

Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez"
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial



Trabajo de Diploma
"Modelo matemático para el análisis de la capacidad en
la carnicería del Súper Mercado Camino de la Habana"

Diplomante: Raúl Mursulí Oliva
Tutor: Ing. Manuel Hung Varela

CURSO 2013-2014

La presente investigación se realizó en carnicería del Super Mercado “Camino de la Habana”, perteneciente al Ministerio de Comercio Interior (MINCIN). Las colas en la carnicería son largas, el consumidor permanece mucho tiempo para ser atendido y marcharse. La causa de ello es la insuficiente capacidad, ya que la carnicería atiende a dos zonas compuestas por 3803 consumidores agrupados en 1803 núcleos, y solo dispone de un dependiente.

Se establece el procedimiento para modelar y simular sistemas propuesto por (Barceló, 1996). Se construyó un modelo matemático para el análisis de la capacidad de la carnicería objeto de estudio. Se simuló el modelo y se comprobó que la capacidad no es suficiente. Para ello se utilizó el software especializado Promodel 7.0, @Risk y el SPSS 15.0.

The present research was made at Supermarket “Camino de la Habana” meat store, belonging Inside Selling Minister (MINCIN). The meat store’s queues are very long, the costumers stay long time to receive attention and then go away. It is because insufficient capability, the meat store provides services to 3803 costumers, groped in 1803 nucleus, and only one service station.

The procedure to modeling and simulating proposed by (Barceló, 1996) is establish . A mathematical model to capability analysis at meat store was built. The model was simulated and was prove that capability is not sufficient. It was use Promodel 7.0 @Risk and SPSS 15.0 software.

Introducción	1
Capítulo I. Marco Teórico Referencial	5
1.1 Estrategia de investigación.....	5
1.2 Sistemas.....	6
1.3 Propiedades de los sistemas	7
1.4 Características de los sistemas	7
1.5 Clasificación de los sistemas	7
1.6 Parámetros de los sistemas	9
1.7 Sistemas de servicio.....	10
1.7.1 Estructura básica de un sistema de servicio.....	10
1.7.2 Elementos que componen un sistema de servicio.....	10
1.8 Capacidad	12
1.8.1 Tipos de capacidades y medidas de desempeño.	13
1.8.2 Unidad de medida de la capacidad	14
1.8.3 Estrategias de capacidad.....	16
1.8.4 Alternativas de ajuste de capacidad.....	18
1.8.5 Planeación de la capacidad. Métodos.....	19
1.9 Simulación.....	20
1.9.1 Clasificación de los modelos de simulación	21
1.9.2 Ventajas y desventajas de la simulación.....	22
1.9.3 Elementos de un modelo de simulación.....	23
Capítulo II. Procedimiento para la modelación y simulación matemática	26
2.1 Formular el problema y planificar el estudio	27
2.2 Recogida de datos.....	28
2.3 Construir y verificar el programa del modelo para computador	30
2.4 Ejecuciones de prueba y validación del modelo	35
2.5 Diseño de los experimentos de simulación.....	38
2.6 Ejecución de los experimentos	39
2.7 Análisis de los resultados	39
Capítulo III. Análisis de la capacidad de la carnicería del Super Mercado "Camino de la Habana" con la modelación y simulación matemática.....	42

ÍNDICE

3.1 Formular el problema y planificar el estudio	42
3.2 Recogida de datos.....	43
3.3 Construcción y verificación del modelo.....	47
3.4 Ejecuciones de prueba y validación.....	50
3.5 Diseño de los experimentos	50
2.6 Ejecución de experimento y análisis de resultados	54
Conclusiones.....	58
Recomendaciones	59
Referencias Bibliográficas	60
Anexos	1
Anexo # 1. Proyecto de Investigación. Salida del software WINQSB.....	1
Anexo # 2. Tamaño de la muestras.....	1

Introducción

La Investigación de operaciones, nacida de la mano de la gestión y el enfoque sistémico, fundamentalmente en la Segunda Guerra Mundial, se extendió rápidamente al mundo empresarial, y llegó para quedarse. Aunque por sí sola no se basta, sino que debe combinarse con la Metodología Cualitativa para la toma de decisiones eficaces, es una filosofía cuantitativa necesaria y en ocasiones indispensables para el desarrollo económico e industrial de la humanidad. (Hillier & Lieberman, 1997)

La simulación, como herramienta de la Investigación de operaciones, ya ha cruzado las barreras que otras técnicas del grupo mencionado no han logrado. Es utilizada en asuntos tan variados como: cosmología, medicina, esfera militar, esfera empresarial, etc.

