso de contar con una versión completa se traslada a ella el programa reducido.

Otro factor a tomar en cuenta es la animación. Se considera un factor importante cuando el resultado de la simulación se va a mostrar a un cliente, de manera que éste pueda “ver” el comportamiento del modelo.

Es importante mencionar que el programa ARENA cuenta con una estructura que permite el uso de módulos y sub-módulos, que es lo más adecuado para representar las distintas actividades dentro del modelo (Kara, 2006)

Tomando en cuenta los criterios de selección, el programa que tiene más ventajas es ARENA. Cuenta con animación, es accesible, se encuentra disponible en versión estudiantil y es el programa del que más se conoce por experiencia.

## **3.2 Breve Descripción del Funcionamiento del Programa de Simulación ARENA 3.0**

En esta sección se describen algunos de los elementos básicos de que componen el programa de simulación con el que se va a trabajar. Estos elementos se pueden encontrar en distintos programas de simulación ya que son comunes dentro del concepto de simulación.

### **3.2.1 Elementos del programa**

ARENA es un programa de simulación especializado en eventos discretos, aunque también puede servir para simulación continua. Los elementos que componen al sistema son: entidades, atributos, variables, recursos, acumuladores estadísticos, reloj y eventos.

Las entidades son los agentes que se mueven a lo largo del modelo, cambian su estado, afectan a otras entidades, en general, son los objetos dinámicos en la simulación. Generalmente siguen una ruta de creación, proceso y salida del sistema, aunque existen entidades que circulan en la simulación y nunca abandonan el modelo.

Los atributos son características de las entidades en la simulación, pero con valores específicos que pueden ser diferentes de una entidad a otra. Se utilizan para individualizar a las entidades. Algunos ejemplos de atributos son: tiempo de llegada, prioridad, tiempo de proceso, color y pertenencia a una secuencia específica.

Las variables son trozos de información que reflejan alguna característica del sistema sin importar cuántas entidades se encuentren en la simulación. Las variables, a diferencia de los atributos, no se encuentran ligados a una entidad en particular, sino que pertenecen al sistema. Existen dos tipos de variables en ARENA, las variables definidas por el programa, como el número de entidades en la cola, porcentaje de uso del servidor, tiempo de espera, entre otras; y las variables definidas por el usuario como cambios de turno, y número de entidades, entre otras.

Los recursos son elementos que toman entidades, las procesan y después las liberan para continuar en el sistema cuando haya terminado el proceso.

Los acumuladores estadísticos llevan la cuenta de las variables en la medida que progresa la simulación. La mayoría de estos acumuladores existen pero son invisibles durante la simulación a menos que se requiera de ellos. Algunos ejemplos de acumuladores estadísticos son: número de partes que llegan, se procesan o salen del sistema; tiempo de espera en la cola, tiempo de uso del servidor, entre otros.

El reloj de la simulación es un elemento que mide la variable de tiempo en la simulación. Este tiempo de simulación es distinto al tiempo real, no toma en cuenta todos los flujos de tiempo, es decir, “brinca” del tiempo en el que fue programado un evento al tiempo del siguiente evento.

Un evento es algo que ocurre en un instante del tiempo de la simulación que puede cambiar atributos, variables o acumuladores estadísticos. Algunos tipos de eventos manejados en ARENA son llegadas, salidas, servicios y transportes entre otros.

### **3.2.2 Módulos.**

Para manejar los elementos en la simulación, ARENA cuenta con módulos. Cada módulo puede manejar variables, atributos, eventos, etc., dependiendo de su función. Por

ejemplo, el módulo ARRIVE (llegada) maneja el evento de llegada de entidades, maneja la variable de tiempo de llegada, proporciona atributos como color, forma, llegada, y secuencia, lleva un acumulador estadístico para el número de entidades que entran al sistema, etc.

Los módulos se encuentran agrupados en conjuntos de acuerdo al nivel de programación que se requiere para usarlos. Los conjuntos o paneles se listan a continuación:

a) COMMON: Contiene los módulos comúnmente usados en los modelos de simulación. Prácticamente tiene todas las funciones que se requieren para una simulación. Los módulos contenidos en este panel son fáciles de usar y corresponden a la simulación de alto nivel.

b) SUPPORT: Contiene los módulos de los que se forma el panel COMMON pero a un nivel de mayor detalle. Permiten un programa de simulación con mayor flexibilidad.

c) TRANSFER: Los módulos contenidos en este panel se encuentran en el mismo nivel de simulación que los módulos de SUPPORT, por debajo de los módulos de COMMON, pero se refieren solamente a operaciones de transferencia y transporte de entidades entre un módulo y otro.

d) BLOCKS y ELEMENTS: Contienen los módulos usados por el lenguaje SIMAN, que es el lenguaje usado para programar ARENA. Proporcionan la mayor flexibilidad y se encuentran en el nivel más bajo de simulación que proporciona este programa.

### **3.2.3 Animación**

ARENA cuenta con un panel de animación que ayuda a la presentación del modelo. La animación no es necesaria para que funcione el programa de simulación ni para la obtención de resultados, pero puede llevar a una mejor comprensión del modelo sobre

todos si éste contiene entidades moviéndose a lo largo del sistema o si se quiere observar la situación de una variable mientras el modelo está corriendo. Además, una de las ventajas más importantes de la animación es la facilidad con la que otras personas (que no conozcan el programa) pueden comprender el modelo.

Dentro del panel de animación se encuentran elementos como rutas, enlaces, distancias, redes de transferencia, gráficas, contadores, relojes, dibujos para almacenamiento y transporte, estaciones y áreas de estacionamiento. Cada uno de estos elementos representa a un módulo o a una entidad del programa.

Además se cuenta con funciones de dibujo para trazar líneas, figuras, polígonos, cuadros y texto similares a las que se encuentran en otras aplicaciones de ambientes más familiares como Windows o Microsoft Office. Estas funciones también incluyen colores, líneas y rellenos para las figuras.

Para una descripción detallada del funcionamiento y las características de los módulos usados en el programa de simulación ARENA se recomienda ver el apéndice 1.

### **3.3 Elaboración del Programa de Simulación.**

Para poder elaborar un programa de simulación es indispensable definir lo que se va a medir.

Uno de los objetivos de este modelo de simulación es la medición de costos. La variable que indica los costos de envío es el número de guías. Es importante que el programa se elabore alrededor de esta variable. La compañía de paquetería tiene un precio por guía enviada y es lo que determina los costos totales. Las guías recibidas no tienen un costo para la biblioteca en el Distrito Federal, sin embargo es importante medirlas para calcular un costo de todo el sistema, además de que indican cuántos libros tendrán que ser devueltos en algún momento.

Un programa básico de simulación proporciona los resultados que se desean mediante la medición de esta variable, sin embargo, uno de los objetivos de este trabajo es contar con un modelo de simulación de una cadena de suministros en la que se cuente con un envío y regreso de productos, es decir, donde se aplique el concepto de logística inversa. Este objetivo hace que el modelo sea más complejo pero puede servir de base para futuros modelos que incluyan no sólo el punto de vista de una biblioteca sino de las bibliotecas de todo el sistema.

También, dentro de los objetivos del estudio de simulación se incluye la elaboración de un modelo en el que se muestre el funcionamiento de la cadena de suministros y el flujo de material en ambos sentidos, haciéndolo lo más apegado posible a la realidad.

El modelo computacional muestra un conjunto de módulos en los que se observa la interacción que existe entre dos bibliotecas únicamente. Para el primer programa se tomaron la biblioteca del Distrito Federal (DF2) y la de Monterrey. Este modelo entre dos bibliotecas se puede aplicar para cualquier otro, ya que el funcionamiento es el mismo, sólo cambian los datos de llegadas y políticas de envío (fechas de envío, esperas, etc.), dependiendo de la biblioteca que se trate. Esto es posible debido a que la biblioteca bajo estudio (DF2) tiene el mismo mecanismo de envío de paquetes para todos los destinos, además de que los paquetes no se mezclan. Es posible que la compañía de transporte utilice la misma ruta de envío para diferentes destinos. En este caso sería necesario hacer un análisis de ruta, y por tratarse de políticas de la compañía de transporte no está dentro del alcance de este trabajo.

La razón por la que se decidió usar para el primer modelo la biblioteca del Distrito Federal y de Monterrey, es por que entre éstas dos se da uno de los mayores flujos de material, sólo por debajo del flujo de la biblioteca en el sur de la Ciudad de México y Estado de México. Sin embargo, estas dos bibliotecas cuentan con un sistema de distribución local con la biblioteca de DF2 debido a su cercanía geográfica. El modelo de distribución local tiene otro funcionamiento.

### **3.3.1 Lógica del modelo de dos bibliotecas.**

El programa inicia con la definición de las estaciones. Se requiere una estación por biblioteca en donde se reciben los libros, ya sea de la biblioteca local o bien, los libros que van a ser devueltos. Posteriormente, en la misma estación se forman paquetes de libros dependiendo de la cantidad de ellos y finalmente salen en un transporte hacia la biblioteca destino. Si son dos bibliotecas en el modelo, se requieren dos estaciones con las mismas características.

También se requieren dos servidores, uno por cada biblioteca, que funcionen como usuarios de libros que representan personas que hacen uso del producto. En la realidad no se tiene un usuario en cada biblioteca sino muchos, esto se puede modelar como un servidor con capacidad para manejar un número grande de entidades, para lo cual se establecen servidores con capacidad para manejar muchas entidades.

Por cada biblioteca se necesitan un módulo de llegada y uno de salida de entidades. El primero simula los pedidos de otras bibliotecas y se conecta con la estación de proceso de libros. El segundo simula el regreso de entidades a los estantes de la biblioteca origen.

Es importante contar con un sistema de elaboración de paquetes dependiendo del número de libros que se encuentren disponibles y no de uno número definido de libros por paquete. También es necesario un dispositivo que permita que las entidades que excedan la capacidad del paquete se agrupen de otra forma y se contabilicen.

Posteriormente se requiere definir una secuencia por cada llegada de libros al sistema de manera que cada entidad siga una ruta definida a lo largo del modelo. Esta ruta debe tener un inicio, una ruta entre distintas estaciones, y una salida.

Finalmente se definen las unidades de transporte, encargadas de mover las entidades a lo largo del sistema y las distancias correspondientes entre cada uno de los módulos de

manera que las unidades de transporte realicen un recorrido similar al que harían en la realidad.

### **3.3.2 Descripción detallada de la elaboración del programa de simulación.**

En esta sección se describe en detalle la elaboración del programa de simulación y está enfocada a programadores o personas que hayan usado previamente el programa ARENA. La explicación en este apartado puede servir como base para modelar situaciones similares. Si el lector no está interesado en el funcionamiento detallado del programa puede seguir a la sección 3.4 en la que se explica la verificación del programa de simulación.

Para este modelo de dos bibliotecas se tomaron como ejemplo las bibliotecas del Distrito Federal (DF2) y de Monterrey.

El primer módulo en definir es el servidor que representa al usuario de cada biblioteca. El nombre del módulo es “usuariodf2” para la biblioteca del Distrito Federal y “usuariomty” para monterrey, automáticamente el recurso se nombra como usuariodf2\_R o usuariomty\_R. Primero se indica la forma en la que llegan las entidades. Es necesario liberar un transporte, sin especificar cual. Posteriormente se especifica la capacidad del servidor, en este caso de 5 y el tiempo de proceso. El tiempo de proceso se puede especificar ahí mismo mediante una función de distribución, sin embargo es conveniente usar una expresión ya que al ser dos servidores es más fácil cambiar los parámetros de la distribución en la expresión que en cada uno de los servidores, sobre todo pensando en que el número de servidores va a ser mayor con la adición de otras bibliotecas.

De esta manera se define una expresión “tiempolectura” con un valor  $TRIA(7,12,34)$ . Esta distribución se hizo mediante un ajuste de datos en el capítulo anterior y representan, en días, el tiempo que tarda un usuario para hacer uso del libro, contando el periodo



normal y de resello de acuerdo al ajuste que se hizo para estos datos en el capítulo anterior. Para un trabajo extendido es posible hallar parámetros para cada biblioteca.

Finalmente se define la forma en la que salen los libros del módulo de proceso para lo cual se indica la requisición de una unidad de transporte, además se indica que al salir, los libros siguen una secuencia determinada, por lo que no se especifica la siguiente estación.

Los usuarios reciben únicamente libros de otras bibliotecas y los regresan a la biblioteca local para que sean devueltos, por lo que ahora se definirá la estación encargada de devolver los libros.

Esta estación es la más compleja de todo el modelo ya que recibe libros tanto del usuario, que necesitan ser devueltos como pedidos del módulo de llegada que necesitan ser enviados a la otra biblioteca, ambos deben ser agrupados y transportados, pero además, se requiere que este proceso se realice cada determinado tiempo (cada 7 días en este caso, aunque puede variar dependiendo de la biblioteca destino). Por el nivel de detalle que requiere esta estación, no se puede usar un módulo del tipo *Server*, como se hizo con el usuario, más bien, se utilizará un conjunto del tipo *Enter – Process – Leave*, sin contar con el elemento *process* ya que éste no cuenta con actividades lo suficientemente detalladas para los fines del modelo. La estación está elaborada de la siguiente manera:

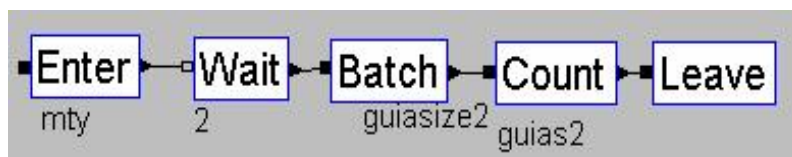


Fig. 3.1. Arreglo de módulos en la estación de formato de lotes.

La estación se llama “mty” para monterrey y “df2” para el Distrito Federal, aunque ambas tienen el mismo funcionamiento.

Los módulos *Enter* y *Leave* pertenecen al bloque COMMON de programación avanzada, mientras que *Wait*, *Batch* y *Count* pertenecen al bloque SUPPORT de programación detallada.

En el primer módulo (*Enter*) se define la estación y la forma de llegada de entidades, por lo que se requiere liberar un transporte. Las entidades pueden llegar del módulo *Arrive* si son de la propia biblioteca o del usuario si son de otra biblioteca y se utilizaron. Posteriormente se encuentra un módulo de espera, las entidades que crucen este módulo esperarán ahí hasta que llegue una señal, en este caso se espera una señal (2), se define una línea de espera donde se almacenan las unidades mientras esperan la señal.

Una vez que se recibe la señal (2), las unidades forman paquetes en el módulo *batch*, estos paquetes incluyen los dos tipos de libros, envíos y devoluciones, cada uno con una secuencia distinta, pero deben de formar los mismos paquetes en esta estación. El número de libros que tienen los paquetes corresponde al número que esperaba en la cola, no es un número constante de libros ya que dependen de los pedidos y de las lecturas que ya se hayan hecho, por lo que se debe introducir una nueva variable llamada “guiasize2” que permite formar paquetes sólo con lo que está en la línea de espera, esta variable se define posteriormente en otro módulo. Es importante mencionar que los paquetes que se formen, posteriormente se separarán, por lo que se especifica la opción “lote temporal” como se puede ver en la siguiente figura:

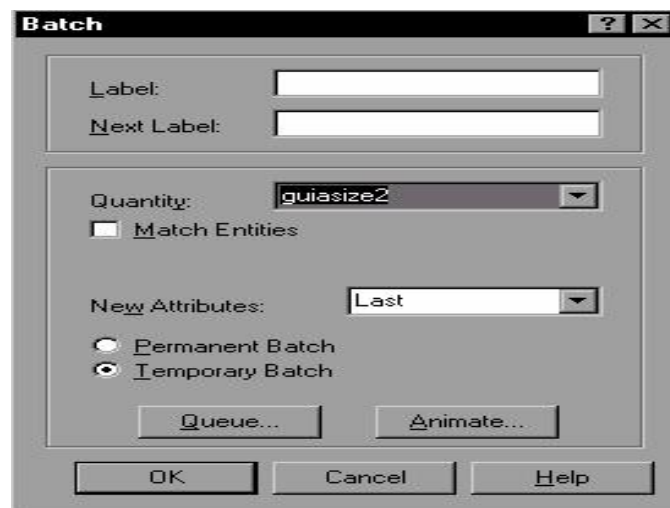


Fig. 3.2. El módulo *Batch*.

El siguiente módulo en la cadena es un contador, se encarga de acumular el número de entidades que pasan por él, en este caso, el contador se incrementará cada vez que un paquete pase por ahí, ya que estos se formaron en el módulo anterior. Este contador sirve para medir una de las variables de importancia del modelo, el número de paquetes que se envían.

Finalmente, las entidades en forma de paquetes salen de la estación en el módulo *Leave*, en donde se hace la solicitud para una unidad de transporte.

Así se explica el funcionamiento de la estación, sin embargo, se necesita definir la señal para que las unidades dejen el módulo *Wait* y definir la variable que forma el tamaño de guías *guiasize2*. Para lograr esto se define otro conjunto de módulos que se muestran a continuación:

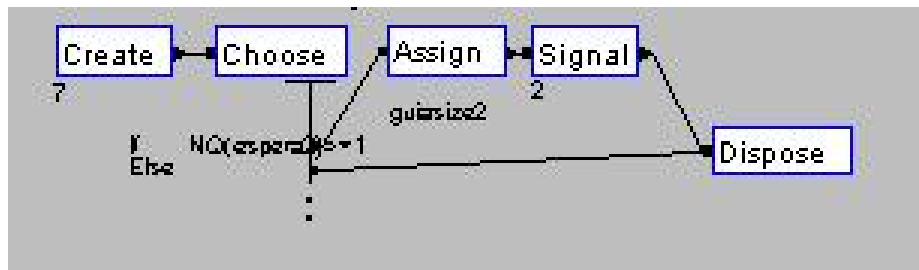


Fig. 3.3. Arreglo de los módulos para la definición de la señal (2) y la variable *guiasize2*

Este conjunto es clave para que el modelo represente la realidad de lo que sucede dentro de la elaboración de pedidos. Todos los módulos pertenecen al bloque de simulación detallada SUPPORT.

El primer módulo, *Create*, representa una llegada en paralelo de entidades, estas entidades no son libros, sino otro tipo de entidades que siguen un proceso y luego salen del sistema. Dentro de este módulo sólo se especifica el tiempo entre llegadas, 7 (unidades en días). En el sistema real, los libros se mandan cada siete días a otras bibliotecas, sin embargo, el programa de simulación no cuenta con variables de tiempo

para indicar a los libros que tienen que esperar siete días para ser enviados, es por esto que se usa una creación de entidades en paralelo.