Las empresas, explotan la simulación como una herramienta de soporte para la toma de decisiones. La simulación de sistemas tales como: productos, sistemas productivos, sistemas logísticos, sistemas de servicios y otros, hacen la diferencia para tomar una decisión oportuna, eficaz y económica, para mantener o establecer una posición ventajosa en el mercado.(Winston, 2005)

Cuba no se encuentra ajena al uso y beneficio de la matemática aplicada. Afectados por el bloqueo económico, no obstante, en el país, se vislumbran deseos decisivos en pos de la mejora de los sistemas empresariales, incluye los sistemas productivos y sistemas de servicios. Pasos como el Perfeccionamiento Empresarial y la implementación de las Normas ISO 9001 que certifica los procesos de los productos son una muestra de ello. (Consejo de Estado, 2007; Consejo de Ministros, 2007)

La producción y servicio de alimentos, cualquiera sea su variante (lácteos, conservas, cárnicos, bebidas etc.) es uno de los ocho programas priorizados por la Revolución Cubana en materia de investigación y desarrollo, considerado además, como asunto de seguridad nacional.(PNUD, 2014)

La planificación y control de la capacidad de producción o servicio, constituye uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de las entidades (Chase, Jacob, & Aquilano, 2009). Aún, en empresas productoras, se realizan algunos esfuerzos aislados y generalmente empíricos para conocer la capacidad de producción con

que se cuenta en las instalaciones industriales. En el caso del servicio, donde predomina la fuerza de trabajo sobre la tecnología, el asunto es más complejo, y en la actualidad el conocimiento sobre las capacidades de servicio es prácticamente nulo o empírico, a partir de las experiencias de directivos y técnicos.

Situación problemática

El Súper Mercado “Camino de la Habana” perteneciente a la Empresa Municipal de Comercio Minorista Mixta, cuenta con dos bodegas, una carnicería, una petrolera y un almacén. Presenta dificultades cuando el suministro de cárnicos arriba a la carnicería, dígase picadillo, carne para niño, carne para dietas, mortadella o pollo. En la carnicería labora sólo un trabajador y los consumidores (en lo adelante clientes) son aproximadamente 3803 en la zona que atiende el Súper Mercado, agrupados en 1803 núcleos. El servicio se divide en tres actividades u operaciones fundamentales:

- _ Registro en libreta de víveres.
- _ Cobro
- _ Pesaje, que excepto con el picadillo, los demás productos requiere corte con el cuchillo.

Las colas en la carnicería son visiblemente largas, y generalmente, el carnicero debe laborar horas extras.

Tanto el carnicero como los clientes solicitan a la administración del Súper Mercado, valorar la posibilidad de incorporar un ayudante a la carnicería, sin embargo, la administración tiene indicaciones del nivel superior de no incrementar plantilla, por lo que la ubicación de otro dependiente tiene que ser fundamentada y no se dispone actualmente de una herramienta para estimar la capacidad real de la carnicería.

Problema científico

La ausencia de un modelo matemático para analizar la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”

Hipótesis:

Si se diseña un modelo matemático se puede analizar la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”.

Objetivo general

Diseñar un modelo matemático para analizar la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”.

Para llevar a cabo el mismo se tuvo en cuenta:

Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre sistemas, sistemas de servicio, capacidad, así como la simulación matemática.
- Establecer el procedimiento de modelación y simulación matemática para analizar la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”.
- Analizar la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana” mediante la simulación.

Como objeto de la investigación se tiene la Capacidad y por campo de acción los modelos matemáticos para analizar la capacidad.

Para llevar a cabo los objetivos, la estructura del trabajo se ha diseñado de la siguiente forma:

_ Capítulo I. Marco Teórico Referencial. En este capítulo se plasma la búsqueda de las literaturas relacionadas con el tema a tratar (estado del arte), así como la teoría de utilidad e importancia para la investigación. Para ello se consultaron fuentes primarias y terciarias.

La investigación se clasifica en:

Según su finalidad es aplicada, exploratoria con elementos de explicativa, según su contexto es natural, según su generalidad es evaluativo, según su orientación es orientada(a decisiones), según el lugar es una investigación de campo.

_Capítulo II. Procedimiento para el diseño del modelo y la simulación.

En este capítulo se establece el procedimiento a seguir para el diseño de la modelación matemática y la simulación de la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”.

_ Capítulo III. Simulación del modelo. Análisis de capacidad. En este capítulo se puede apreciar la simulación del modelo matemático así como el análisis de los resultados para la futura toma de decisiones sobre la capacidad de servicio.

Para el desarrollo del mismo se hizo uso de paquetes informáticos especializados como el @Risk y Promodel 7.0.

La investigación tiene como resultados fundamentales, la solución real y viable del problema, así como el incremento de la cultura empresarial por parte de los directivos y obreros del Súper Mercado “Camino de la Habana”, sobre la importancia del tema para el desarrollo del socialismo en el territorio y por extensión del país, así como el bienestar de todos.

La ejecución de las tareas de la investigación se desarrolla según el diagrama que se muestra en el Anexo # 1.

Valor Metodológico

La investigación ofrece la posibilidad de integrar coherentemente conceptos de diferentes orígenes y áreas del saber, con el objetivo de analizar y mejorar la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”.

Valor Práctico

La investigación ofrece el fundamento matemático para el análisis y proyección de la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”. Esto además, puede ser punto de partida para una generalización a otras carnicerías o bodegas en el territorio espirituario.

Valor social

A partir de los resultados de la investigación, se tomarán decisiones para el mejoramiento del servicio de carnicería a los consumidores del Super Mercado “Camino de la Habana”

Resultados

De forma general, la investigación aporta un modelo de simulación para el análisis de la capacidad de servicio en la carnicería del Súper Mercado “Camino de la Habana”.

Capítulo I. Marco Teórico Referencial

1.1 Estrategia de investigación

En el presente capítulo se abordaron los aspectos teóricos más importantes, relacionados con los sistemas, sistemas de servicio, la capacidad de producción o servicio; temas que constituyen el soporte teórico a la presente investigación.