Las entidades posteriormente pasan por un módulo lógico, *Choose*, que hace referencia a la línea de espera del módulo *Wait* definida anteriormente. Aquí las entidades siguen uno de dos caminos. Las condiciones se pueden observar en la siguiente figura:

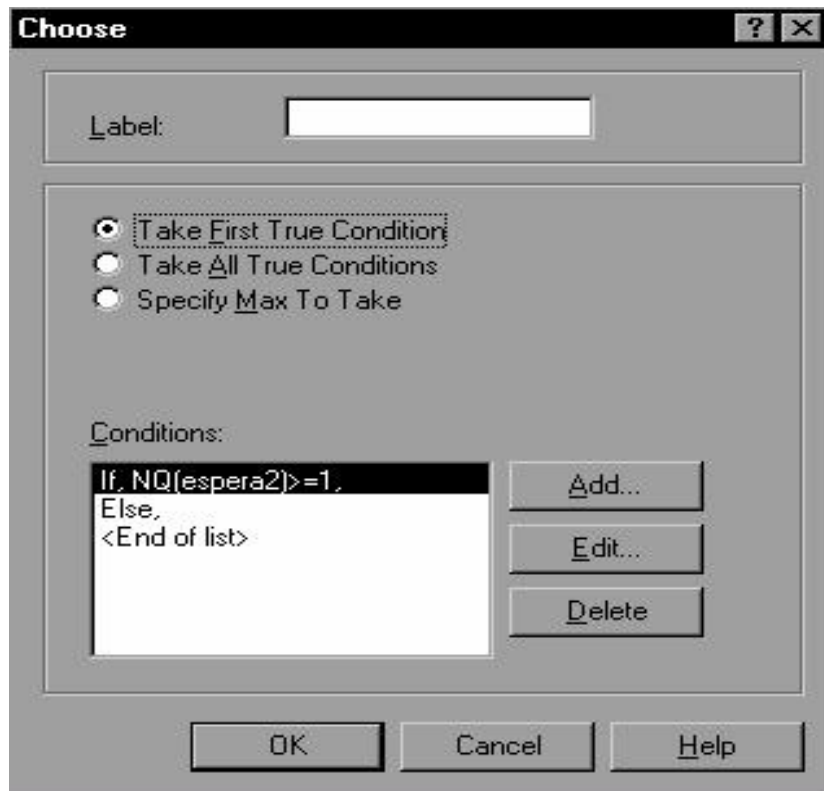


Fig. 3.4. El módulo Choose.

De la figura 3.4, la especificación `If, NQ(espera2)>=1,` toma como condición el número de entidades (NQ) en la línea de espera llamada *espera2*, correspondiente al módulo *Wait*. Si el número de libros en dicha cola es mayor o igual a 1, la entidad que llega a este módulo continúa al módulo *Assign*, en caso contrario (si no hay libros en la cola) la entidad sale del sistema mediante el módulo *Dispose*. Este sistema permite que se creen entidades cada siete días, pero en la realidad es posible que no se encuentren libros para enviar cada siete días exactamente, si este es el caso, los lotes no se pueden formar con

cero unidades en la línea de espera, las entidades creadas en paralelo no tiene ninguna función y salen del sistema.

Pero si existe por lo menos un libro esperando ser agrupado, la entidad en paralelo continúa al módulo *Assign*, en este módulo se define y asigna una variable llamada *guiasize2*, que es la misma que se usa en el módulo *Batch* definido anteriormente.

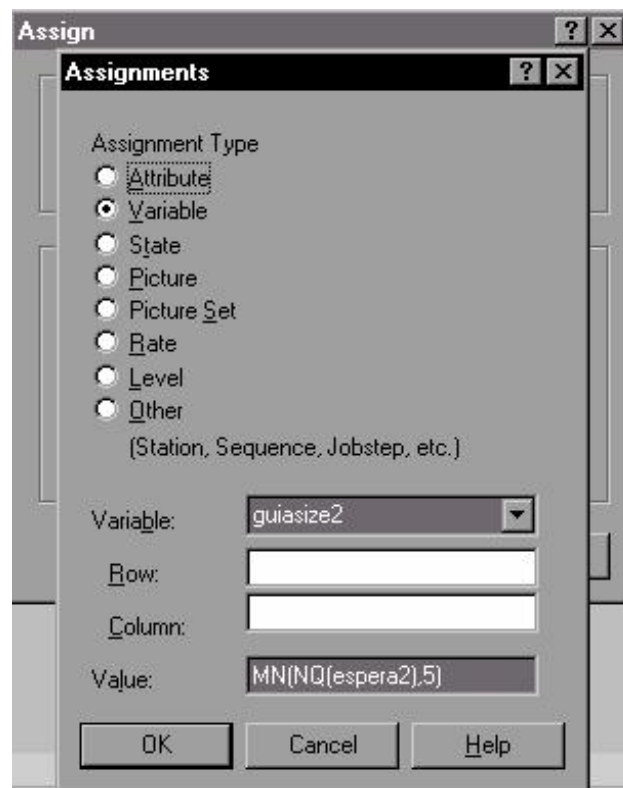


Fig 3.5. El módulo de Asignación de variables.

En la figura 3.5 se puede observar el valor de la variable *guiasize2*,  $MN(NQ(espera2),6)$ , esta función también es lógica y permite a la variable escoger el valor mínimo (MN) entre el número de entidades (NQ) en la fila *espera2*, y un valor de máximo, en este caso, seis, por poner un ejemplo. El máximo número de libros por paquete es seis, y se puede especificar en este módulo, o bien, crear una variable de nombre “maxbatch” mediante el módulo *Variables* con un valor inicial de 6, y cambiar la expresión por

$MN(NQ(espera2, maxbatch))$  esto permitiría cambiar el valor del máximo número de libros por paquete para todos los módulos.

La finalidad del módulo *Assign* es que el paquete contenga únicamente el número de libros que estaban esperando en la fila y no esperar a que los paquetes se formen con un número determinado de unidades.

Una vez que se tiene un paquete formado, se manda la señal en forma de una expresión (2) que le indica al módulo *Wait* que puede liberar las entidades que estaban esperando. Finalmente, las unidades salen del modelo en el módulo *Dispose*.

Este sistema representa exactamente la forma en la que funciona el sistema. Sin embargo, no es un sistema adecuado para realizar experimentos, sobre todo si se quiere simular un aumento en la demanda y por lo tanto un aumento en el número de libros que llegan al sistema. Si las entidades en la cola del módulo *Wait* exceden al número máximo permitido en el paquete, los lotes se formarán con el número máximo de lote, definido anteriormente como cinco. Se podría aumentar el número máximo pero el modelo no representaría la realidad del sistema. Por lo tanto se propone un nuevo arreglo para el modelo, el funcionamiento es el mismo, la diferencia es que se cuenta con una línea de espera adicional y un módulo *Batch* adicional, ambos se activan únicamente si las entidades en *espera2* son mayores al máximo número permitido en el paquete. El nuevo arreglo se muestra a continuación:

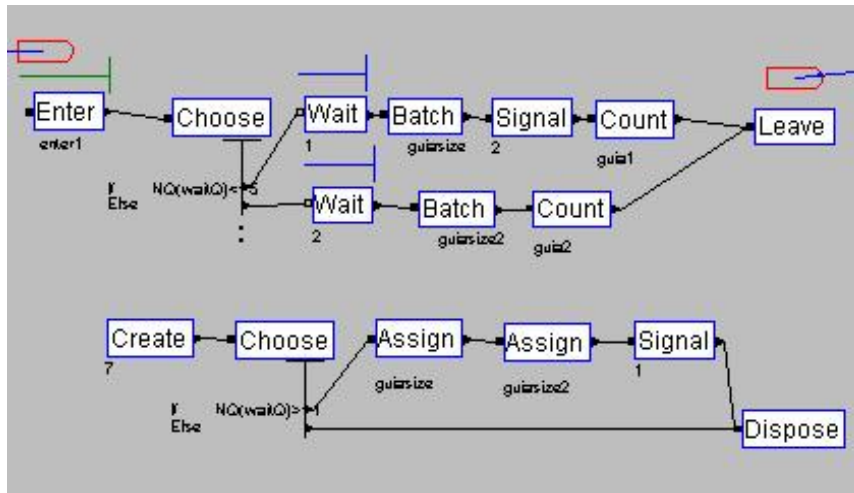


Fig 3.6. Arreglo de módulos para la formación de lotes tomando en cuenta un aumento de demanda.

Se puede observar el aumento de módulos con respecto al arreglo inicial tanto en la estación como en la creación de entidades en paralelo. De acuerdo al arreglo, las entidades entran a la estación, y escogen uno de dos caminos. El primer módulo de espera funciona siempre, el segundo sólo en caso de que la cola en el primero esté llena. La manera en que los módulos están conectados permite que el proceso sea instantáneo, una vez que las entidades salen de la cola y forman lotes, se envía una señal a la otra cola para liberar las entidades que se encuentren ahí en caso de que las haya. La creación de lotes es instantánea y ambos tienen la misma salida de la estación.

Después que las entidades salen de la estación en forma de paquetes y sean transportadas a su destino, requieren un mecanismo que separe las entidades para que cada una siga un camino diferente. Esta estación de recepción de paquetes se muestra a continuación:

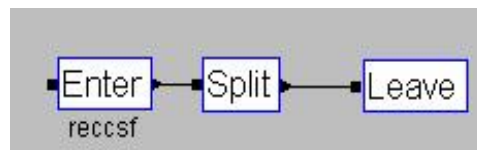


Fig. 3.7. Arreglo de módulos para la separación de lotes.

Dado que los paquetes se mueven utilizando una unidad de transporte es necesario colocar un módulo *Enter* para liberar la unidad. Posteriormente las unidades pasan por un módulo *Split* que se encarga de separar los paquetes permitiendo que las entidades conserven sus atributos originales, entre ellos la secuencia que cada uno debe seguir en el modelo. En este momento se tienen dos entidades, los libros que se dirigen a un usuario para ser procesados (lectura) y las devoluciones que salen del sistema. Se consideró otro tipo de transporte interno para este último tipo de unidades por lo que se requiere un módulo *Leave* que solicite una unidad de transporte interno.

Cada biblioteca tiene un módulo de entrada y salida de entidades. Los módulos de salida contienen un contador que no tiene otra función que verificar el programa, es decir, revisar si el número de entidades que entra es igual al que salen. Los módulos de llegada especifican la distribución de probabilidad con la que llegan las entidades y asignan un atributo de secuencia a cada entidad, de manera que todos los libros que llegan desde la biblioteca del Distrito Federal tienen una ruta definida distinta a la de las entidades que llegan desde otras bibliotecas.

Para este modelo se usan dos secuencias dependiendo del lugar en el que se dan las llegadas.

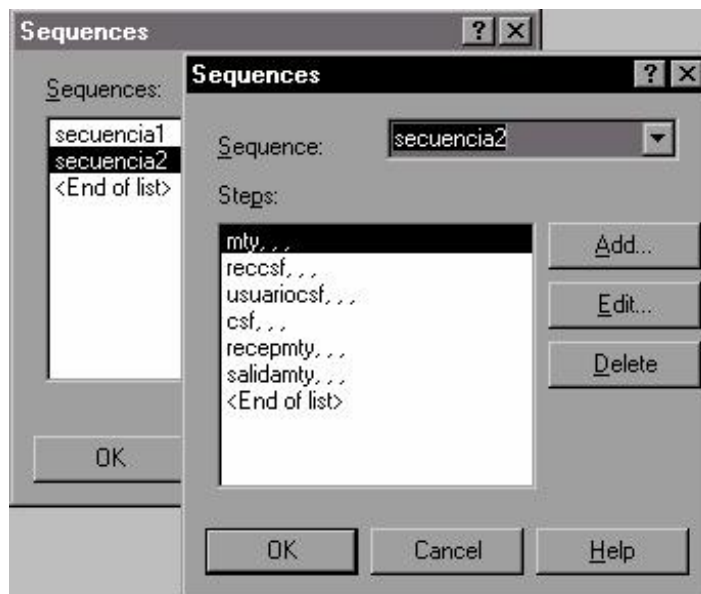


Fig. 3.8 Ventana del módulo de secuencias. Se puede observar la ruta que siguen las entidades.



En la figura se pueden observar dos ventanas. La ventana del fondo contiene los nombres de las dos secuencias. La ventana de enfrente contiene la ruta de la secuencia 2, esta secuencia corresponde a la ruta que siguen los libros que salen de la biblioteca monterrey y regresan a la misma estación. El siguiente esquema muestra el recorrido de unidades provenientes de Monterrey en el modelo:

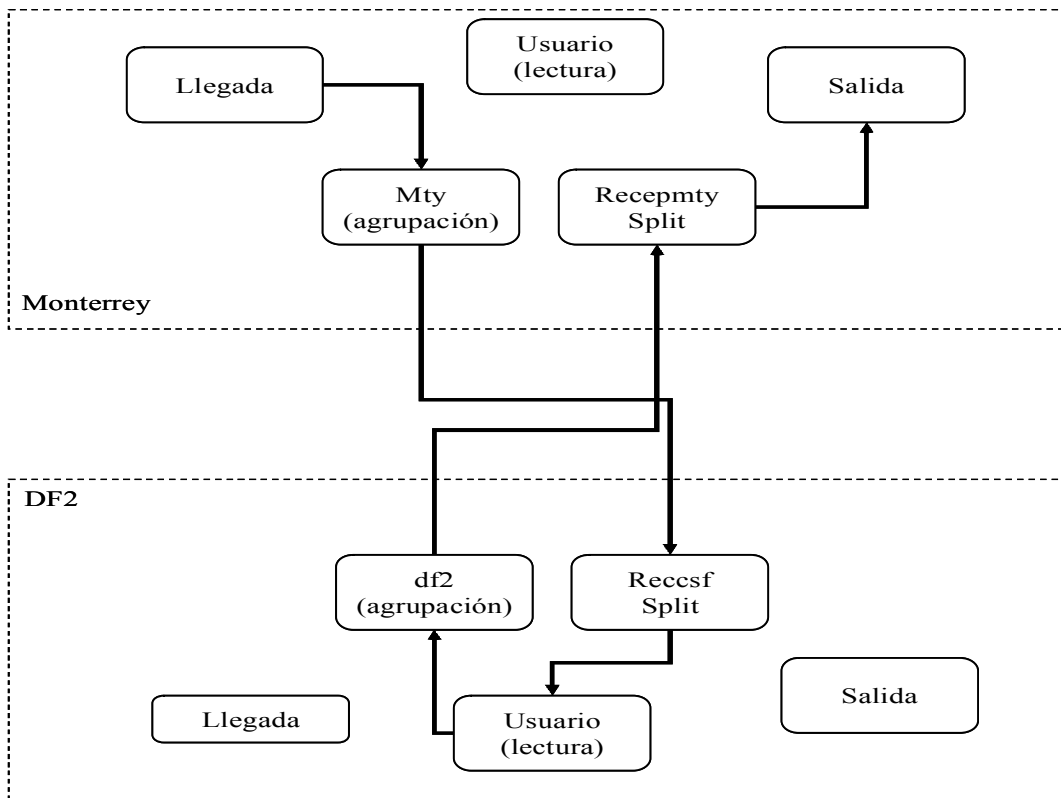


Fig. 3.9. Recorrido de las entidades que salen de la biblioteca en Monterrey. Elaboración propia.

1. (mty). La llegada de unidades no se especifica en la secuencia ya que en el módulo de llegada se asigna la secuencia de nombre *secuencia2*. Anteriormente se definió la estación mty, su función es agrupar los libros en paquetes.
2. (reccsf). Recibe los paquetes de libros y los separa en entidades independientes.
3. (usuario). Nombre del servidor que representa la lectura de libros.
4. (df2). Similar a mty, agrupa los libros en paquetes.
5. (recepmtly). Recibe los paquetes de libros y los separa en entidades independientes.
6. (salidamty). Las unidades salen del sistema.

Así mismo se muestra la secuencia de las unidades que salen de la biblioteca del Distrito Federal.

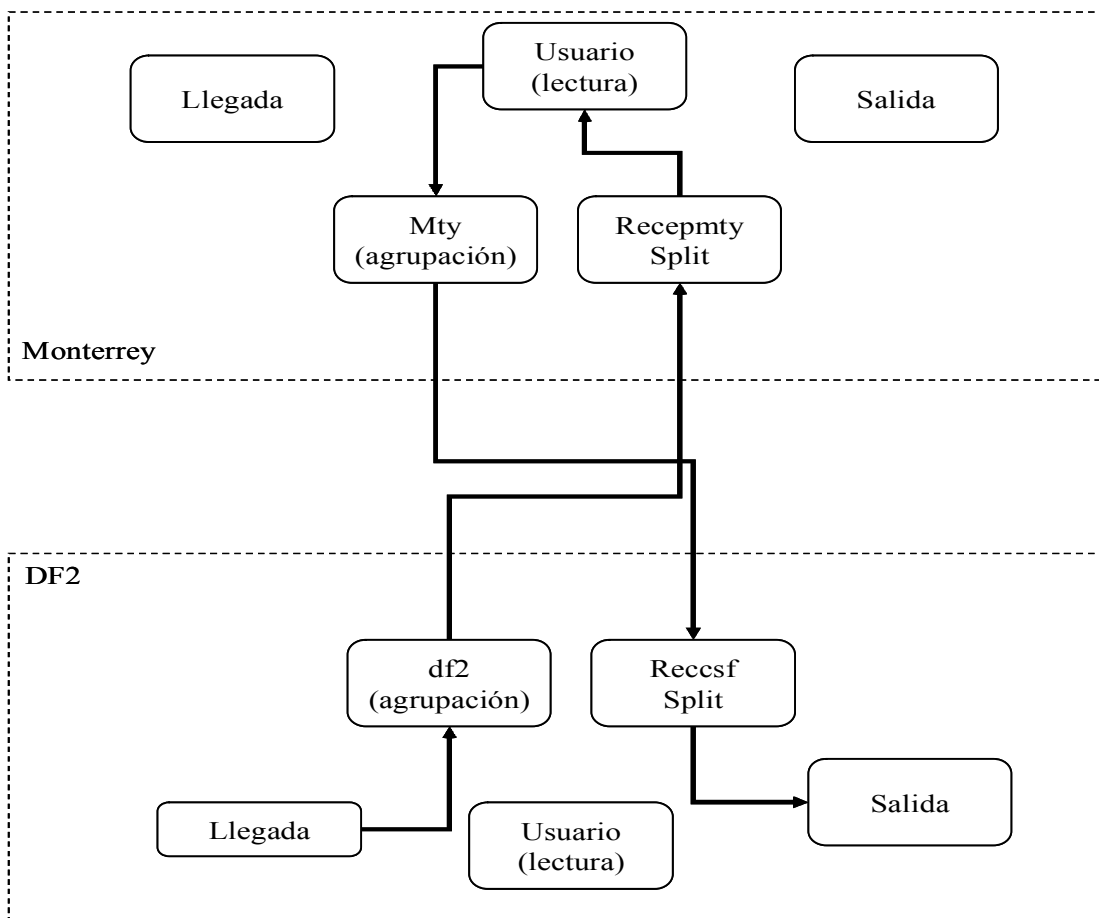


Fig. 3.10. Recorrido de las entidades que salen de la biblioteca en el Distrito Federal. Elaboración propia.

1. (df2). Agrupación de entidades en paquetes.
2. (recepmt). Recibe los paquetes de libros y los separa en entidades independientes.
3. (usuariomty). Servidor que representa la lectura de libros.
4. (mty). Similar a df2, agrupa los libros en paquetes.
5. (reccsf). Recibe los paquetes de libros y los separa en entidades independientes.
6. (salida). Las unidades salen del sistema.

Las secuencias usadas en este programa son las responsables de que se pueda modelar un sistema de suministros con un flujo inverso de material. Es posible hacer una ruta con servidores en la que no se necesite una secuencia, pero de esta manera no es posible observar un flujo inverso de entidades, y en el caso de este sistema no representaría lo que sucede en la realidad.

La última parte del programa de simulación corresponde al transporte. Para este modelo se definieron tres tipos de transporte, dos transportes internos (Transporter 1 y Transporter 3), uno para Distrito Federal y otro para Monterrey, y un transporte entre bibliotecas (Transporter 2).



Fig. 3.11. Disposición de las unidades de transporte.