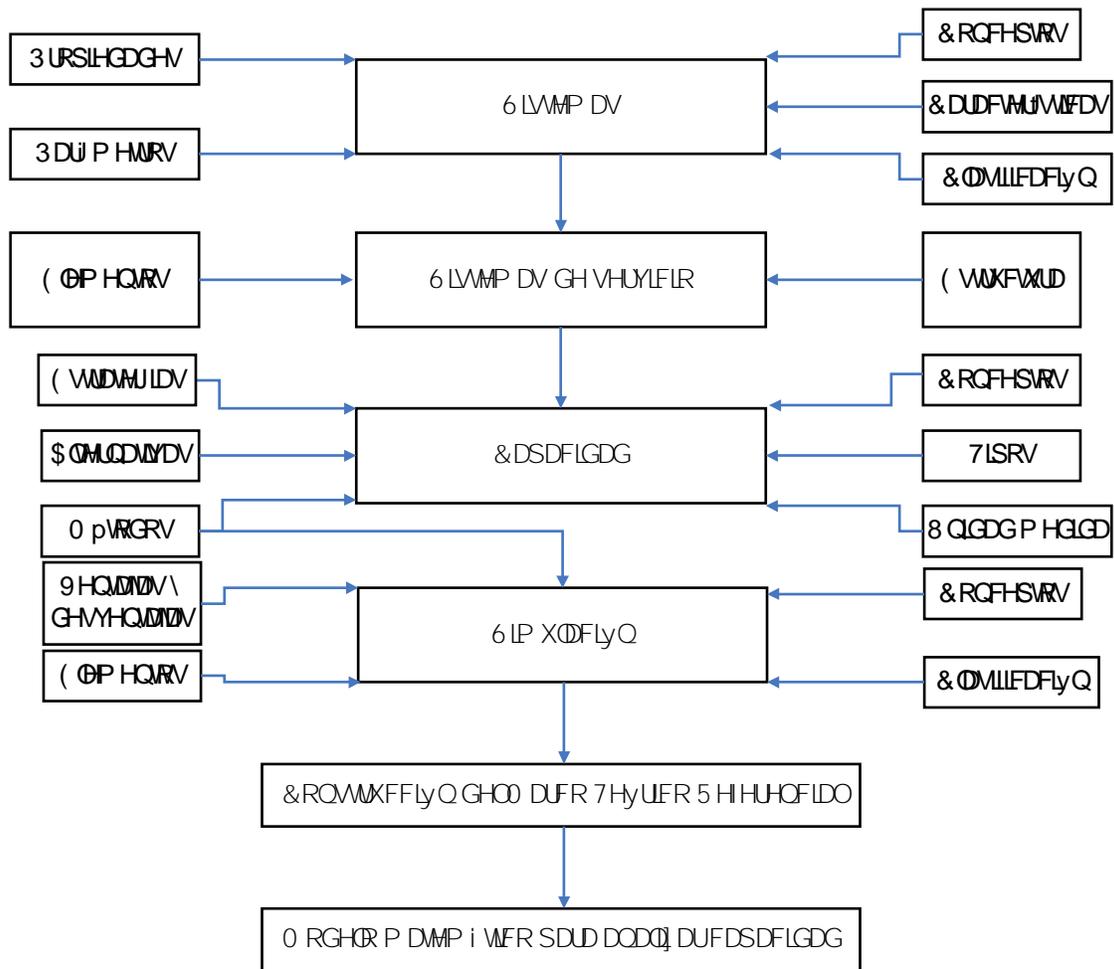


Figura 1.1: Hilo conductor del marco teórico. Fuente: Elaboración propia.

1.2 Sistemas

Desde que el hombre aparece sobre la tierra, su objetivo consiste en dominar el Universo, para lo cual, debe en primer lugar, comprenderlo. Esa comprensión se ve limitada por la propia capacidad del hombre y de sus medios, de forma que todo objeto, toda parte del Universo que somete a su observación y estudio es asimilada por él lo que crea una imagen o modelo del objeto, del entorno y de la relación entre ambos. Es decir, crea un sistema y, como es claro, cada hombre tiene una forma particular de percibir la realidad, podemos decir que los sistemas no existen en la naturaleza, sólo existen en la mente y en el espíritu del que los crea (Sarabia, 1995).

El término sistema se utiliza habitualmente con múltiples sentidos, tantos que resulta difícil dar una definición única que los abarque todos y al mismo tiempo sea lo suficientemente precisa para servir a propósitos específicos. Se puede partir de la definición de sistema como conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objetivo (Barceló, 1996).

En un sentido amplio, un sistema puede ser definido como un conjunto de partes interrelacionadas entre sí, en función de un fin. La estructura del sistema es el conjunto de las relaciones no fortuitas que ligan las partes entre ellas y el todo (Menguzzato & Renau, 1991).

Un sistema es un objeto formado por un conjunto de partes entre las que se establece alguna forma de relación que las articula en la unidad que es precisamente el sistema. Se manifiesta como un aspecto de la realidad dotado de cierta complejidad, precisamente por estar formado por partes en interacción. Esta interacción coordina a las partes y dota al conjunto de la una entidad propia (Aracil & Gordillo, 1997).

Todo sistema es viable, en el sentido de sobre vivencia autónoma, tiene alguna forma de vida y una complejidad más allá del alcance (Bravo Carrasco, 1998).

Sistema es un conjunto de elementos interdependientes e interactuantes o un grupo de unidades combinadas que forman un todo organizado. Es un conjunto o combinaciones de cosas o partes que forman un todo unitario (Chavienato, 2004).