Para cada unidad de transporte se definieron distancias entre los módulos que serían ocupadas por determinada unidad:

Transporter 1: Se definen 10 distancias, que corresponden a las conexiones entre los módulos pedidos, df2, salifs y reccsf.

Transporter 2: Se definen 6 distancias, que corresponden a las conexiones entre los módulos reccsf, df2, recmt y mty.

Transporter 3: Se definen 10 distancias que corresponden a las conexiones entre los módulos pedidosmty, mty, salmty y recepmt.

Es necesario definir las distancias entre los módulos aunque no exista transferencia de material, con el propósito de que la unidad de transporte pueda hacer dicho recorrido en caso de ser solicitada.

El transporte tiene el propósito de representar la forma en la que se comporta el sistema en la realidad, proporcionando un elemento de animación. Sin embargo es importante mencionar que si se quisiera obtener información acerca del tiempo de las unidades dentro del sistema, es mejor trasladar las unidades usando rutas, ya que mediante unidades de transporte existe un tiempo de solicitud y espera de la unidad que puede alterar el resultado debido a que en la realidad no existe ese tiempo.

La simulación en el tiempo 54 (días) se puede ver en la figura 3.12.

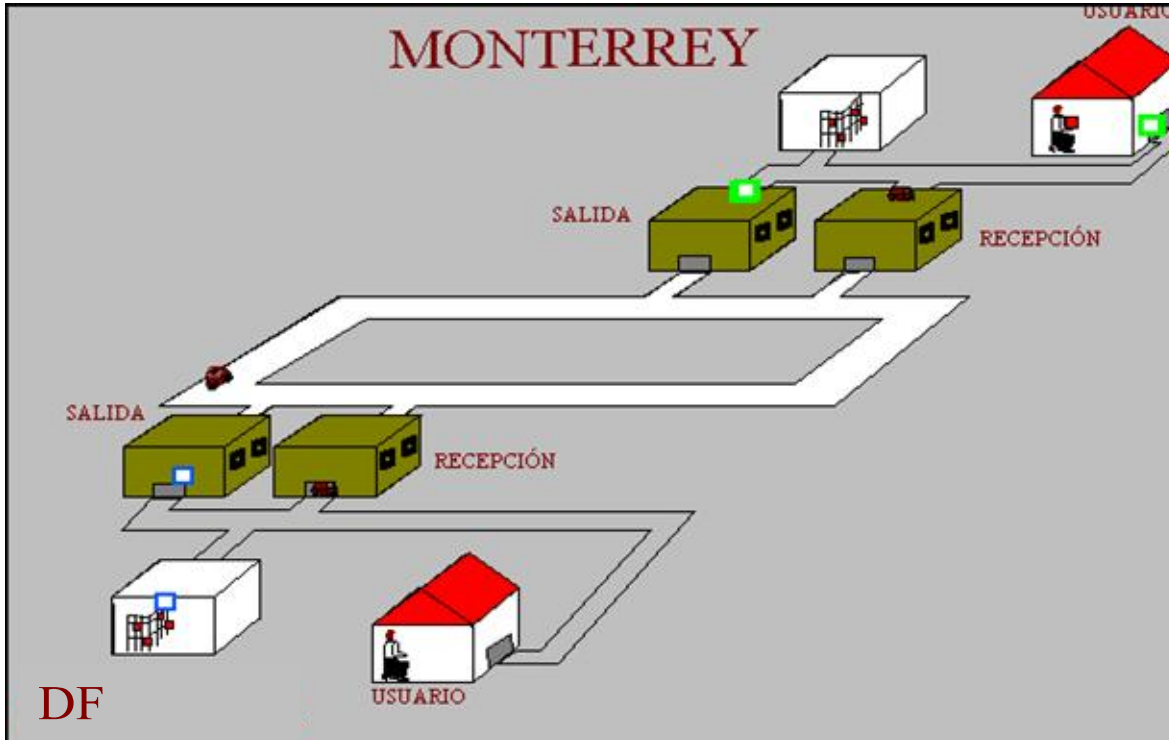


Fig. 3.12. Animación del modelo de simulación.

La descripción anterior corresponde al modelo base. El funcionamiento del modelo completo es el mismo para cada biblioteca. Los pedidos que salen de la biblioteca de DF2 son independientes, y requieren un módulo por separado, por lo que no se comparten módulos aunque todas las llegadas pertenezcan a dicha biblioteca.

### 3.3.3 Programa para el Sistema de Distribución Local

El programa para la distribución local, es decir, la que se lleva a cabo entre las dos bibliotecas de la Ciudad de México y Estado de México funciona igual, con la diferencia de que existe un sólo transporte para las tres bibliotecas y los envíos se realizan dos veces por semana en lugar de una.

La diferencia de este programa con el modelo descrito anteriormente es que se compone de tres bibliotecas en lugar de dos, además de que no se requiere un arreglo como el de la

figura 3.6, que consta de dos módulos de espera, dos asignaciones y dos señales, sino que se puede utilizar un modelo sencillo como el descrito en las figuras 3.1 y 3.3 con la diferencia de que se elimina la restricción del número máximo de libros por guía, o bien, se sustituye por un número muy grande.

### **3.4 Verificación del Programa de Cómputo.**

Este paso de la simulación consisten en asegurarse de que el programa está haciendo lo que debe y no genera resultados irreales.

La verificación del programa se llevó a cabo de forma paralela a la elaboración del mismo. Consiste en hacer distintos programas para probar el funcionamiento de los elementos por separado, es decir, un programa para verificar secuencias, otro para verificar la elaboración de lotes, etc.

Cada programa se probó en condiciones extremas, es decir, con una demanda muy grande y muy pequeña. Esta verificación dio como resultado la modificación de la sección del programa encargada de formar paquetes. El error se detectó en la diferencia entre el número de entidades que llegaron al sistema y el número de salidas.

Una técnica útil para verificar el programa es colocar contadores en distintos puntos dentro de la secuencia de módulos y así poder corroborar que no se están perdiendo entidades en algún módulo y que las entidades siguen la ruta que se les asignó en un principio.

### **3.5 Validación del Programa de Cómputo.**

A diferencia de la verificación, la validación del programa consiste en comprobar que el programa se ajusta a la realidad que se quiere representar.

La validación de este programa se llevó a cabo en dos partes. La primera parte fue una consulta con expertos, en este caso, con el personal de la biblioteca. La segunda parte fue una comparación de los datos que arrojaba el modelo con los datos proporcionados por el personal.

La validación basada en la opinión de expertos es la más importante ya que no se cuenta con suficientes datos para llevar a cabo una comparación numérica confiable. Dentro de este grupo de expertos se encuentra la persona encargada de la biblioteca en el Distrito Federal y la persona encargada del préstamo entre bibliotecas del sistema. A ambos se les mostró el programa de la siguiente forma:

1. La animación del programa.
2. Los módulos utilizados en la elaboración del programa
3. El contenido de cada módulo.

El resultado de este proceso fue la aprobación del programa después de algunas correcciones, en las que se incluyen las siguientes:

1. Cambio en el sistema de elaboración de paquetes. No se contaba con un sistema adicional para libros que sobrepasaran el número máximo en la guía.
2. Tiempo de transporte. No se consideró un tiempo adecuado de transporte de libros entre las dos bibliotecas y se redujo el tiempo de transporte interno para que no influyera en el resultado final.
3. Vista general de la animación. Se cambiaron los elementos de la animación tanto en su forma como en su ubicación. No es algo que afecte al modelo en cuanto a su funcionamiento, sin embargo se debe respetar el cambio.

Para la validación numérica se utilizaron los datos existentes correspondientes a la cantidad de libros enviados y recibidos entre la biblioteca en el Distrito Federal y la de Monterrey tanto para el primer semestre de 2005 como para el primer semestre de 2004.

Para un periodo de 175 días que corresponden al primer semestre de 2005 se tienen los siguientes datos:

124 libros enviados a Monterrey.

53 guías enviadas a Monterrey.

18 libros recibidos de Monterrey.

La validación, por lo tanto, consiste en demostrar que los resultados arrojados por el programa de simulación acerca del número de guías enviadas son similares al número de guías que en realidad se enviaron, tomando en cuenta que el modelo se alimentaría con los datos correspondientes al número de libros enviados y recibidos.

De acuerdo al ajuste de datos que se hizo para los libros enviados a Monterrey, la función que se usó fue Poisson (5.06), es decir 5.06 libros por semana, lo que equivale a 0.722 libros al día. El módulo de llegadas está programado para trabajar con tiempo entre llegadas, por lo que la distribución que se usa es exponencial con una media de 1.4 días entre llegadas correspondiente la inverso del número de libros por día. Para las llegadas de libros desde Monterrey se dividió el número de libros en el primer periodo (25) entre el total de días en el periodo (175) dando como resultado un tiempo entre llegadas exponencial con media de 7 días por libro.

Después de introducir el tiempo de llegada, se estableció el tiempo de simulación. La variable de respuesta fue el número de guías enviadas a Monterrey. No se tomó en cuenta el número de guías recibidas ya que los envíos desde otros planteles tienen distintas políticas y no representan un costo para la biblioteca. Se espera tener 53 guías enviadas para comprobar si el modelo funciona.

Después de hacer un experimento piloto con 10 réplicas, se obtuvieron los siguientes resultados:



No. exp	Llegadas	Expo(1.4)	Llegadas Mty	Expo(7)	guías	
1	113		28		51	
2	99		14		55	
3	138		16		58	
4	133		25		55	
5	113		25		55	
6	120		18		51	
7	101		25		48	
8	154		12		58	
9	124		12		55	
10	133		21		53	
	Parámetros		Parámetros		Parámetros	
	Suma	1228	Suma	196	Suma	538
	Media	122.82	Media	19.55	Media	53.82
	desviación	17.29	desviación	6.16	desviación	3.10
	n	10.00	n	10.00	n	10.00

Tabla 3.2. Validación del número de llegadas para el primer semestre de 2005.

En la tabla 3.2 se muestran cuatro columnas:

1. La primera columna se refiere al número de experimento que se hizo en el programa de simulación. Se hicieron 10 experimentos.
2. En la segunda columna están los datos correspondientes a la cantidad de libros que se enviaron. En el módulo de llegadas se generaron con una distribución exponencial con media 1.4 días entre llegadas.
3. La tercera columna es similar a la segunda pero corresponde al número de libros que se generaron desde Monterrey.
4. La última columna es la variable de respuesta que corresponde al número de guías enviadas a Monterrey.

En la parte inferior de la tabla 3.2 se encuentran los parámetros para cada una de las poblaciones que se obtuvieron. Estos parámetros se utilizarán posteriormente para la comparación con los datos reales.

Las llegadas en ambas bibliotecas (columnas 2 y 3 de la tabla 3.2) son datos que se introdujeron al modelo como una distribución de probabilidad y deben ser válidas. La variable de respuesta (columna 4 de la tabla 3.2), por otro lado, es el resultado de la simulación y debe coincidir estadísticamente con los datos reales.

Para comprobar si los resultados de la simulación corresponden a los datos reales, se hacen tres pruebas de hipótesis:

Prueba 1. Llegadas en la biblioteca en el Distrito Federal.

$$H_0 : \mu = 124$$

$$H_1 : \mu \neq 124$$

Prueba 2. Llegadas en la biblioteca de Monterrey.

$$H_0 : \mu = 18$$

$$H_1 : \mu \neq 18$$

Prueba 3. Número de guías enviadas a Monterrey.

$$H_0 : \mu = 53$$

$$H_1 : \mu \neq 53$$

Las pruebas 1 y 2 se llevan a cabo para validar que los datos fueron introducidos correctamente, es decir, que las distribuciones de probabilidad del número de libros que se generan en ambas bibliotecas corresponden a los datos reales.

La prueba 3 se realiza para validar que el número de guías enviadas corresponde a el número de guías que se enviaron en la realidad.

En cualquiera de estas pruebas, si la media de cada una de las poblaciones se encuentra dentro de un intervalo obtenido con los datos de la tabla 3.2, se puede concluir que los datos son estadísticamente iguales.

Para las tres pruebas se calcula un intervalo de confianza utilizando la distribución t de student, con un 95% de confianza. Se acepta la hipótesis nula si la media está en el intervalo de confianza calculado.

$$\bar{x} - t_c \frac{s_x}{\sqrt{n}} \leq \mu_0 \leq \bar{x} + t_c \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Se calcula t con 9 grados de libertad en 2.262.

$$122.82 - \frac{(2.262)(17.29)}{\sqrt{9}} \leq \mu_0 \leq 122.82 + \frac{(2.262)(17.29)}{\sqrt{9}}$$

$$109.79 \leq \mu_0 \leq 135.85$$

Como la media es 124 libros en la biblioteca del Distrito Federal, se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto se puede decir que los datos generados por el modelo de simulación para la cantidad de libros generados en la biblioteca del Distrito Federal corresponden a los libros que en realidad se generaron para dicha biblioteca.

De igual forma se hace la prueba de hipótesis para las otras muestras.

Prueba 2.

$$19.55 - \frac{(2.262)(6.16)}{\sqrt{9}} \leq \mu_0 \leq 19.55 + \frac{(2.262)(6.16)}{\sqrt{9}}$$

$$14.91 \leq \mu_0 \leq 24.19$$

Prueba 3

$$53.82 - \frac{(2.262)(3.10)}{\sqrt{9}} \leq \mu_0 \leq 53.82 + \frac{(2.262)(3.10)}{\sqrt{9}}$$

$$51.48 \leq \mu_0 \leq 56.16$$

Se aceptan las hipótesis nulas de ambas pruebas y que la media está dentro del intervalo de confianza. Por lo tanto, los datos obtenidos mediante el programa de simulación corresponden con los datos reales.

Con los datos del experimento piloto se calcula el tamaño de muestra con  $\beta=0.1$  y tomando una media que podría aceptarse como buena de 60. Se utiliza un método iterativo basado en:

$$n = \frac{s^2 \left( \frac{t_\alpha + t_\beta}{2} \right)^2}{(\mu_0 - \mu_1)^2}$$

El tamaño de muestra se establece en 15 datos.

Para finalizar con la validación se hace el mismo experimento para un periodo distinto, el primer semestre de 2004, con el mismo intervalo de tiempo y para el cual se tienen los siguientes datos:

64 libros enviados del Distrito Federal a Monterrey.

41 guías enviadas a Monterrey.

16 libros recibidos de Monterrey.

El resultado del experimento se muestra a continuación:

Llegadas	Expo(2.7)	Llegadas Mty	Expo(15.2)	guías	
58		18		41	
46		12		37	
64		16		46	
78		14		46	
78		21		48	
58		18		41	
46		12		37	
64		16		46	
78		14		46	
78		21		48	
71		23		44	
55		18		35	
62		14		41	
76		18		46	
69		12		37	
Parámetros		Parámetros		Parámetros	
Suma	982	Suma	246	Suma	639
Media	65.47	Media	16.41	Media	42.63
desviación	11.36	desviación	3.67	desviación	4.59
n	15.00	n	15.00	n	15.00

Tabla 3.3. Validación del número de llegadas para el primer periodo de 2004.

Los datos de la tabla 3.3 son similares a los de la tabla 3.2 con quince experimentos en lugar de diez. La primera y segunda columnas muestran las entidades generadas en la biblioteca del Distrito Federal y Monterrey respectivamente. La tercera columna muestra la variable de respuesta, es decir, el número de guías enviadas a Monterrey.

Se establecen intervalos de confianza para hacer la prueba de hipótesis.

Prueba 1. Llegadas en la biblioteca del Distrito Federal.

$$H_0 : \mu = 64$$

$$H_1 : \mu \neq 64$$

Prueba 2. Llegadas en la biblioteca de Monterrey.

$$H_0 : \mu = 16$$

$$H_1 : \mu \neq 16$$

Prueba 3. Número de guías enviadas a Monterrey.

$$H_0 : \mu = 41$$

$$H_1 : \mu \neq 41$$

Prueba 1.

$$65.47 - \frac{(2.145)(11.36)}{\sqrt{15}} \leq \mu_0 \leq 65.47 + \frac{(2.145)(11.36)}{\sqrt{15}}$$
$$59.18 \leq \mu_0 \leq 71.76$$

La media (64) se encuentre dentro de este intervalo, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Prueba 2.

$$16.41 - \frac{(2.145)(3.67)}{\sqrt{15}} \leq \mu_0 \leq 16.41 + \frac{(2.145)(3.67)}{\sqrt{15}}$$
$$14.38 \leq \mu_0 \leq 18.44$$

La media (16) se encuentre dentro de este intervalo, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Prueba 3

$$42.63 - \frac{(2.145)(4.59)}{\sqrt{15}} \leq \mu_0 \leq 42.63 + \frac{(2.145)(4.59)}{\sqrt{15}}$$
$$40.06 \leq \mu_0 \leq 45.149$$

La media (41) se encuentre dentro de este intervalo, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Estos resultados indican que el modelo puede generar entidades para dos periodos de tiempo distintos y puede obtener resultados (número de guías enviadas a Monterrey) que corresponden a los datos del sistema real. Por lo tanto, el modelo se puede usar en otros periodos de tiempo con distinta demanda de libros, dando resultados similares a los que se esperarían en la realidad.

### **3.6 Conclusión del capítulo.**

A lo largo del capítulo se habló tanto del programa de cómputo como de la elaboración del programa de simulación. Es importante mencionar que se debe seguir la metodología planteada para poder llegar al siguiente paso, el diseño de experimentos. Si falta un paso es muy probable que el resultado de la experimentación sea erróneo o poco confiable.

Tal vez la parte más laboriosa del estudio de simulación se la programación. Incluso para los programadores con experiencia en el uso de un software como Arena, es necesario estar verificando el programa constantemente de manera que al final funcione como debe ser.

Es difícil describir la forma en la que se llevó a cabo la verificación del programa ya que se fue haciendo en paralelo. Este paso tiene mucho que ver con la experiencia del programador y con el sentido común. De alguna manera el programador espera cierta respuesta, o debe haber una respuesta lógica a una serie de eventos que se llevan a cabo durante la simulación. En el momento en que no se recibe la respuesta esperada, es cuando se procede a hacer alguna prueba numérica que explique el comportamiento de los resultados obtenidos.

## Capítulo 4

### Diseño de Experimentos y Análisis de Resultados

#### Introducción.

En este capítulo se desarrolla la parte final del estudio de simulación, la experimentación y el análisis de resultados de los experimentos. Un experimento es una operación que consiste en observar las reacciones de un sistema cuando éste se somete a ciertos cambios. En el método científico, la experimentación consiste en reproducir el fenómeno que se está estudiando cambiando los valores de las variables para analizar el efecto que éstas tienen en el fenómeno y poder obtener conclusiones. La experimentación en un estudio de simulación tiene el mismo fin, observar cómo se comportaría el sistema al cambiar algunas variables que lo afectan. Para poder hacer un experimento en simulación es necesario haber cumplido con todos los pasos anteriores: describir el sistema, recolectar información numérica del sistema, elaborar un modelo conceptual, elaborar un modelo de cómputo, verificar y validar el modelo con el que se va a trabajar. Una vez que se tiene certeza de que el modelo en computadora funciona como debe de hacerlo y que representa lo mejor posible la realidad del sistema, es decir, se ha verificado y validado, se pueden hacer experimentos con él.

La primera parte del capítulo consiste en diseñar diferentes experimentos. Es posible plantear un gran número de situaciones para experimentar, sin embargo, se realizan sólo los experimentos necesarios para cumplir con los objetivos del estudio de simulación, cualquier otro experimento está fuera del alcance de este trabajo pero se puede considerar para un estudio futuro. Posteriormente se presentan los resultados de cada experimento y finalmente se hace un análisis de los resultados.