1.3 Propiedades de los sistemas

Los sistemas reúnen una serie de propiedades:

- _ El homomorfismo, según la cual dos sistemas que tienen una parte de su estructura igual son homomórficos.
- _ El isomorfismo, que implica que dos sistemas que tengan una estructura idéntica son isomorfos. Esta propiedad permite, por ejemplo, utilizar el concepto de ciclo de vida de los seres vivos a los productos y a la propia empresa.
- _ La equifinalidad, que significa que un sistema puede alcanzar el mismo estado final a partir de diferentes condiciones iniciales y a través de una variedad de caminos.
- _ Entropía negativa, propiedad de los sistemas abiertos según la cual al poder recibir éstos más energía de la que consumen, pueden almacenarla y adquirir entropía negativa para sobrevivir.
- _ Sinergia, que supone que el todo (el sistema) es distinto a la suma de las partes (Menguzzato & Renau, 1991)

1.4 Características de los sistemas

- Propósito u objetivo. Todo sistema tiene uno o algunos propósitos u objetivos. Las unidades u elementos (u objetos), así como las relaciones definen un arreglo que tienen siempre como fin un objetivo o finalidad a alcanzar.
- Globalización o totalidad. Todo sistema tiene una naturaleza orgánica, por la cual una acción que produzca cambio en una de las unidades del sistema deberá producir cambios en todas sus otras unidades (Chavienato, 2004).

1.5 Clasificación de los sistemas

Existe variedad de sistemas y varias tipologías para clasificarlos. Los tipos de sistemas son:

En cuanto a su constitución, los sistemas pueden ser físicos o abstractos:

- Sistemas físicos o concretos. Se componen de equipos, maquinaria, objetos y cosas reales. Se denominan hardware. Pueden describirse en términos cuantitativos de desempeño.
- Sistemas abstractos o conceptuales. Se componen de conceptos, filosofías, planes, hipótesis e ideas. Aquí, los símbolos representan atributos y objetos, que muchas veces sólo existen en el pensamiento de las personas. Se denominan software.

En cuanto a su naturaleza, los sistemas pueden ser cerrados o abiertos:

- Sistemas cerrados. No presentan intercambio con el medio ambiente que los circunda, pues son herméticos a cualquier influencia ambiental. Siendo así, no reciben influencia del ambiente ni influyen en él. No reciben ningún recurso externo y nada producen que sea enviado afuera. En rigor, no existen sistemas cerrados en la acepción exacta del término. La denominación sistemas cerrados se da a los sistemas cuya conducta es determinística y programada y que operan con pequeño y conocido intercambio de materia y energía con el medio ambiente. También el término se utiliza para los sistemas estructurados donde los elementos y las relaciones se combinan de forma peculiar y rígida, producen una salida invariable. Son los llamados sistemas mecánicos, como las máquinas y los equipos.
- Sistemas abiertos. Presentan relaciones de intercambio con el medio ambiente por medio de innumerables entradas y salidas. Los sistemas abiertos cambian materia y energía regularmente con el medio ambiente. Se adaptan, para sobrevivir deben reajustarse constantemente a las condiciones del medio. Mantiene un juego recíproco con el ambiente y su estructura se optimiza cuando el conjunto de elementos del sistema se organiza a través de una operación de adaptación. La adaptabilidad es un continuo proceso de aprendizaje y de autoorganización (Chavienato, 2004)

1.6 Parámetros de los sistemas

Parámetros son constantes arbitrarias que caracterizan, por sus propiedades, el valor y la descripción dimensional de un sistema o componente del sistema. Los parámetros de los sistemas son: entrada, salida, procesamiento, retroalimentación y ambiente.

- Entrada insumo (input) es la fuerza o impulso de arranque o de partida del sistema que provee material o energía o información para la operación del sistema. Recibe también el nombre de importación.
- Salida o producto o resultado (output) es la consecuencia para la cual se reunieron elementos y relaciones del sistema. Los resultados de un sistema son las salidas. Esas deben ser congruentes (coherentes) con el objetivo del sistema. Los resultados de los sistemas son finales (concluyentes), mientras que los resultados de los subsistemas son intermediarios. Recibe el nombre de exportación.
- Procesamiento o procesador o transformador (throughput) es el mecanismo de conversión de las entradas en salidas. El procesador está empeñado en la producción de un resultado.
- Retroalimentación, retroinformación (feedback) o alimentación de retorno es la función de sistema que compara la salida con un criterio o estándar previamente establecido. La retroacción tiene por objetivo el control, o sea, el estado de un sistema sujeto a un monitor. Monitor es una función de guía, dirección y acompañamiento. Así, la retroacción es un subsistema planeado para sentir la salida (registra su intensidad o calidad) y compararla con un estándar o criterio preestablecido para mantenerla controlada dentro de aquel estándar o criterio para evitar desviaciones.
- Ambiente es el medio que envuelve externamente el sistema. El sistema abierto recibe sus entradas del ambiente, las procesa y efectúa las salidas al ambiente, de tal forma que existe entre ambos, sistema y ambiente, una constante interacción. El sistema y el ambiente se encuentran

interrelacionados e interdependientes. Para que el sistema sea viable y sobreviva, éste debe adaptarse al ambiente por medio de una constante interacción. Así, la viabilidad o la supervivencia de un sistema depende de su capacidad para adaptarse, cambiar y responder a las exigencias y demandas del ambiente externo. El ambiente sirve como fuente de energía, materiales e información al sistema. Como el ambiente cambia continuamente, el proceso de adaptación del sistema debe ser sensitivo y dinámico. Ese enfoque “ecológico” indica que el ambiente puede ser un recurso para el sistema como puede también ser una amenaza a su supervivencia (Chavienato, 2004)

1.7 Sistemas de servicio

Los primeros estudios a formular matemáticamente la teoría de los fenómenos de espera fueron realizados, en los primeros años del siglo XX por el ingeniero Danés Erlang, están relacionados con los problemas de comunicación telefónica. Este caso como se ha podido comprobar posteriormente, es uno de los más sencillos que puede surgir a la hora de estudiar los fenómenos de espera, pero a su vez su estructura es una de las que mas se presentan en la vida real.

1.7.1 Estructura básica de un sistema de servicio

En su forma mas simple un sistema de servicio consta de unidades que arriban a canales o estaciones para recibir un servicio determinado, para lo que se sitúan en cola si dichos canales o estaciones están ocupados.

Cada cierto tiempo una unidad de esa cola es seleccionada para recibir el servicio mediante unos de los mecanismo que conforman la llamada disciplina de servicio, entonces lo recibe y después abandona el sistema.

1.7.2 Elementos que componen un sistema de servicio

Unidades que arriban al sistema (Población).

Una de las características de las unidades que arriban ala sistema o población es su tamaño. El tamaño de la población es el numero de total de unidades que pudieran requerir el servicio en algún momento, es decir el numero de clientes

potenciales que pueden necesitar los servicios del sistema. El tamaño de la población podrá ser Finito o Infinito. Dado que el tratamiento analítico es mucho más sencillo cuando la población es infinita se ase esa suposición, generalmente siempre que el tamaño de la población es cualquier número finito relativamente grande.

El caso de la población finita o fuente limitada es más difícil analíticamente, porque el número de unidades en el sistema de servicio afecta el número de unidades potenciales fuera del sistema en cualquier momento.

Otras características importantes de las unidades que arriban al sistema, es la distribución probabilística de los arribos. La primera consideración general es que las unidades arriben individualmente y de acuerdo con un proceso POISSON, es decir el número de unidades que arriban hasta un momento dado tienen una distribución POISSON; este es el caso en que los arribos al sistema de servicio ocurren aleatoriamente, pero con cierta razón media. Una suposición equivalente es que la distribución de probabilidad del tiempo entre dos arribos consecutivos es una distribución exponencial.

Colas.

La cola esta caracterizada por el máximo numero de unidades que pueda contener. En dependencia de que este numero sea finito o infinito, y se denominan colas finitas o colas infinitas.

Servicio.

Este elemento costa de tres aspectos fundamentales:

- a) Tiempo de servicio.
- b) Disciplina de servicio.
- c) Cantidad de canales o estaciones de servicio.
 - a) Tiempo de servicio

Es el tiempo que transcurre desde que una unidad comienza a recibir el servicio, hasta que este es completado; se denomina también eficiencia del servicio. Su característica mas importante es la distribución de probabilidad que sigue, siendo la mas frecuente la exponencial.