## 4.1 El diseño de Experimentos.

El diseño de experimentos mediante el uso de métodos estadísticos tiene su origen en Londres, Inglaterra. El uso de estas técnicas se le atribuye en un principio a Sir Ronald A. Fischer, aunque son muchos los que han contribuido a lo largo del siglo XX con el desarrollo del diseño experimental.

Muchas de las aplicaciones del diseño experimental se dieron en la agricultura y las ciencias biológicas. Las aplicaciones industriales aparecieron en Europa en 1930. (Montgomery, 1991). Después de la Segunda Guerra Mundial, estas técnicas se introdujeron en la industria de Estados Unidos con aplicaciones para las ramas química, de transformación y posteriormente en la electrónica.

Como ya se dijo, un experimento es una prueba o ensayo. Un experimento diseñado es una prueba en la cual se inducen cambios deliberados en las variables de entrada que permiten observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

Existe un gran número de experimentos diseñados. Los experimentos industriales consisten en hacer pruebas con el objetivo de encontrar el mejor valor de una variable de entrada que haga que el resultado se aproxime más al valor deseado, o bien, encontrar cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la respuesta de salida, ya sea por separado o mediante la combinación de éstas. La simulación se utiliza como técnica de experimentación ya que permite hacer análisis del tipo “¿Qué pasaría si...?”, en concreto, ¿Qué pasaría si se cambian los valores de las variables de entrada?

Los experimentos con eventos discretos que utilizan simulación, están sujetos a variables que, en la mayoría de los casos, no se pueden controlar, como lo es la demanda. A diferencia de los experimentos industriales en los que una vez que se encuentran los valores óptimos de las variables de entrada, el sistema se puede ajustar a ellos, la demanda no se puede ajustar, y en muchos casos es muy difícil de predecir. Para este tipo de sistemas, el objetivo de los experimentos es tomar una decisión para enfrentar escenarios probables. Aunque en muchos casos se cuenta con variables que sí se pueden controlar, la principal preocupación es cómo enfrentar la demanda.

Para diseñar experimentos es muy importante tener claro qué es exactamente lo que se va a estudiar y cómo se van a analizar los resultados. Montgomery (1991) plantea algunas directrices para el diseño de experimentos:

1. Comprender el problema. Para la comprensión del problema es necesario involucrar a todas las partes que tengan contacto con el sistema y que puedan aportar información que ayude a aclarar la situación del sistema, por lo que se recomienda que un trabajo de diseño de experimentos se realice en equipo. Este primer punto que plantea Montgomery es similar en otras metodologías, incluyendo la simulación, el primer paso es conocer el problema. Sin embargo, no siempre es fácil darse cuenta que existe un problema que se puede solucionar mediante alguna de estas técnicas.
2. Elección de factores y niveles. El término factor se refiere a una variable, ya identificada, que cambia durante la realización del experimento. Cada variable tiene niveles, o intervalos de variación. Por ejemplo, si se está analizando un sistema de filas, un factor podría ser el número de servidores, ya que afectan el resultado del experimento, mientras que los niveles serían un servidor, dos, tres, etc. Un experimento puede ser unifactorial o multifactorial dependiendo de si existen una o muchas variables que afecten el resultado del experimento, pero es importante determinar cuáles factores son realmente representativos en el sistema para poder ser tomados en cuenta como factores.
3. Selección de la variable de respuesta. También llamada variable dependiente, es lo que se va a medir como resultado de la experimentación. Es importante seleccionar la variable de respuesta de manera que aporte información útil para el análisis. “Con mayor frecuencia, el promedio o la desviación estándar de la característica medida serán la variable de respuesta” (Montgomery, 1991). También es importante considerar el error de medición que define la capacidad del experimento para medir los resultados.

4. Diseño experimental. Este paso se refiere a la manera en la que se llevarán a cabo los experimentos, existen muchos métodos dependiendo del número de factores, el orden en el que deben de ir, restricciones, tamaño de muestra, etc.
5. Realizar el experimento. Cuando se hace el experimento se debe cuidar que todo se haga como está planeado. En simulación, este paso se lleva a cabo en la verificación del programa de cómputo, aunque es necesario cuidar el proceso para tener la certeza de que no se están violando restricciones, sobre todo de capacidad del programa.
6. Análisis de datos. Para asegurar la objetividad de los resultados es deseable utilizar métodos estadísticos en el análisis, más que métodos apreciativos. “Si el experimento se diseñó correctamente y se ha realizado conforme al diseño, los métodos estadísticos que se requieren no son complicados” (Montgomery, 1991).
7. Conclusiones y recomendaciones. En este paso se recomienda el uso de métodos gráficos para la presentación de resultados, además de hacer recomendaciones prácticas.

Aunque las directrices hechas por Montgomery se refieren a experimentos industriales, se nota una clara similitud con la técnica de simulación de sistemas, esto debido a que una parte importante de la simulación es la experimentación con el sistema. La diferencia está en el uso de sistemas digitales por parte de la simulación para representar sistemas complejos.

Otras recomendaciones hechas por Montgomery para la experimentación con métodos estadísticos incluyen:

1. Uso del conocimiento no estadístico del problema. Para diseñar un experimento, y en especial para elegir los factores y niveles en el método, es necesario contar con la experiencia acerca de las cualidades del sistema. Las decisiones basadas en la experiencia pueden llegar a simplificar el número de variables en la experimentación.

2. Mantener el diseño y el análisis tan simples como sea posible. Esta afirmación se refiere al análisis de los resultados. Ya se había mencionado la necesidad de las técnicas estadísticas para mantener la objetividad del análisis, sin embargo es frecuente que el analista quiera usar técnicas muy elaboradas, cuando el resultado de un experimento se puede analizar simplemente con el uso de técnicas estadísticas sencillas. Es preferible mantener la simplicidad en el uso de la estadística y ser práctico en el momento de dar conclusiones.
3. Reconocer la diferencia entre la significación práctica y estadística. Esta recomendación aplica para el experimentador al momento de elaborar las conclusiones del experimento. Se debe tener mucho cuidado de observar si una diferencia en los resultados de la experimentación es una diferencia importante para el sistema real.
4. Usualmente los experimentos son iterativos. Esta afirmación se refiere a que los experimentos con mayor éxito son aquellos en los que se reconocen los factores importantes, es decir, los que tienen mayor influencia en la variable de respuesta y no los experimentos más extensos o con mayor número de variables. Para ello se requiere estar probando en varias iteraciones cuáles son tanto los factores más influyentes, como los niveles más adecuados para cada factor.

## **4.2 Experimentos para el caso de estudio.**

### **4.2.1 Determinación de la influencia de los factores en la variable de respuesta.**

Para el caso del sistema de bibliotecas se siguen las mismas directrices planteadas por Montgomery aunque con algunas modificaciones.

En primer lugar, el sistema ya se conoce, ya se estudió y se elaboró previamente un modelo conceptual el cual ha se validó. Aunque este no fue un trabajo en equipo, se contó con la colaboración de expertos, es decir, personas que conocen el sistema,

proporcionaron datos y ayudaron en la validación tanto del modelo conceptual como del programa de cómputo.

Es necesario ahora determinar la variable de respuesta. En capítulos anteriores se ha mencionado que el costo del sistema se deriva del número de guías que se envían a otras bibliotecas no así el número de guías que se reciben. Por lo tanto, la variable de respuesta es el número de guías enviadas.

Después de conocer la variable de respuesta, existen dos elementos muy importantes en la elaboración de experimentos: el primero, los factores que afectan a la variable de respuesta; segundo, los niveles de estos factores.

En cuanto a los factores, se había mencionado que la variable principal que afecta al sistema, por su naturaleza, es la demanda. La demanda de libros es un factor que aunque no se puede controlar, es posible predecir hasta cierto punto, una vez que se sabe cuál es el elemento que la ocasiona. Sin embargo, se pueden establecer intervalos de variación de la demanda para generar escenarios de mayor y menor demanda, con el fin de realizar los experimentos. Existen dos tipos de demanda que influyen en el número de guías enviadas: los pedidos de otros planteles a la biblioteca en el DF, y los pedidos de esta biblioteca a otras. Aunque los libros recibidos no representan un costo, después de ser usados se deben regresar en la misma guía que los envíos, y es ahí donde pueden tener un impacto en la variable de respuesta.

Por lo tanto, los dos factores que se cree afectan el número de guías enviadas a Monterrey son:

- Factor A. Demanda correspondiente al número de libros enviados de la biblioteca en el DF a Monterrey.
- Factor B. Demanda correspondiente al número de libros enviados de la biblioteca en Monterrey al DF.

En cuanto a los niveles de cada factor, se definieron dos niveles de demanda para cada uno de los factores. El primer nivel corresponde a los datos de la demanda en el primer semestre de 2005:

123 libros enviados a Monterrey, primer nivel del factor A.

18 libros recibidos de Monterrey, primer nivel del factor B.

Para obtener el segundo nivel de ambos factores se calculó la demanda para el primer semestre del año 2006.

Se toman datos sólo del primer semestre (Enero – Junio) de cada año debido a que existe un receso entre los dos semestres del año en el mes de Julio, y se requiere un periodo continuo para evitar una interrupción en la simulación. El primer semestre de cada año tiene mayor porcentaje de actividades que el segundo semestre. Aproximadamente el 60% de la demanda anual corresponde al primer semestre, dejando un 40% de la demanda anual para el segundo semestre.

Aunque se cuenta con datos del primer semestre de 2006, éstos no incluyen la demanda en los últimos meses de dicho periodo, por lo que es necesario calcular el resto de los datos.

Hablando con el personal de la biblioteca, en el año 2006 se espera incrementar el acervo de 28,000 a 35,000 volúmenes, y se esperaría una demanda de 253 envíos al año. Para el periodo en el que se ha trabajado de 175 días, que corresponde al primer semestre, se toma el 60% del total de envíos, que corresponde a 152 envíos. De la misma forma se obtienen los envíos de Monterrey al DF. Se sabe que en el primer semestre de 2005 se enviaron 18 libros y se espera que en el 2006 el número de envíos aumente a 28.

Por lo tanto, el segundo nivel para ambos factores queda de la siguiente manera:

152 libros enviados a Monterrey, segundo nivel del factor A.

28 libros recibidos de Monterrey, segundo nivel del factor B.

Los factores y sus niveles se pueden resumir en la tabla 4.1.

		Demanda correspondiente al número de envíos de DF2 a Monterrey. (Factor A)	
		Demanda normal (123 libros / periodo)	Demanda Alta (152 libros / periodo)
Demanda correspondiente al número de envíos de Monterrey a DF2. (Factor B)	Demanda Normal (18 libros / periodo)		
	Demanda Alta (28 libros / periodo)		

Tabla 4.1. Relación de los niveles del factor A y del factor B

Para poder hacer experimentos con variaciones en la demanda, primero se debe determinar cuál de estos factores es el que más influye en el resultado, para lo cual se va a elaborar una tabla de análisis de variancia, de manera que posteriormente se puedan establecer variaciones para el factor que resulte más influyente.

Los experimentos y los resultados de las quince réplicas que se hicieron para cada combinación de los factores A y B se pueden ver en el anexo 2. En la tabla 4.2 se muestra el promedio de guías enviadas obtenido mediante la simulación del sistema cambiando los valores de la demanda tanto para el factor A como para el factor B.

		Demanda correspondiente al número de envíos de DF2 a Monterrey. (Factor A)	
		Demanda normal (123 libros / periodo)	Demanda Alta (152 libros / periodo)
Demanda correspondiente al número de envíos de Monterrey a DF2. (Factor B)	Demanda Normal (18 libros / periodo)	54	57
	Demanda Alta (28 libros / periodo)	54	57

Tabla 4.2. Resultado del experimento con la combinación de factores A y B. Promedios obtenidos para los niveles de cada factor.

La tabla 4.3 es una tabla de sumatorias necesaria para obtener una tabla ANOVA. Muestra la sumatoria de datos para los niveles de cada factor después de los experimentos. Las tablas de resultados de los experimento se pueden ver en el anexo 2.

		Demanda correspondiente al número de envíos de DF2 a Monterrey. (Factor A)	
		Demanda normal (123 libros / periodo)	Demanda Alta (152 libros / periodo)
Demanda correspondiente al número de envíos de Monterrey a DF2. (Factor B)	Demanda Normal (18 libros / periodo)	812	865
	Demanda Alta (28 libros / periodo)	812	860

Tabla 4.3. Resultado del experimento con la combinación de factores A y B. Sumatoria de datos obtenida para los niveles de cada factor.



Los resultados de los experimentos anteriores se analizan mediante una tabla de análisis de variancia para determinar si existe una diferencia significativa en el número de guías enviadas debido al incremento en el nivel de cada factor o a la combinación de ambos.

Las hipótesis que se plantean para este análisis son:

1. Para el Factor A, número de libros enviados a Monterrey.

Ho: El número de libros enviados no afecta al número de guías enviadas.

H1: El número de libros enviados es un factor que afecta al número de guías enviadas.

También se puede expresar como:

Ho: Las medias de los niveles del Factor A son iguales.

H1: Al menos una de las medias de los niveles del Factor A es diferente.

2. Para el Factor B, número de libros enviados al Distrito Federal

Ho: El número de libros enviados no afecta al número de guías enviadas.

H1: El número de libros enviados es un factor que afecta al número de guías enviadas.

También se puede expresar como:

Ho: Las medias de los niveles del Factor B son iguales.

H1: Al menos una de las medias de los niveles del Factor B es diferente.

3. Para la interacción de ambos factores.

Ho: No existe interacción entre los factores A y B.

H1: Existe interacción entre los factores A y B.

En algunos experimentos puede no observarse una influencia significativa de los factores por separado, pero la combinación de ambos puede resultar significativa. Por este motivo se lleva a cabo un análisis tanto para los factores por separado como para la interacción de ellos.

La elaboración de la tabla de análisis de variancia se muestra en la tabla 4.4.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad (gl)	Media de cuadrados	Fo
Factor A	$SS_A$	$a - 1$	$MS_A = SS_A / a - 1$	$MS_A / MS_E$
Factor B	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B = SS_B / b - 1$	$MS_B / MS_E$
Interacción AB	$SS_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = SS_{AB} / (a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} / MS_E$
Error	$SS_E$	$ab(n - 1)$	$MS_E = SS_E / ab(n - 1)$	
Total	$SS_T$	$abn - 1$		

Tabla 4.4. Construcción de una tabla de Análisis de Variancia. (Montgomery, 1991)

Donde:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{abn}$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{bn} - \frac{y^2}{abn}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_j^2}{an} - \frac{y^2}{abn}$$

$$SS_{AB} = \left( \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij}^2}{n} - \frac{y^2}{abn} \right) - SS_A - SS_B$$

Para iniciar el análisis se hace una tabla de sumatorias (tabla 4.5) de los resultados sobre la variable de respuesta.

		Factor A		Yi
		Normal	Alto	
Factor B	Normal	812	865	1677
	Alto	812	860	1672
Yj		1624	1725	3349

Tabla 4.5. Tabla de sumatorias

La tabla de análisis de variancia se muestra a continuación.

Fuente	SS	gl	MS	Fo	Ft
Factor A	170.02	1	170.02	4.63	4.6
Factor B	0.42	1	0.42	0.01	4.6
InteracciónAB	0.42	1	0.42	0.01	4.6
Error	514.27	14	36.73		
Total	685.12	14			

Tabla 4.6. Tabla de análisis de variancia.

Comparando el valor de la distribución F experimental ( $F_o$ ) con el de tablas ( $F_t$ ) se puede concluir que el factor A, es decir, el número de libros enviados de DF2 a Monterrey influye significativamente en el número de guías enviadas, mientras que los libros que se reciben y la interacción de ambos factores no influye significativamente en el resultado. Lo anterior se afirma con un 95% de confianza.

Una vez que se sabe que el factor A (demanda correspondiente al número de libros enviados de la biblioteca en el DF a Monterrey) es el que influye en la variable de respuesta, se hicieron experimentos con cambios en dicho factor para analizar el sistema en escenarios con diferente demanda.

#### 4.2.2 Experimentos con un aumento de la demanda.

En la tabla 4.7 muestra un incremento de la demanda de 152 a 204 libros por periodo. Este incremento es proporcional a un aumento del 30% en el acervo de libros para el año siguiente.

Al ser un escenario futuro, no se cuenta con datos de la demanda, por lo que se estimaron los parámetros de la función exponencial que permitiera tener una media de 204 libros enviados a Monterrey.

El mismo procedimiento se utilizó para el experimento que se muestra en la tabla 4.8.

Réplica	No. de libros enviados	guías	
1	230		60
2	205		62
3	214		60
4	193		58
5	209		60
6	205		67
7	225		67
8	202		58
9	198		64
10	200		64
11	198		64
12	161		58
13	209		62
14	200		62
15	216		62
	Parámetros		Parámetros
	Suma	3066	Suma 927
	Media	204.39	Media 61.79
	desviación	15.84	desviación 3.12
	n	15.00	n 15.00

Tabla 4.7. Número de guías para 204 libros recibidos por periodo.

Réplica	No. de libros enviados	guías	
1	248		71
2	274		71
3	271		67
4	269		67
5	235		67
6	255		69
7	301		74
8	304		76
9	260		67
10	230		67
11	248		69
12	239		64
13	281		74
14	265		71
15	267		76
	Parámetros		Parámetros
	Suma	3947	Suma 1049
	Media	263.12	Media 69.92
	desviación	21.75	desviación 3.67
	n	15.00	n 15.00

Tabla 4.8. Número de guías para 263 libros recibidos por periodo.

Tanto en la tabla 4.7 como en la 4.8 se muestran los parámetros de cada muestra de datos, ya sea libros recibidos desde Monterrey (columna 2) o número de guías enviadas (columna 3).

Las funciones de probabilidad que corresponden a cada aumento son:

Para obtener 204 libros recibidos se usó: Exponencial (0.86)

Para obtener 263 libros recibidos se usó: Exponencial (0.65)

La tabla 4.1 muestra el incremento tanto de libros como de guías para los dos periodos siguientes. Se puede observar un aumento en ambos, aunque no en la misma proporción.