- b) Disciplina de servicio

Describe el orden que son atendidas las unidades que entran al sistema para recibir el servicio.

La disciplina de servicio mas generalizada es la denotada por FIFO, que se forma por la frase en ingles first in – first out, que se significa el primero en entrar es el primero en salir, y que se generaliza bajo la consideración de que el primero que llega es el primero en ser servido, es decir disciplina de servicio por orden de llegada.

Muchas veces la disciplina de servicio es aleatoria cuando se escoge la unidad siguiente aleatoriamente para ser servida

Otras veces la disciplina de servicio tiene un carácter prioritario.

c) Cantidad de canales o estaciones de servicios

Un sistema de servicio puede estar construido por una sola estación o varias estaciones. El tratamiento analítico de de los modelo a utilizar depende de las características del sistema, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones como es la eficiencia del servicio de cada estación para simplificar el análisis matemático de cada caso.(Hillier & Lieberman, 1997)

1.8 Capacidad

La capacidad es la tasa de producción que puede obtenerse de un proceso. Esta característica se mide en unidades de salida por unidad de tiempo: una planta de artículos electrónicos puede producir un número de computadores por año, o una compañía tarjetas de crédito puede procesar cierta cantidad facturas por hora (Schroeder, Golstein, & Rungtusanatham, 2008).

La capacidad es una declaración de la tasa de producción, y por lo general se mide como la salida del proceso por unidad de tiempo. Las empresas que utilizan una medición diferente de la capacidad, por lo general son organizaciones de servicio especializado(Chapman, 2006).

La capacidad es la cantidad de producto o servicio que puede ser obtenido por una determinada unidad productiva durante un cierto período de tiempo (Domínguez Machuca, Álvarez Gil, García González, Domínguez Machuca, & Ruíz Jiménez, 1995).

Según (Gaither & Frazier, 2000) la capacidad es la tasa máxima de producción de una organización.

Para (Heizer & Render, 2004) la capacidad es la salida o número de unidades que puede tener recibir, almacenar o producir una instalación en un período determinado.

1.8.1 Tipos de capacidades y medidas de desempeño.

Capacidad diseñada es la salida teórica máxima de un sistema en un período determinado. En general se expresa como una tasa, por ejemplo, el número de toneladas de acero que se producen por semana, por mes o por año.

Esta capacidad es conocida también como capacidad instalada.

Capacidad efectiva es la capacidad que una empresa espera alcanzar dadas las restricciones de operación existentes. Con frecuencia, la capacidad efectiva es menor que la capacidad diseñada debido a que las instalaciones se diseñaron para una versión anterior del producto o para una mezcla de productos diferente (Heizer & Render, 2004).

Dos medidas del desempeño del sistema son particularmente útiles: la utilización y la eficiencia. La utilización es el porcentaje de la capacidad diseñada que se logra en realidad. La eficiencia es el porcentaje de la capacidad efectiva que se alcanza en la realidad (Heizer & Render, 2004)

$$\text{Utilización} = \frac{\text{salida_real}}{\text{Capacidad_diseñada}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Salida_real}}{\text{Capacidad_efectiva}}$$

Para (Chapman, 2006) la capacidad nominal se define como el producto del tiempo disponible, la eficiencia y la utilización.

La capacidad demostrada es la salida de la capacidad real de acuerdo con los registros de producción.

Utilización muestra las horas máximas que está activo el centro de trabajo. Muchos factores pueden afectar el número de horas que el equipo es susceptible de utilizarse: problemas con las máquinas, ausentismo laboral y otros.

$$Utilización = \frac{Horas_trabajadas}{Horas_disponibles} * 100\%$$

Eficiencia mide básicamente la salida real de un área definida, en comparación con la tasa estándar de producción en el mismo número de horas.

$$Eficiencia = \frac{Horas_estándar_producidas}{Horas_trabajadas} * 100\%$$

1.8.2 Unidad de medida de la capacidad

Según (Gaither & Frazier, 2000), para aquellas empresas que solo producen un producto o unos cuantos productos homogéneos, las unidades utilizadas para medir la capacidad de salida son simples: automóviles mensuales, toneladas de carbón por día, barriles de cerveza por trimestre. Cuando en una instalación se produce una gran variedad de productos se debe establecer una unidad agregada de capacidad. En el caso de los servicios, la medición de los volúmenes es particularmente difícil. En estos casos se pueden utilizar medidas de capacidad de tasas de entrada. Por ejemplo, las aerolíneas utilizan millas-asiento mensuales disponibles, los hospitales utilizan camas disponibles por mes, las empresas de servicio de ingeniería utilizan horas-hombre por mes.