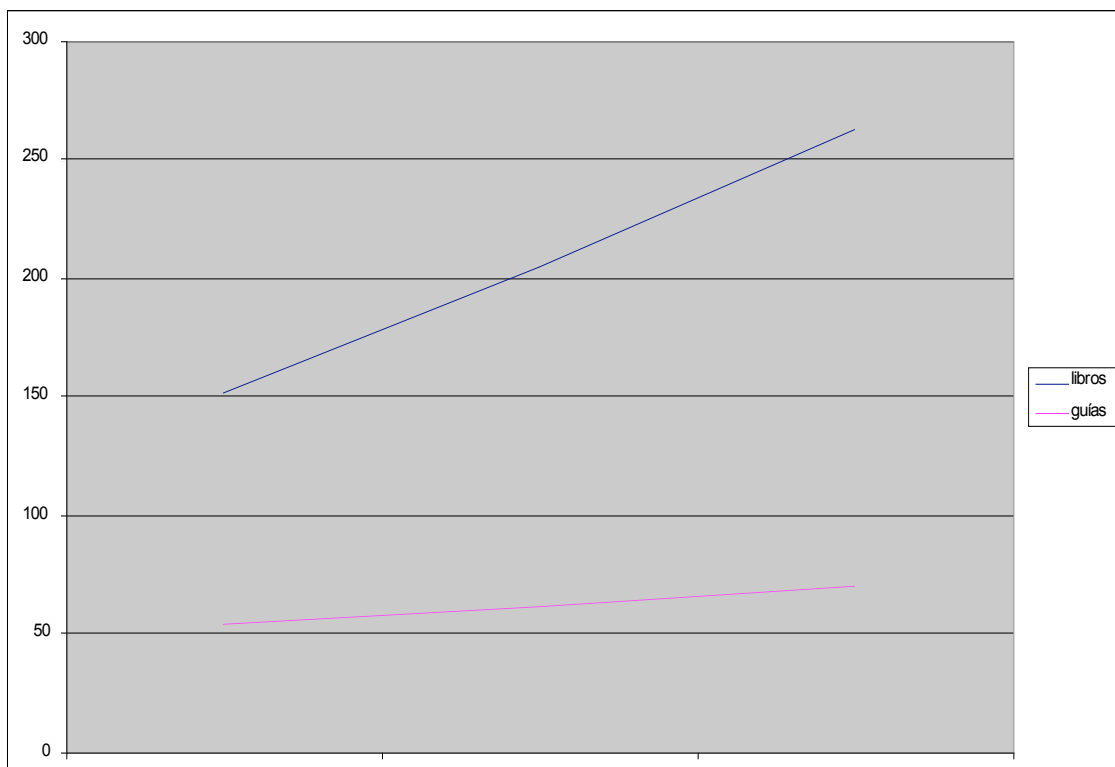


Fig. 4.1. Aumento del número de guías correspondiente al aumento de libros.

Se puede observar una pendiente muy pronunciada para el número de libros enviados, sin embargo, la pendiente en la línea que corresponde el número de guías enviadas no lo es tanto. El cambio en la media de la población de guías enviadas no corresponde al cambio en la media de la población de libros enviados.

La explicación de este fenómeno es que las guías se llenan con más libros en cada envío, por lo que el aumento de libros enviados provoca un aumento en el número de guías llenas enviadas. El costo de las guías no depende de su capacidad. Tiene el mismo costo una guía a la mitad o al máximo de su capacidad, simplemente se está aprovechando el espacio.

#### **4.2.3 Experimentos con disminución de la demanda.**

El mismo experimento se hace para una disminución de la demanda. Parece ilógico pensar que la demanda pueda disminuir dado que la biblioteca cuenta con una colección de libros de reciente publicación. Sin embargo, existen dos situaciones en las que la demanda puede disminuir: La creación de otra biblioteca en el sistema que pueda sustituir a la biblioteca en el DF en cuanto a tener una colección de libros nuevos; y el surgimiento de bibliotecas virtuales. Una biblioteca virtual es una solución para el problema de la disponibilidad y transporte de libros. Como ya se había mencionado, una biblioteca virtual es una colección de libros en formato digital. Si el material se encuentra en formato digital, se eliminan los costos de traslado del mismo ya que el envío se haría por medios electrónicos. Al mismo tiempo se reduciría el espacio de almacenamiento físico de libros. Sin embargo, las bibliotecas virtuales podrían tener un impacto negativo en la publicación de libros debido a los derechos de autor, además de que se tendría que analizar el impacto que tendría en una población de lectores acostumbrados a leer material impreso.

Es difícil calcular una reducción en la demanda. A continuación se presentan dos ejemplos que muestran lo que sucedería en caso de una reducción de la demanda.

Réplica	No. de libros enviados	guías	
1	46		39
2	44		41
3	53		44
4	48		39
5	58		46
6	46		32
7	46		46
8	51		44
9	46		41
10	55		39
11	23		32
12	37		32
13	60		44
14	62		46
15	44		46
	Parámetros		Parámetros
	Suma	718	Suma 612
	Media	47.84	Media 40.79
	desviación	9.69	desviación 5.10
	n	15.00	n 15.00

Tabla 4.9. Número de guías para 48 libros recibidos por periodo.

Réplica	No. de libros enviados	guías	
1	30		37
2	18		28
3	25		28
4	21		28
5	21		30
6	23		37
7	32		37
8	21		32
9	30		32
10	23		37
11	21		32
12	28		41
13	23		35
14	28		32
15	21		30
	Parámetros		Parámetros
	Suma	363	Suma 495
	Media	24.23	Media 32.97
	desviación	4.25	desviación 4.14
	n	15.00	n 15.00

Tabla 4.10. Número de guías para 24 libros recibidos por periodo.

En las tablas 4.9 y 4.10 se puede observar una disminución del número de libros enviados de 152 (normal) a 48 libros y posteriormente a 24 libros. Es importante mencionar que también se cuenta con libros recibidos que requieren ser devueltos, y en algunos casos, estos libros forman una guía, de ahí que el número de guías sobrepasa el número de libros enviados en el último periodo. Es decir, en la figura 4.2 sólo se muestran los libros que se envían a Monterrey, no los que se reciben para ser devueltos posteriormente.

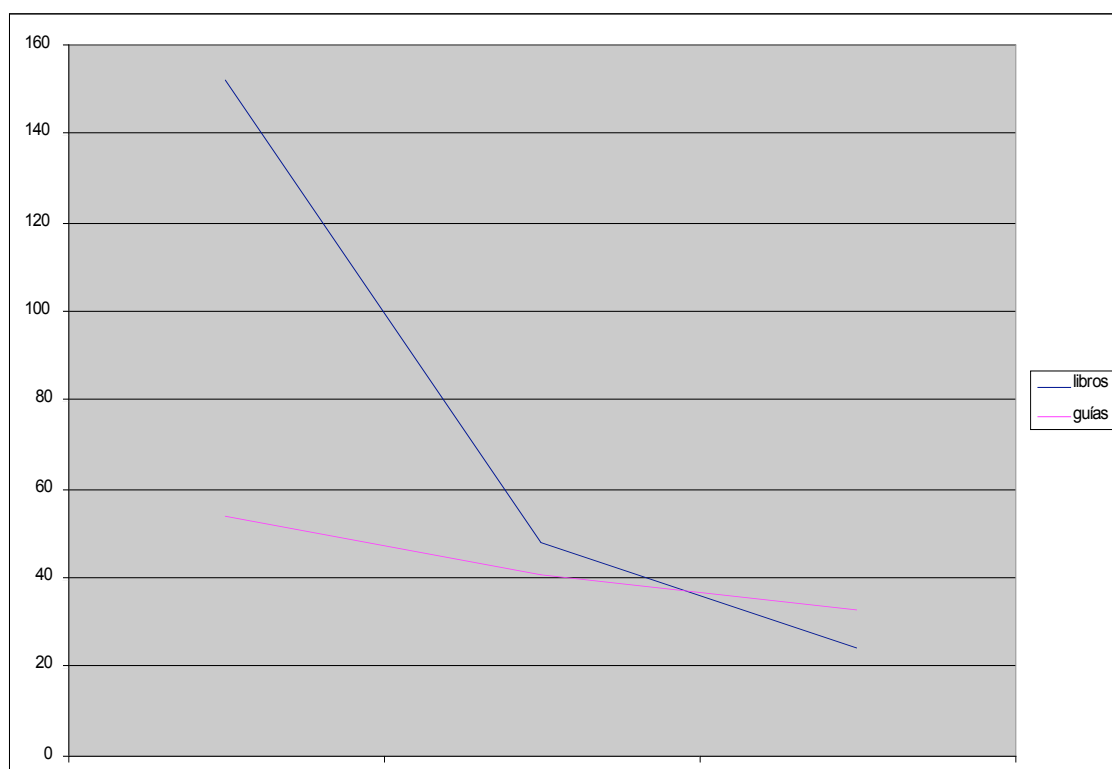


Fig. 4.2. Disminución del número de guías correspondiente al aumento de libros.

Se puede observar en la figura 4.2 que una disminución en el número de libros enviados provoca una disminución en el número de guías enviadas, pero esta disminución no es proporcional respecto a la de libros.



### 4.3 Eficiencia del sistema.

La eficiencia del sistema es una medida del aprovechamiento de espacio disponible en cada guía. Como ya se dijo, las guías tienen el mismo costo sin importar la cantidad de libros que se incluyan en cada una. Es decir, cuesta lo mismo transportar un libro que cinco libros.

Por lo tanto, la eficiencia aumenta en la medida que se envíe un mayor número de guías llenas que guías con pocos libros.

Para calcular la eficiencia  $E$  se puede usar una razón de los libros enviados por guía, lo cual se expresa mediante la siguiente fórmula.

$$E = \frac{L_i}{5G_i}$$

Donde:

$L_i$  es el número de libros enviados.

$G_i$  es el número de guías enviadas.

La tabla 4.11 muestra la eficiencia del sistema para los experimentos en los que aumenta la demanda. Se puede observar que a mayor cantidad de libros la eficiencia del sistema aumenta debido a que existen más libros por guía, aunque también hay que considerar que el costo aumenta por el incremento en el número de guías.

Experimento	Libros enviados	Guías enviadas	Eficiencia	costo
1	152	54	67%	\$3,834.00
2	204	62	76%	\$4,140.00
3	263	70	85%	\$4,684.00

Tabla 4.11. Eficiencia y costo del sistema para los experimentos de aumento de la demanda.

Para dar una recomendación de la cantidad de libros que se deben adquirir para estimular la demanda, se hizo un ejercicio de simulación con distintos valores para la demanda, el cual se puede observar en la tabla 4.12.

Demanda	guías	Eficiencia	Costo
115	52	53.85%	\$3,692
120	53	54.72%	\$3,763
125	54	55.56%	\$3,834
130	56	53.57%	\$3,976
135	57	56.14%	\$4,047
140	57	56.84%	\$4,047
145	59	57.63%	\$4,189
150	58	58.62%	\$4,118
155	59	61.02%	\$4,189
160	60	61.67%	\$4,020
165	61	62.30%	\$4,087
170	60	63.33%	\$4,020
175	60	65.00%	\$4,020
180	61	67.21%	\$4,087
185	62	66.13%	\$4,154
190	60	71.67%	\$4,020
200	61	71.48%	\$4,087
205	62	74.19%	\$4,154
210	63	73.02%	\$4,221
220	62	79.03%	\$4,154

Tabla 4.12. Eficiencia y costo del sistema para distintos niveles de demanda.

La demanda en la tabla 4.12 está en libros por periodo y se obtuvieron modificando los parámetros de la distribución de llegadas en el programa de simulación. El programa calculó el número de guías. Finalmente se obtuvieron los datos de la eficiencia y el costo de envío de guías a Monterrey.

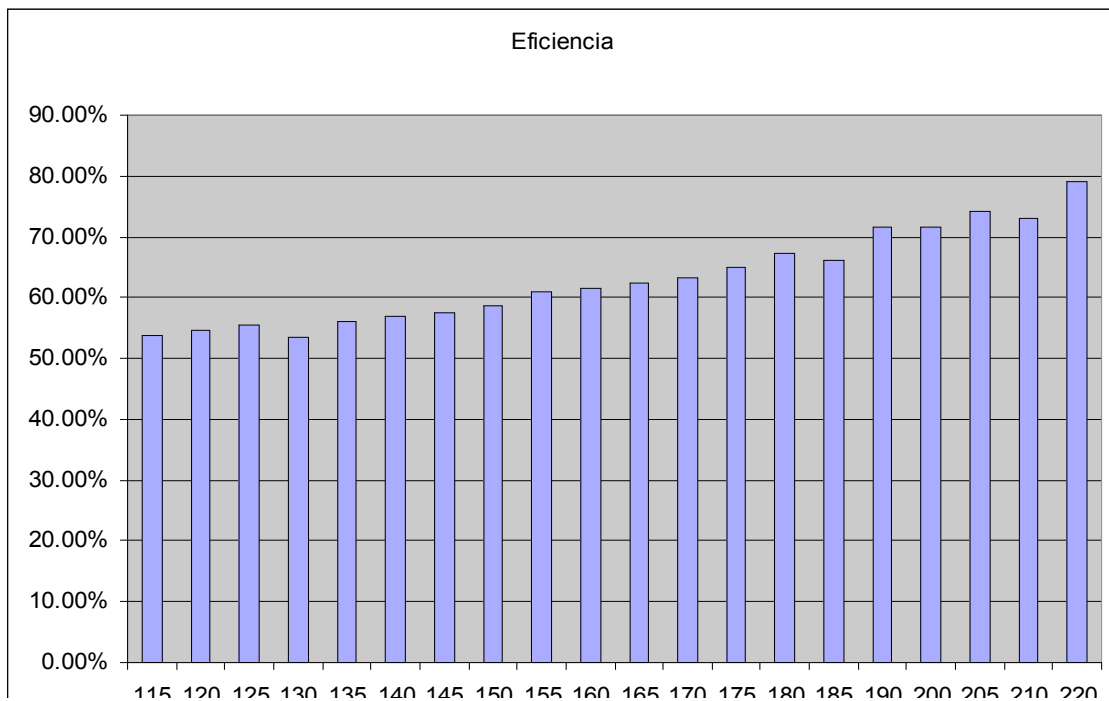


Fig. 4.3. Eficiencia del sistema para distintos niveles de demanda.

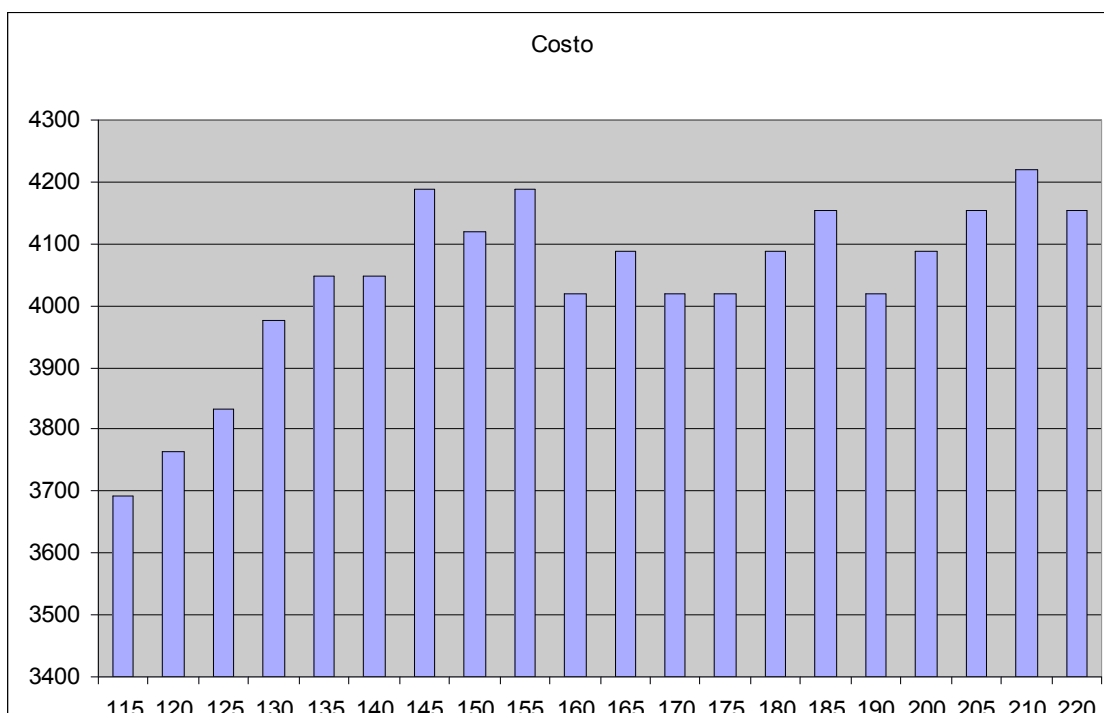


Fig. 4.4. Costo de envío para los distintos niveles de demanda.

En la figura 4.3 se observa que la eficiencia del sistema aumenta conforme crece la demanda. No es suficiente información para una recomendación acerca de la demanda óptima. Sin embargo, si se compara con la figura 4.4 que corresponde a los costos, se puede observar que si la cantidad de libros enviados se encuentra entre 155 y 165 existe una reducción en los costos de envío.

La reducción en los costos de envío se debe a que en dicho periodo, se alcanza un total de 60 guías enviadas y se consigue una reducción en el costo por guía de acuerdo a los datos de la tabla 2.1 en el capítulo dos.

Actualmente, la biblioteca está trabajando con una demanda de 123 libros enviados por periodo, lo que corresponde aproximadamente a una eficiencia del 55.56% y un costo de \$3,834 según la tabla 4.12. Con el aumento en el acervo, se espera llegar a 152 libros enviados por periodo. Sin embargo si se pretende un aumento en el acervo de libros, se sugiere que éste produzca una demanda de 160 libros por periodo aproximadamente. Si se considera una relación lineal entre demanda y acervo, esta cantidad se traduce en 36,400 volúmenes en lugar de 35,000.

#### **4.4 Conclusiones y recomendaciones.**

El modelo que se hizo para la interacción de la biblioteca en la Ciudad de México con la biblioteca en Monterrey permite visualizar lo que sucederá si se hace el estudio con otras bibliotecas.

En primer lugar, en base a los resultados del primer experimento se sabe que el factor que más influye en el número de guías enviadas, y por lo tanto en el costo, es la demanda de libros de otras bibliotecas. Los libros que deben ser devueltos, resultado de un préstamo hecho a la biblioteca en la Ciudad de México, no influyen de manera significativa en el número de guías enviadas.

En un escenario de alta demanda se espera un aumento en el número de guías enviadas, y por lo tanto un aumento en el costo del envío de material. Sin embargo, el cambio en el número de guías es menor al aumento en el cambio de libros, lo que se puede comprobar con un aumento en la eficiencia del sistema. Por otro lado el costo tiene un cambio radical en el momento en el que el número de guías rebasa los 60 envíos por periodo, ya que el costo por guía se reduce. El mismo procedimiento puede utilizarse para una versión extendida del modelo de simulación en el que se incluyan otras bibliotecas.

El incremento en el número de volúmenes de la biblioteca es un factor que dispara la demanda, sobre todo si el material que se adquiere es de reciente publicación. La toma de decisiones en la biblioteca acerca de la cantidad de material que se va a adquirir podría ser influenciada por un aumento en el costo del envío a otras bibliotecas. Sin embargo, en los experimentos realizados, aunque existe de hecho un aumento en el número de guías enviado, también se muestra un aumento en la utilización de las guías enviadas, lo que se puede comprobar con el aumento en la eficiencia del sistema. Las guías que se mandaban utilizando una fracción de su capacidad en escenarios de baja demanda, aumentan su capacidad con un alza en la demanda, sin que el costo aumente en la misma proporción.

Es recomendable, por lo tanto, que la biblioteca trabaje con mayor demanda de libros ya que estará enviando guías más llenas. Es decir, el costo de envío de guías no debe ser un factor para la adquisición de una cantidad mayor o menor de material. Más bien, esta decisión se debe basar en los títulos de libros que se piden con mayor frecuencia de otras bibliotecas, de manera que se pueda incrementar el nivel de servicio al cliente en el sentido de tener los libros disponibles en las instalaciones de la biblioteca y reducir o eliminar el tiempo de espera del usuario por el material solicitado.

Un mayor número de libros en biblioteca puede, además, servir con fines de promoción del plantel, presentándose como un valor agregado y así poder captar una mayor cantidad de alumnos.

## Conclusiones Generales

### 1. Conclusiones acerca del trabajo.

Se utilizó el concepto de cadenas de suministros para tratar el caso de una empresa de servicios. Bajo este concepto se tiene ahora un ejemplo de un sistema del ramo de servicios que se puede modelar como una cadena de suministros. El sistema de bibliotecas trabaja también con objetos físicos, por lo que se puede pensar en una mezcla entre productos y servicios, sin embargo el producto es parte del servicio que se le da al usuario. El fin de un sistema de préstamo entre bibliotecas es incrementar el servicio al cliente. Una biblioteca no puede tener todo el material bibliográfico que satisfaga las necesidades de una comunidad, en el caso de una institución educativa, de una comunidad de alumnos. Un sistema de bibliotecas con distintos volúmenes tiene mayor probabilidad de cubrir las necesidades de información de la mayoría de la comunidad.

Para estudiar una cadena de suministros se recomienda estudiarla en su conjunto, ya que no necesariamente la mejora en una de sus partes implica una mejora en la cadena. Al hacer un estudio completo, se llega a un nivel de dinámica y complejidad que requiere de una técnica adecuada. La simulación se presenta como una técnica capaz de solucionar un sistema con dichas características. La simulación no aporta una solución exacta, más bien se presenta como una herramienta para la toma de decisiones.

Los resultados de un estudio de simulación dependen de los siguientes factores:

- Una buena comprensión del sistema que se simula.
- Validez de la información con la que se alimenta el programa de simulación.
- Un modelo en computadora que represente adecuadamente la realidad.
- Establecer adecuadamente las variables que afectan al resultado y la variable de resultado.

No existe una escala para saber qué tan bueno o malo es un estudio de simulación, sobre todo si el sistema que se quiere representar no existe o no se tiene información al

respecto. Sin embargo, existen pruebas de verificación y validación del estudio de simulación que aumenta la confianza del método.

No siempre se puede contar con la información suficiente, por lo que es necesario hacer supuestos y contar con la colaboración de expertos. Un ejemplo claro de los supuestos que se tienen que hacer se encuentra en el ajuste de datos del capítulo 2. Dado que no hay suficiente información, se debe recurrir a recomendaciones de programadores con experiencia en situaciones similares.

De preferencia, este tipo de trabajos se deben hacer en equipos interdisciplinarios debido a que se puede enriquecer mucho el modelo conceptual con la aportación de personas con distintas visiones del sistema que se va a estudiar.

En cuanto al programa de simulación se puede concluir que no es fácil encontrar un programa que sea lo suficientemente flexible para modelar cualquier situación. Un programa flexible puede resultar muy complejo y requiere de un programador especializado. Por lo que en ocasiones se debe hacer un balance entre reflejar la realidad lo mejor que se puede y reducir la complejidad del programa.

## **2. Conclusiones acerca del modelo de simulación.**

Después de terminar el trabajo, se cuenta con un modelo de simulación que representa con suficiente fidelidad la realidad del sistema. Se tiene, por lo tanto un ejemplo del uso de la simulación para un caso de cadenas de suministros en la que las entidades se mueven en ambos sentidos.

Un modelo más complejo puede incluir todas las bibliotecas del sistema en el mismo programa para verificar si hay algún cambio con el sistema propuesto. Lamentablemente al aumentar el número de bibliotecas habría un aumento en la complejidad del programa y por lo tanto se requiere un procesador que pueda soportar el aumento de módulos del programa.

Una parte importante del modelo en computadora es la animación ya que es útil en presentaciones para visualizar lo que sucede con el modelo así facilita la comprensión de las personas que no están familiarizadas con la programación.

### **3. Conclusiones acerca del experimento.**

El aumento en la variable de respuesta, que corresponde al número de guías enviadas no es el mismo que el aumento en la demanda. El costo en el sistema no lo da un aumento en la demanda de libros, sino un aumento en el número de guías enviadas.

Al llenar las guías con más libros por envío se aprovecha más el espacio. La demanda de libros no es algo que se pueda controlar al 100%, el personal de la biblioteca no decide cuántos libros se van a mandar, por lo que no se puede recomendar aumentar el número de libros enviados. Sin embargo, se sabe que la eficiencia del sistema aumenta con el aumento de la demanda, y que ésta es afectada por la cantidad de material de reciente adquisición en aumento cada periodo.

Haciendo un análisis del costo de envío de cada guía junto con la cantidad de nuevas adquisiciones de la biblioteca se calculó el número de libros a los que puede ascender la demanda para alcanzar una reducción en el costo de envío. Esta cantidad es de 160 envíos por periodo. Haciendo una relación con el número de libros de la biblioteca se puede concluir que el siguiente incremento en el acervo de libros ascienda a 35,000 volúmenes.

### **4. Conclusiones acerca del sistema de bibliotecas.**

El análisis hecho en este trabajo permite comprender el funcionamiento del sistema de bibliotecas y la dinámica del envío y regreso de libros.

Existen dos cuestiones en torno a las bibliotecas. La primera se refiere a la imposibilidad de una biblioteca de contener todo el material que requiere una comunidad. Una biblioteca puede aumentar su colección de libros, pero requeriría de un



espacio cada vez más amplio, además de un aumento en los recursos económicos y humanos para administrarla.

La segunda cuestión se refiere a la acumulación de material bibliográfico en un solo lugar sin que exista una correcta distribución de éste. Por lo que los posibles usuarios de la biblioteca deben trasladarse al lugar en el que se encuentran los libros.

Una solución posible para el transporte y almacenamiento de libros es la creación de una biblioteca virtual, en la que todo el material se encuentre en formato electrónico, con la ventaja de que el material se puede copiar y trasladar sin costo alguno. Sin embargo, esta solución plantea un grave problema en materia de derechos de autor.

La solución que se presenta como más viable es contar con un sistema eficiente de envío, transporte y devolución del material bibliográfico, de manera que exista una mayor cantidad de personas que puedan hacer uso de los recursos de una biblioteca.

## Anexo 1

### Ajuste de Datos para el Material Enviado y Recibido

A continuación se presentan ejemplos que se hicieron de ajuste de datos para las principales bibliotecas del estudio.

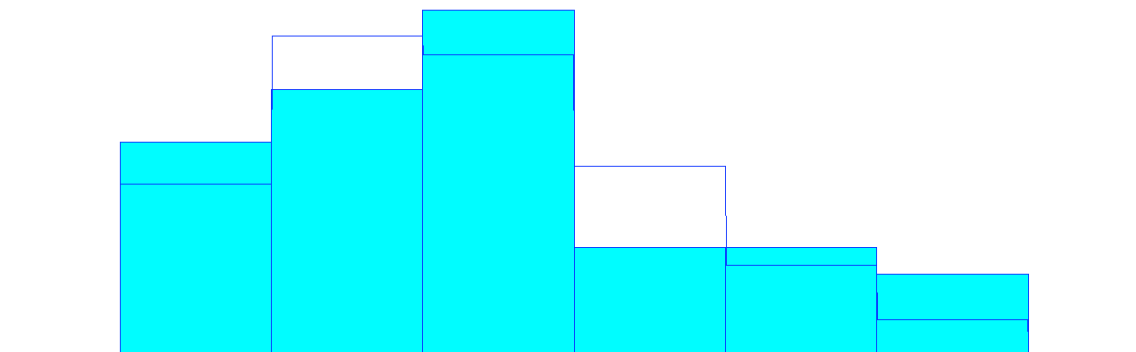
#### 1. Envíos entre las bibliotecas del Distrito Federal.

Data Summary

Number of Data Points = 42

Sample Mean = 4.32

Sample Std Dev = 3.38



Distribution Summary

Distribution: Poisson

Expression: POIS(4.32)

Square Error: 0.012825

Chi Square Test

Number of intervals = 4

Degrees of freedom = 2

Test Statistic = 2.39

Corresponding p-value = 0.319

Function	Sq Error
Weibull	0.012
Poisson	0.0128

Gamma	0.0143
Erlang	0.015
Beta	0.0164
Normal	0.0201
Lognormal	0.0236
Triangular	0.04
Uniform	0.0454
Exponential	0.0513

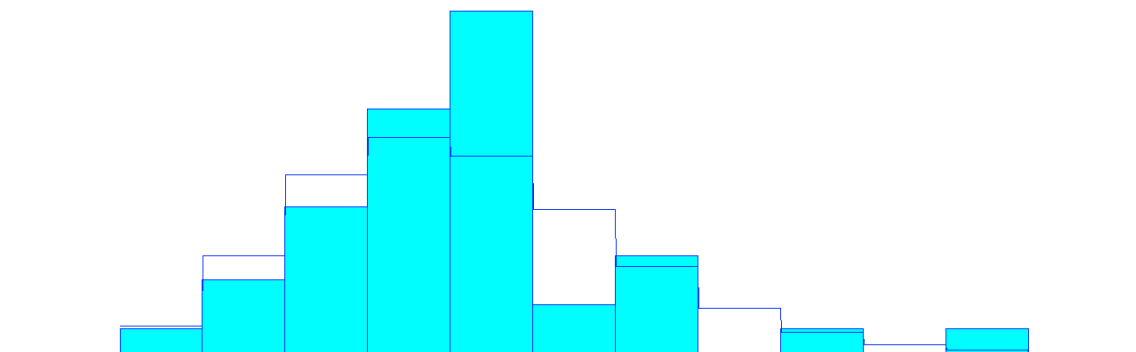
## 2. Material recibido de la biblioteca Estado de México

### Data Summary

Number of Data Points = 42

Sample Mean = 8.37

Sample Std Dev = 4.27



### Distribution Summary

Distribution: Poisson

Expression: POIS(8.37)

Square Error: 0.033319

### Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 7.99

Corresponding p-value = 0.0938

Function	Sq Error
Normal	0.0325
Erlang	0.0332
Poisson	0.0333
Gamma	0.0354
Weibull	0.0355
Beta	0.0384
Lognormal	0.0456
Triangular	0.0626
Uniform	0.115
Exponential	0.132

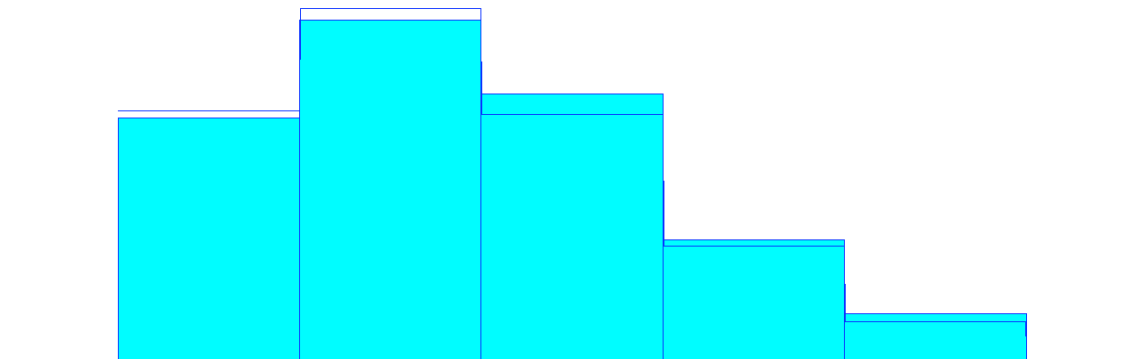
### 3. Material recibido de la biblioteca al sur de la Ciudad de México

#### Data Summary

Number of Data Points = 42

Sample Mean = 3.22

Sample Std Dev = 2.59



#### Distribution Summary

Distribution: Poisson

Expression: POIS(3.22)

Square Error: 0.000667

Chi Square Test

Number of intervals = 4

Degrees of freedom = 2

Test Statistic = 0.142

Corresponding p-value > 0.75

Function	Sq Error
Triangular	0.00445
Weibull	0.0134
Gamma	0.016
Lognormal	0.0231
Uniform	0.054
Beta	0.00334
Poisson	0.0127
Erlang	0.0143
Normal	0.0224
Exponential	0.0326

## Anexo 2

### Experimentos para demostrar la influencia de los factores A y B en la variable de respuesta

En las siguientes tablas se muestra el resultado de cada experimento con un tamaño de muestra de 15 réplicas.

1. Experimento para los factores A y B en su nivel normal.

Llegadas	Expo(1.4)	Llegadas Mty	Expo(9.1)	guías	
113		28		51	
99		14		55	
138		16		58	
133		25		55	
113		25		55	
120		18		51	
101		25		48	
154		12		58	
124		12		55	
133		21		53	
113		28		51	
113		14		55	
138		16		58	
133		25		55	
113		25		55	
<b>Parámetros</b>		<b>Parámetros</b>		<b>Parámetros</b>	
Suma	1838	Suma	304	Suma	812
Media	122.51	Media	20.24	Media	54.13
desviación	15.44	desviación	6.04	desviación	2.87
n	15.00	n	15.00	n	15.00

En la parte superior de la tabla se expresa la distribución que se utilizó para genera los datos.

2. Experimento para el factor A en su nivel alto, y el factor B normal.

Llegadas	Expo(1.13)	Llegadas Mty	Expo(9.1)	guías	
138		18		55	
147		16		58	
198		35		58	
152		23		55	
152		21		64	
173		37		60	
152		18		60	
131		28		55	
179		25		55	
156		14		60	
124		16		53	
175		14		58	
168		25		58	
166		21		58	
87		16		60	
Parámetros		Parámetros		Parámetros	
Suma	2298	Suma	327	Suma	865
Media	153.18	Media	21.77	Media	57.65
desviación	26.49	desviación	7.06	desviación	2.81
n	15.00	n	15.00	n	15.00

3. Experimento para el factor A en su nivel normal y el factor B en su nivel alto.

Llegadas	Expo(1.4)	Llegadas Mty	Expo(6.9)	guías	
110		28		46	
104		25		55	
133		21		55	
145		41		58	
133		30		55	
110		25		53	
120		25		55	
133		23		55	
117		23		48	
133		32		58	
106		25		55	
127		32		58	
124		25		53	
124		21		58	
106		39		51	
Parámetros		Parámetros		Parámetros	
Suma	1826	Suma	416	Suma	812
Media	121.75	Media	27.75	Media	54.13
desviación	12.64	desviación	6.18	desviación	3.46
n	15.00	n	15.00	n	15.00



4. Experimento para ambos factores, A y B en sus niveles altos.

Llegadas	Expo(1.13)	Llegadas Mty	Expo(6.9)	guías	
124		28		58	
154		35		58	
145		25		53	
152		25		53	
173		32		60	
133		28		60	
138		30		58	
166		23		55	
205		30		64	
143		32		55	
166		53		58	
143		23		55	
168		35		62	
133		28		58	
143		21		55	
Parámetros		Parámetros		Parámetros	
Suma	2284	Suma	446	Suma	860
Media	152.26	Media	29.75	Media	57.35
desviación	20.35	desviación	7.65	desviación	3.19
n	15.00	n	15.00	n	15.00

## Apéndice 1

### Descripción de los módulos usados en Arena.

El programa de simulación Arena consta de módulos de simulación básica y módulos de simulación avanzada. Todos los módulos de programación básica se encuentran dentro del conjunto COMMON ya que no se requiere programación detallada para ser usados. Los módulos de simulación avanzada se encuentran en otros paneles como en el SUPPORT o TRANSFER.

Un modelo básico de simulación contiene llegadas, procesos, salidas y un módulo que indique las generalidades de la simulación. La disposición de estos módulos se muestra a continuación:

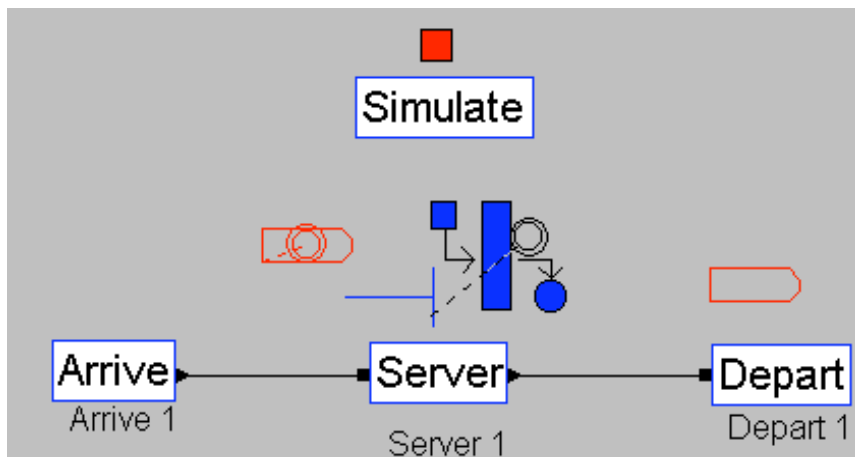


Fig. A.1. Disposición de los módulos en un programa de simulación básico.

Dependiendo del modelo se pueden usar uno o muchos módulos distintos de este tipo, es decir, dos o más llegadas, procesos y salidas. Estos módulos básicos se describen a continuación.

El módulo de llegadas: Arrive.

Este módulo se utiliza para la creación de entidades. Se divide en tres partes como se puede ver en la figura. La primera parte (Enter Data) describe la naturaleza del punto de entrada de entidades, incluye el nombre del módulo, el cual sirve de referencia dentro

del programa; la segunda (Arrival Data) describe la naturaleza de las unidades que se crean; finalmente, la última parte (Leave Data) describe lo que ocurre con las entidades una vez que salen del punto de llegada.

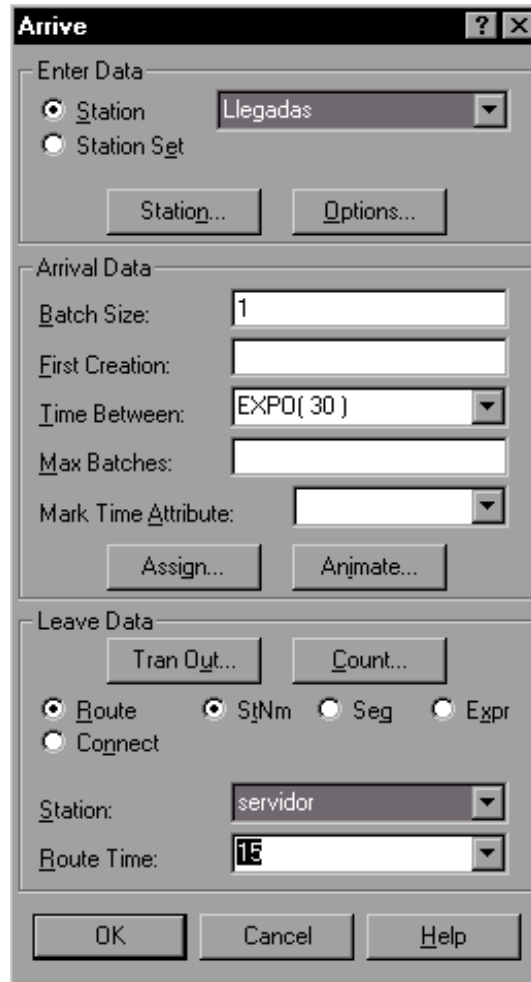


Fig. A.2. Ventana del módulo de llegadas.

Dentro de la sección *Arrival Data* se especifica si las unidades llegan en lotes o en incrementos de uno en uno; la función de probabilidad que gobierna el tiempo entre llegadas de las entidades; finalmente, los atributos correspondientes a las entidades que llegan en este módulo. Explícitamente se encuentra un atributo de tiempo, que marca a las entidades y cuenta el tiempo que llevan en el sistema hasta que encuentran otra marca. También se pueden especificar otros atributos (variables, figuras, secuencias, etc.) usando el botón *Assign*.

La sección *Leave Data* sirve para especificar tanto la manera en que salen las entidades del módulo como su destino. El módulo *Arrive* permite escoger si las entidades siguen

una ruta, o directamente pasan a otra estación, si esperan un transporte tipo *transport* o *conveyor* para ser trasladadas, o si siguen una cierta secuencia en los módulos que recorren a lo largo del modelo.

El módulo de proceso: Server.

Este módulo representa el recurso que se va a utilizar para procesar entidades, así como la línea de espera y el tiempo de proceso de unidades. Al igual que en el módulo de llegadas, existen tres secciones: *Enter Data*, *Server Data* y *Leave Data*.

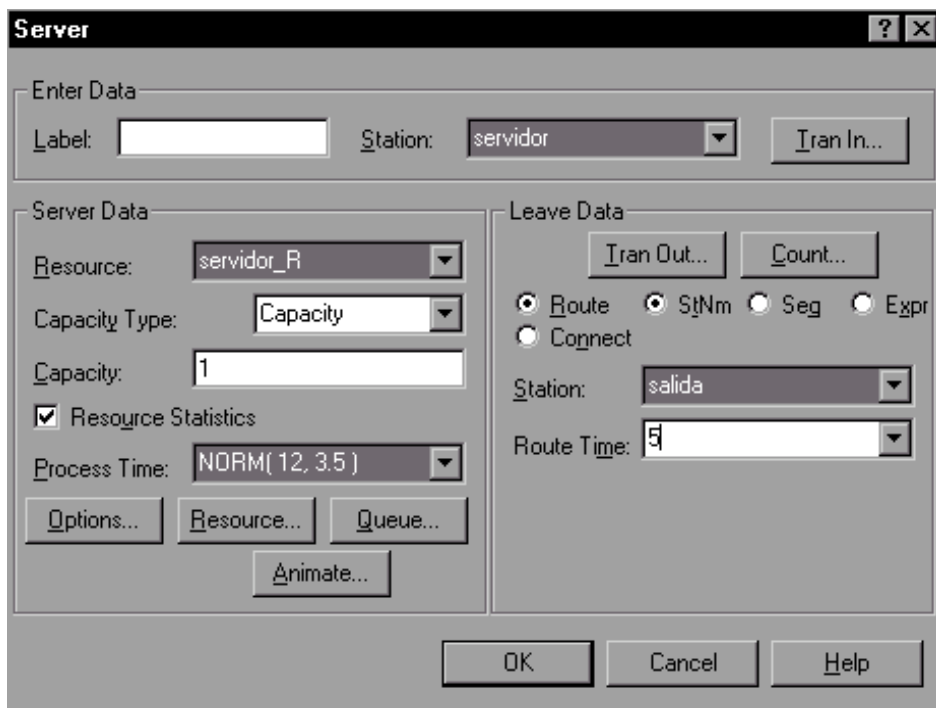


Fig. A.3. El módulo de proceso (Server).

La sección *Enter Data*, asigna el nombre al módulo y describe la manera en la que las unidades llegan al módulo, ya sea mediante conexiones, rutas o transportes.

En la segunda sección, *Server Data*, se asigna el nombre al recurso que se va a utilizar, el tiempo de proceso (al cual se le puede asignar una distribución de probabilidad), y la capacidad del servidor. También se encuentran en esta sección los acumuladores estadísticos correspondientes al servidor y a la línea de espera.

Finalmente, la sección *Leave Data* describe la manera en la que las partes se trasladan al siguiente módulo igual que en el módulo de llegadas, también cuenta con un acumulador que cuenta las unidades que han sido procesadas.

El módulo de salidas: *Depart*.

Este módulo representa entidades que dejan el sistema. Se divide en tres secciones: *Enter Data*, *Count*, y *Tally*.

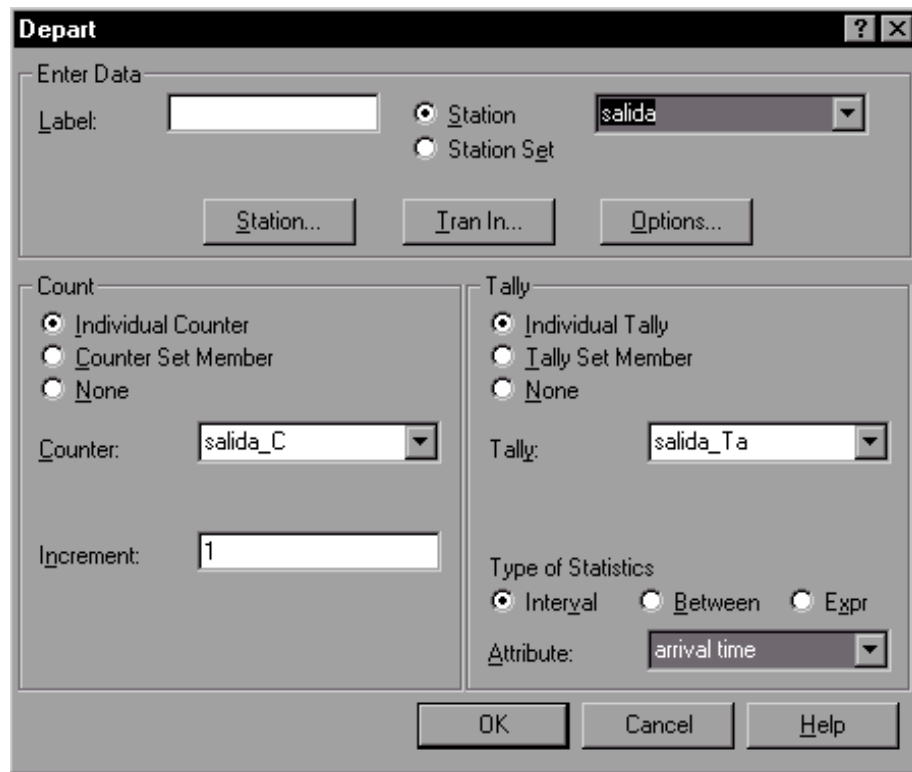


Fig. A.4. El módulo de Salidas (Depart).

En la primera sección se da nombre al módulo y en caso de ser requerido, se describe la manera en la que llegan las entidades al módulo.

Posteriormente, en la sección *count*, se establece un acumulador en caso de que se requiera contar las unidades que salen del modelo.

Finalmente, la sección *Tally* sirve para registrar atributos de las entidades en el momento en que salen del modelo. Por ejemplo, si en el módulo *Arrive* se introdujo un

atributo de tiempo, en la salida se marca el mismo atributo para contar el tiempo desde que llegó la entidad hasta que salió del modelo.

El módulo de generalidades: Simulate.

En este módulo se establecen el número de réplicas de la simulación y el tiempo de réplica entre otras cosas. También se tiene una sección para el nombre del modelo, nombre del modelador y fecha de realización. Este módulo también cuenta con una sección de animación para escoger la figura que se utilizará para las entidades en su recorrido por el modelo.

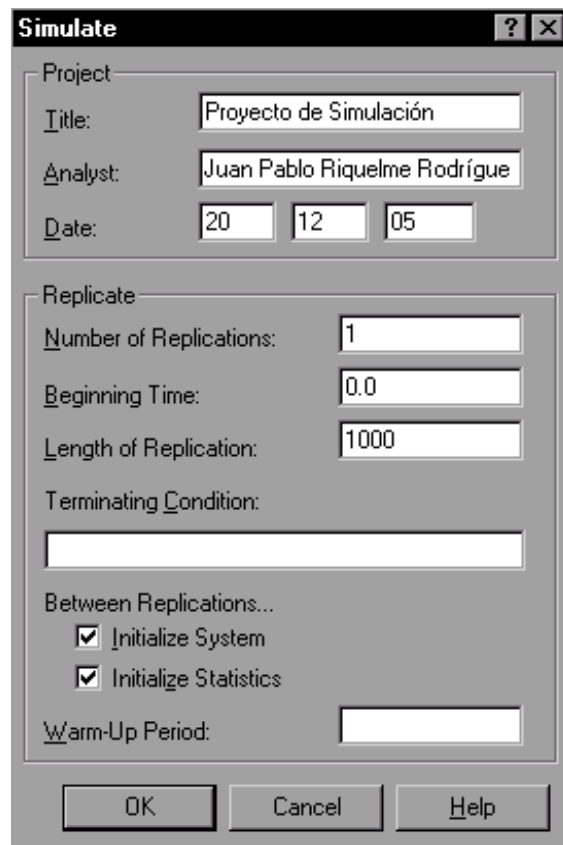


Fig. A.5. El módulo de Generalidades (Simulate).

Para funciones más avanzadas de simulación, se pueden utilizar los módulos del bloque SUPPORT o bien, módulos en COMMON que describan detalladamente las funciones de llegada, proceso y salida de unidades.

Módulos de proceso avanzados: *Enter, Process, Leave*

Estos módulos avanzados se refieren a la entrada, proceso y salida existentes en un servidor, que son simplemente la descomposición del módulo *Server*, y permiten hacer un modelo más detallado en caso de que el proceso y los recursos usados en la simulación así lo requieran.

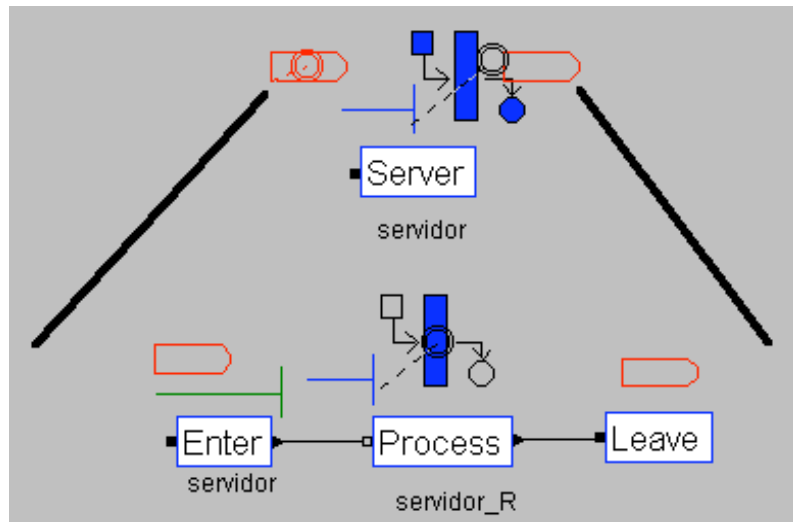


Fig. A.6. Descomposición del módulo *Server* en *Enter* – *Process* – *Leave*.

Para el presente trabajo se utilizará una descomposición en módulos de la forma *Arrive* – *Enter* – *Process* – *Leave* – *Depart*, en lugar de la tradicional *Arrive* – *Server* – *Depart*. Posteriormente se analizará la importancia de este arreglo para el sistema de bibliotecas bajo estudio.

Como ya se dijo, los módulos de *Enter*, *Process* y *Leave* contienen las mismas funciones que el módulo *Server*, pero separadas. A continuación se exhiben las ventanas correspondientes a estos módulos para una referencia posterior.

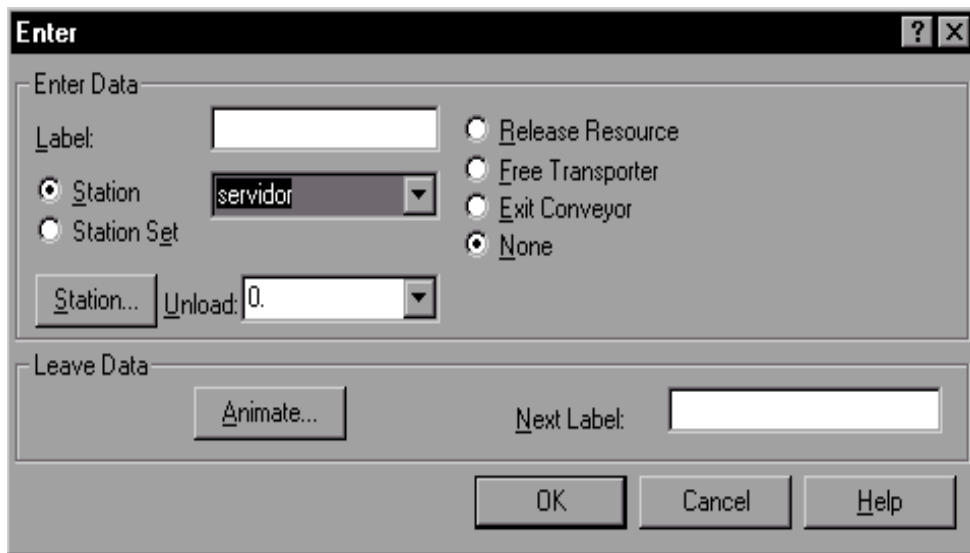


Fig. A.7. El módulo de entrada al proceso: Enter

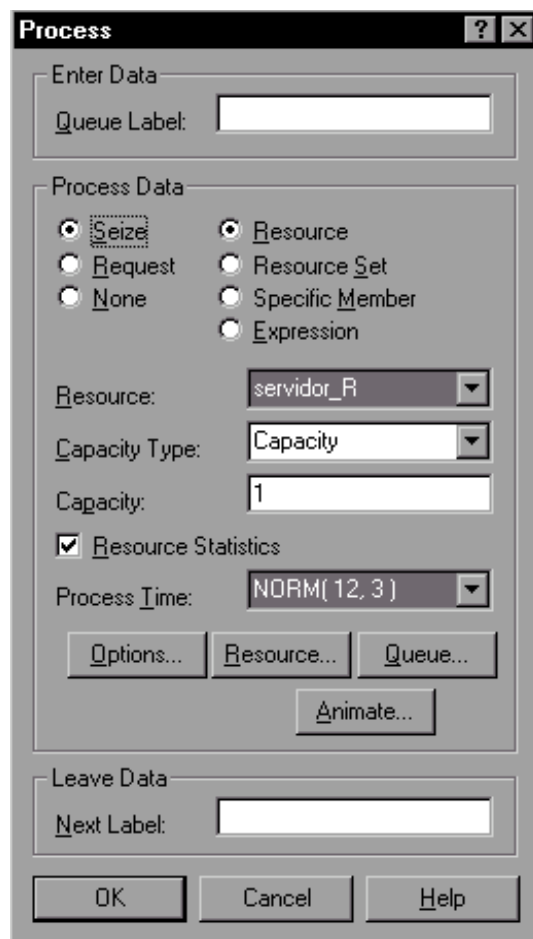


Fig. A.8. El módulo de proceso: Process



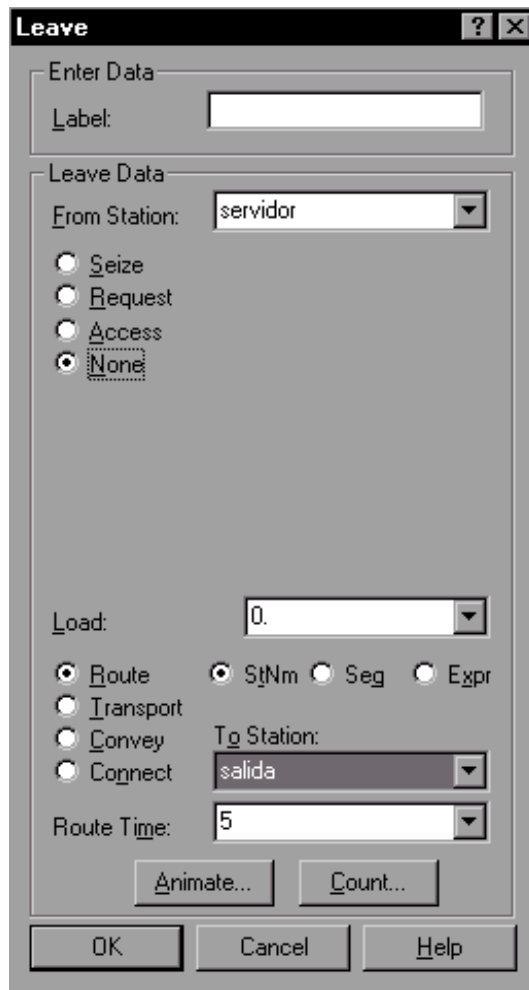


Fig. A.9. El módulo de salida de la estación de proceso: *Leave*.

Otro módulo de simulación avanzada de gran relevancia en este trabajo es el módulo de secuencias (sequences), que permite programar el camino que seguirá una entidad a lo largo del modelo cuando se presentan varias opciones para su recorrido. Éste módulo se describe a continuación.

El módulo de secuencias: *Sequences*.

Como se mencionó anteriormente, existen sistemas en los que las entidades siguen un camino predeterminado pero diferente a través del sistema de acuerdo a su naturaleza. Algunos sistemas de manufactura constan de pasos o procesos que se deben de seguir en cierto orden para que las partes puedan salir del sistema. Como ejemplo se puede mencionar un sistema de recubrimiento superficial de partes metálicas, cada parte requiere una secuencia de baños en productos químicos distinta de acuerdo al acabado que se le quiera dar. También los sistemas de servicios pueden llevarse a cabo en forma

de secuencias, por ejemplo, las personas en un aeropuerto requieren diferentes caminos dependiendo si tienen que registrar equipaje o sólo llevan equipaje de mano, o bien, si viajan dentro o fuera del territorio nacional.

El módulo de secuencias permite una secuencia de visitas de acuerdo a una lista de estaciones, así como asignaciones de atributos o variables en cada estación dentro de la lista. Para dirigir una entidad mediante una secuencia se debe escoger la opción “seq” en cada módulo al momento de transferir la entidad al siguiente módulo.

El programa de simulación se encarga del seguimiento de la entidad dentro de las estaciones que forman la secuencia así como de los atributos asignados en cada paso y el siguiente destino. Esto lo hace mediante tres atributos: *Station*, *Sequence* y *Jobstep*. El atributo *Station* contiene el nombre de la estación en la que se encuentra la entidad o la estación a la que se transfiere la entidad. El atributo *Sequence* se define por el usuario y contiene el nombre de la ruta que seguirá la entidad. El atributo *Jobstep* especifica la posición de la entidad dentro de la secuencia. En otras palabras, se define una ruta mediante un nombre y una serie de estaciones, después se asigna esa secuencia en el módulo de llegadas de manera que todas las entidades tengan el mismo atributo; en el momento de salir del módulo de llegadas, hay un incremento en los atributos *station* y *jobstep* que corresponden a esa entidad.

En resumen, una entidad llega al sistema, sigue una ruta determinada hasta que la completa y sale del sistema. Sin embargo, esto no es un requerimiento, el programa permite suspender una secuencia para transferir las entidades mediante rutas o conexiones y después retomar la secuencia.

A continuación se presenta una figura que ejemplifica el módulo de secuencias.

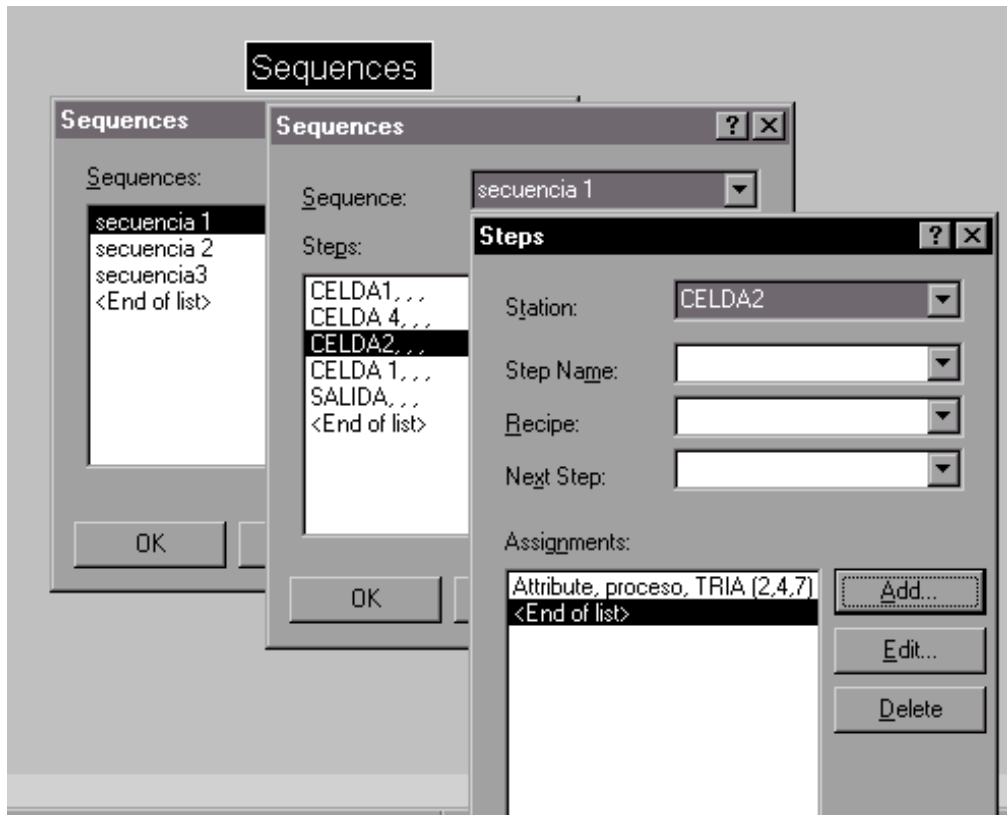


Fig. A.10. El módulo de secuencias. *Sequences*.

#### El módulo de Variables: *Variables*

En algunos modelos se requiere re-utilizar datos en diferentes lugares. Si se requiere cambiar el valor de estos datos sería necesario hacer el cambio en todos los módulos que contengan el dato requerido. Las variables se usan para definir un dato y usarlo en cuantos lugares se necesite a lo largo del modelo, de manera que si se requiere un cambio en este dato, es suficiente con hacer el cambio en el módulo de variables y automáticamente se hace el cambio en todos los módulos en los que se usó el dato. Este módulo es particularmente útil en modelos muy complejos, de manera que no sea necesario llevar una lista de los módulos en los que se usó el mismo dato.

En otras palabras, el módulo *Variables*, permite definir variables globales y sus valores iniciales. Después se puede hacer referencia a las variables por sus nombres a lo largo del modelo.

Existe otro módulo similar a variables, en el que se definen expresiones en lugar de valores iniciales. Ambos módulos (variables y expressions) tienen la misma función. El valor de las variables puede ser alterado durante el curso de la simulación, por ejemplo, si se quiere llevar un registro del trabajo en proceso, se define una variable de entidades con valor inicial de 0; en el módulo de llegadas se asigna un valor de entidades + 1, y en el módulo de salida se asigna un valor de entidades - 1, de manera que el valor de la variable indica el número de entidades dentro del sistema.

A continuación se presentan ejemplos que ilustran los módulos *Expressions* y *Variables*.

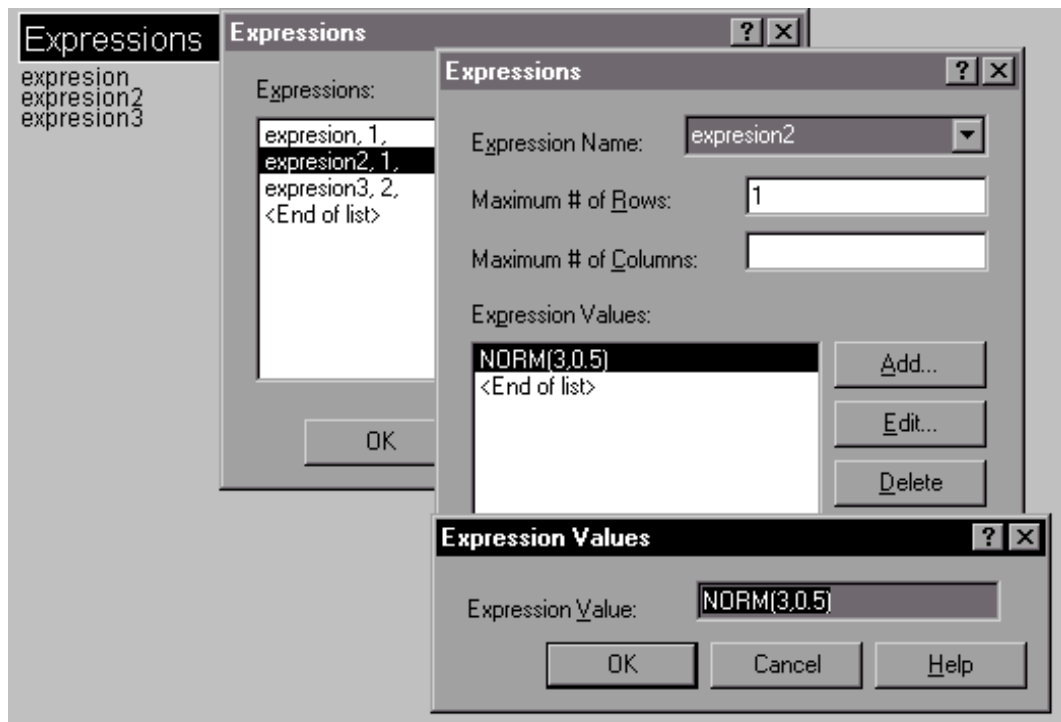


Fig. A.11. El módulo *Expressions*

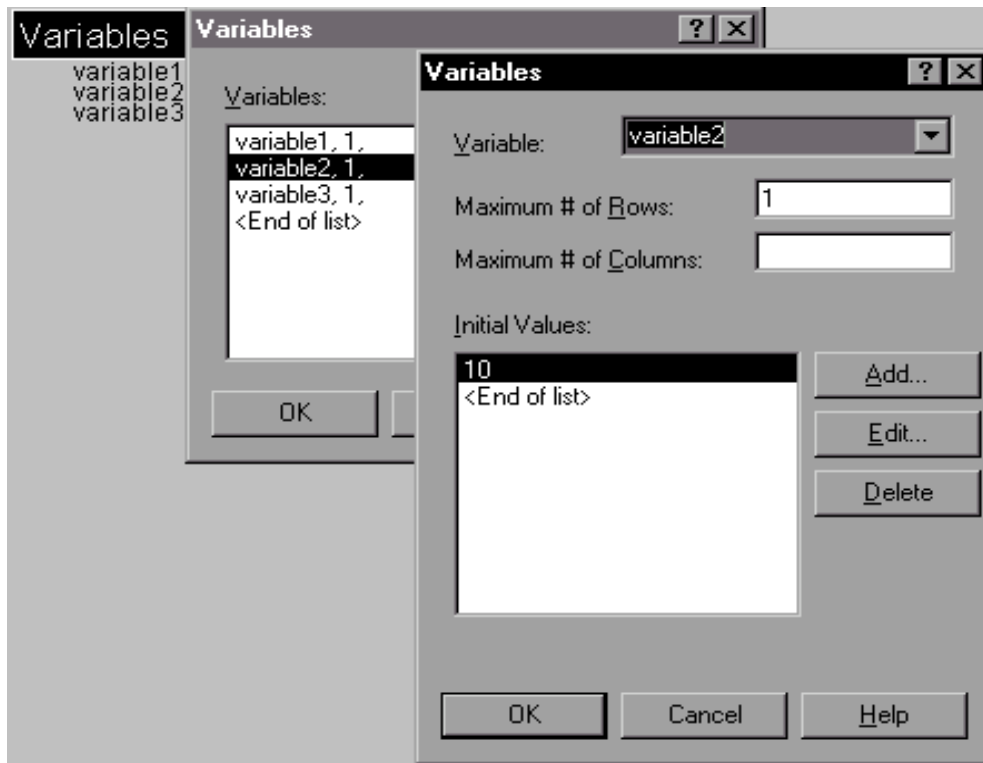


Fig. A.12. El módulo *Variables*.

Módulos de Transferencia de unidades: *Transporter*, *Conveyor*.

Existen tres formas de transferir entidades de un módulo a otro: por rutas, usando conexiones y usando un dispositivo de transferencia.

El método de conexiones, como su nombre lo indica conecta dos módulos de manera que las entidades se trasladan sin tiempos de rutas. En caso de que se requiera especificar un retraso por traslado de un módulo a otro se utiliza el método de rutas, el tiempo de ruta se especifica en el módulo del cual salen las entidades. Además de estos métodos, que son los más comunes, Arena cuenta con unidades de transporte, ya sea en forma de transportes (entidades) o banda transportadora. La ventaja que proporcionan estas unidades de transporte es que permiten especificar el tiempo y la distancia entre módulos (y por tanto velocidad de la unidad) y son útiles para un modelo de simulación detallado.

En términos de animación del modelo también existen diferencias. Las conexiones no permiten observar las entidades mientras éstas pasan de un módulo a otro. Las rutas permiten ver a las entidades trasladarse de un módulo a otro por sí solas, mientras que

las unidades de transporte muestran a las entidades junto con una unidad de transporte al cambiar de posición en el modelo.

Las dos primeras formas de transferencia se pueden usar en la mayoría de los modelos de simulación. Sin embargo, existen casos en los que se debe mostrar a las entidades transportadas por medio de una unidad con el objeto de mostrar la espera de entidades para acceder a un transporte, o simplemente para mostrar que no pueden transportarse todas al mismo tiempo y que debe haber un orden en la transferencia de unidades.

Las unidades de transporte se dividen en dos grupos:

- a) El primer grupo depende de la disponibilidad de unidades de transporte, en el programa son conocidos como *transporter*. Estas unidades representan dispositivos como camiones, personas, montacargas y AGV (Automated Guided Vehicle) entre otros. Estas unidades tienen una característica adicional, que es su localización física en el modelo. Una unidad de transporte debe primero ser solicitada y moverse desde su localización hasta el módulo que requirió una unidad.
- b) El segundo grupo de unidades de transporte depende de la disponibilidad de espacio. También requiere un límite en el número de unidades transportadas simultáneamente entre dos módulos. Estas unidades en el programa son conocidos como *conveyor* y representan dispositivos como bandas transportadoras, líneas de transporte, carriles, escaleras eléctricas, entre otros. En el momento de requerir un conveyor primero se debe obtener la cantidad de espacio disponible en el dispositivo.

Estos dos tipos de unidades de transporte permiten modelar casi todo tipo existente de sistema de manejo de materiales.

En este modelo de simulación no hay restricciones en cuanto al espacio disponible para mover unidades, lo más adecuado es un sistema de transferencia de tipo *transporter*, por lo que el enfoque se hará hacia este módulo.

Existen dos tipos de “transporters”: los de ruta libre o los transportes guiados. Las unidades que se mueven en una ruta libre pueden moverse por todo el sistema sin problemas de congestión o retrasos por tráfico de unidades, la única restricción para este tipo es la distancia recorrida y la velocidad del vehículo. Los transportes guiados están sujetos a una ruta definida previamente. Los tiempos de transporte dependen de su velocidad, de la ruta que siguen y de la posible congestión a lo largo de estas rutas.

El transporte de una unidad requiere tres pasos: Solicitud de una unidad de transporte, trasladar la entidad y liberar la unidad de transporte usada. En los bloques de modelación detallada (SUPPORT, TRANSFER y BLOCKS) se encuentran los módulos *de Request, Transport y Free* que representan estas actividades. Los módulos de programación general (dentro del bloque COMMON) tienen estas funciones integradas, y sólo se requiere definir las en la ventana de cada módulo. La actividad de solicitud de una unidad de transporte coloca una unidad disponible en la entidad que lo requiere y mueve la unidad de transporte a dicha unidad. La actividad de traslado permite al transporte mover la entidad a la estación destino. En este caso la unidad de transporte y la entidad se mueven juntas. La actividad de liberar una unidad, permite a la unidad de transporte estar libre para la siguiente requisición.

Si existe más de una unidad de transporte en el sistema es necesario definir dos situaciones:

- a) La primera situación ocurre cuando se requiere una unidad de transporte y más de una están disponibles, para este caso existe una regla de selección de la unidad de transporte para decidir cuál de las unidades llenará la requisición. La regla de selección más común es la de la menor distancia, mediante la cual, la unidad disponible que se encuentre más cerca de la entidad es la que se usará. Otras reglas existentes son la distancia más larga, al azar o por preferencia.
- b) La segunda situación que se puede presentar es que exista una unidad de transporte disponible pero hay muchas entidades esperando ser transportadas. En este caso se asigna un número de prioridad a las entidades que están en espera de ser

transportadas. El transporte elegirá la entidad de más alta prioridad, en caso de empate, el transporte elegirá la más cercana.

Es claro que para que el transporte pueda tomar una decisión acerca de la regla de selección, se requiere definir las distancias entre los recursos. Aunque los módulos se pueden colocar en distintas posiciones en la pantalla del modelo, esto no implica que estén “cerca” o “lejos” unos de otros. El programa no hace distinción de los módulos por la posición en la que se encuentran, por lo que es necesario especificar distancias entre ellos. Esto se hace usando el módulo *Distance*, en el cual se definen cuatro elementos: La estación de salida, la estación de llegada, la distancia entre ellas y la unidad de transporte que se usará entre ellas. Es necesario colocar una distancia por cada par de módulos que requieran la unidad de transporte aunque no exista un traslado de unidades entre ellos de manera que el transporte se pueda trasladar de una a otra en el momento que exista una requisición.

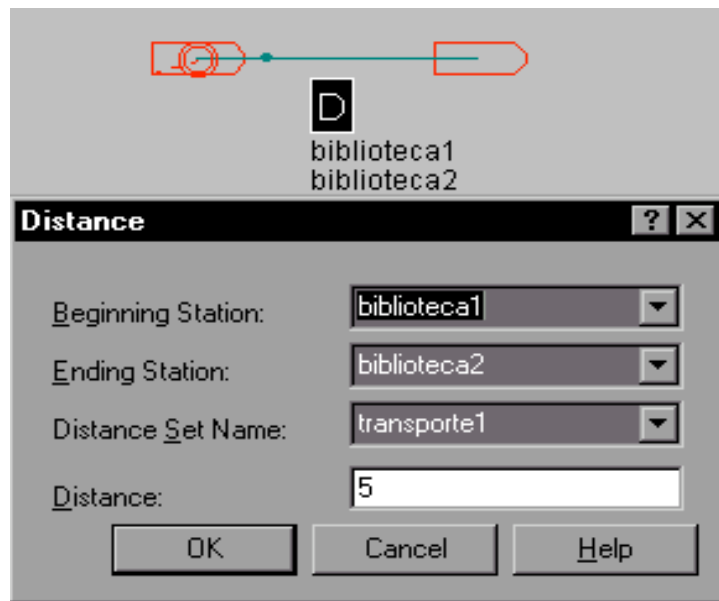


Fig. 3.13. El módulo de distancia.

Con este módulo concluye la parte de descripción de los módulos básicos y avanzados del programa de simulación que se incluyen en la elaboración del programa de simulación del presente trabajo.



## Bibliografía

Antun, Juan Pablo. (1993). *Logística: una visión sistémica*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Antun, Juan Pablo. (2004). *Logística inversa*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ballou, Ronald. (1991). *Logística empresarial. Control y planificación*. Díaz de Santos.

Bansal S. (2003). Theory and practice of advanced planner and optimizer in supply chain domain. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1424 – 1432.

Bowersox, Closs, Cooper. (2002). *Supply chain logistics management*. McGraw Hill.

Carson, John. (2003) Introduction to modeling and simulation. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 7 – 13.

Chase R., Jacobs F. and Aquilano N. (2004) *Operations management for competitive advantage*. Mc Graw Hill.

Coss, Raúl. (2003). *Simulación. Un enfoque práctico*. Limusa, Noriega Editores.

Costantino F., Di Gravio G., Tronci M. (2005). Simulation model of the logistic distribution in a medical oxygen supply chain. *Proceedings 19<sup>th</sup> European Conference on Modelling and Simulation*.

Dalal M., Bell H. Keller M. and Denzien M. (2003). Initializing a distribution supply chain simulation with live data. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1621 – 1626.

Fitzsimmons, James, Fitzsimmons, Mona. (2004). *Service management*. Cuarta edición. McGraw Hill.

Godding G., Sarjoughian H. and Kempf K. (2003). Semiconductor supply network simulation. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1593 – 1601.

Higuchi T. and Troutt M. (2004). Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product – lessons from the tamagotchi case. *Computers & Operations Research*. Vol. 31 pp. 1097 – 1114.

Hoang T. and Azadivar F. (2003). Simulation based optimization for supply chain configuration design. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1268 – 1275.

Islas, Víctor. (1992). *Estructura y desarrollo del sector transporte en México*. El Colegio de México. Segunda edición. pp. 13.

Jiménez, José Elías. Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico. *Instituto Mexicano del Transporte*. Publicación Técnica No. 215.

Kara S., Rugrungruang F., Kaebernick H. (2006). Simulation modelling or reverse logistics networks. *Int. J. Production Economics*.

Kelton, D, Sadowski R. Sadowski D. (1998). *Simulation with Arena*. McGraw Hill. pp. 514.

LaLonde, Bernard. (1994). Emerging logistics strategies: blueprints for the next century. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. Vol. 24, No. 7. pp. 35 -47.

Montgomery, Douglas. (1991). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Grupo Editorial Iberoamérica. pp. 175 – 228.

Muñoz D. (2003). A bayesian framework for modeling demand in supply chain simulation experiments. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1319 – 1325.

Nersesian R. Boyd G.( 1996). *Computer Simulation in Logistics*. Quorum Books.

Persson F. and Olhager J. (2002) Performance simulation of supply chain designs. *Int. J. Production Economics*. Vol. 77. pp. 231 – 245.

Petrovic D. (2001). Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment. *Int. J. Production Economics*. Vol. 71. pp. 429 – 438.

Poirier C. (2002). *The supply chain manager's problem – solver. Maximizing the value of collaboration and technology*. St Lucie Press.

Porter, Anne Millen. (1997). One focus, one supply base. *Purchasing*, Junio. pp. 50 – 59.

Reiner G. and Trcka M. (2004). Customized supply chain design: problems and alternatives for a production company in the food industry. A simulation based analysis". *Int. J. Production Economics*. Vol. 89. pp. 217 – 229.

Rossetti M. & Chan H. (2003). A prototype object-oriented supply chain simulation framework. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1612 – 1620.

Sargent, Robert. (2003) Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 37 – 48.

Sen W., Pokharel S and YuLei W. (2004). Supply chain positioning strategy integration, evaluation, simulation and optimization. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 46 pp. 781 – 792.

Stchedroff N. (2003). Modelling a Continuous Process with Discrete Simulation Techniques and its Application to LNG Supply Chains. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1607 – 1611.

Sunil C, Meindl P. (1992). *Supply Chain Management*. New Jersey: Prentice Hall. p. 443.

Tan G., Zhao N. and Taylor S. (2003). Automobile manufacturing supply chain simulation in the grids environment. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1149 – 1157.

Terzi S. and Cavalieri S. (2004). Simulation in the supply chain context: A survey. *Computers in Industry. Vol. 53.* pp. 3 – 16.

Walpole R., Myers R. (1992). *Probabilidad y Estadística*. McGraw Hill, cuarta edición.

Walsh K., Sawhney A. and Bashford H. (2003). Simulation of the residential lumber supply chain. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1548 – 1551.

Williams E. & Gunal A. (2003). Supply chain simulation and analysis with Simflex. *Proceedings on the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 231 – 237.