Según (Domínguez Machuca, et al., 1995) la elección de la unidad de medida a emplear para la planeación y control de la capacidad puede llegar a constituir un problema bastante complicado al verse afectado por varias circunstancias (tipo de configuración y proceso productivo, variedad de productos).

Existen casos en la elección de esta unidad cae por su peso, sobre todo en empresas que trabajan en configuración continua o repetitiva y están orientadas al producto. En estas circunstancias, donde una instalación fabrica siempre un mismo producto (o varios de características técnicas similares) puede establecerse una medida del lado del output (número de coches/semana, número de barriles/semana y otros), que a pesar de ser simple es representativo y define adecuadamente la capacidad. Ello permitiría además, casi directa de la disponibilidad de Capacidad y el Plan de Producción, pues ambos vendrían expresados en las mismas unidades.

En los casos de empresas que trabajan por funciones y con múltiples productos técnicamente diferenciados, la elección de una medida de la capacidad del lado del

output se complica. Habrá ocasiones en que se pueda emplear una medida agregada como por ejemplo el número de muebles por semana o los metros de tela confeccionados por día. Dichas medidas recogen un mix de productos, tanto más difícil de determinar cuanto mayor sea su variedad y más factores comunes se empleen en su obtención. No obstante, y en última instancia, siempre queda la opción de su valoración en unidades monetarias. En todos estos casos, si se consideran los volúmenes de cada producto que pueden procesados en la instalación común durante un mismo período de tiempo, se puede llegar a una medida agregada de la capacidad del lado del output.

Aunque siempre es conveniente disponer de una unidad como la mencionada, sobre todo con propósitos de planificación de capacidad a largo plazo, puede que aquella no sea suficiente para trabajar en horizontes de medio y corto plazo. Conviene pues, conocer las condiciones que ha de cumplir una unidad de medida de la capacidad adecuada, la cual ha de ser:

- Estable, o lo es igual, que no requiera continuas revisiones que puedan afectar a las disponibilidades y planes de capacidad. Tal suele ser el caso de las valoraciones en unidades monetarias del mix de productos, que suelen verse influidos por cambios en los precios de venta y costes de los factores.
- Representativa del factor productivo cuya capacidad se pretende medir, así como de los productos que incorpora.
- Adecuada a su objeto, el cual es permitir el cálculo de la capacidad disponible y su comparación con la necesaria; esto tendrá traducciones diferentes en función del horizonte empleado. Para el caso de las empresas manufactureras donde se planifica a largo plazo para grandes unidades productivas (como instalaciones o factorías completas) y se usan unidades de producción agregadas (como los tipos de producto), el empleo de una unidad del lado del output es lo indicado. No ocurre igual cuando se trabaja a medio y corto plazo, donde las unidades productivas son menores (talleres, máquinas o centros de trabajo) y la producción se mide en productos concretos, componentes e incluso operaciones. En este caso, incluso si existe una medida representativa y estable del lado del output, ésta resultará

posiblemente insuficiente para lograr el grado de precisión necesario en la medida de la capacidad.

Las condiciones mencionadas también son válidas para las empresas de servicios. En algunos casos puede existir una medida clara y adecuada de capacidad, por ejemplo, el número de lavados de coche/hora en una estación de lavado. En otros, sin embargo, una unidad que englobe todos los productos (número de pacientes tratados al mes en un hospital, número de asiento-millas en una aerolínea) puede no ser suficiente para una planificación detallada a corto plazo. Por ejemplo, a nivel agregado, el número de médicos del hospital es suficiente para atender a un cierto número de pacientes, medidos también de forma agregada. Si se desagregan los médicos por especialidad y los pacientes por tipo de enfermedad, se comprobaría, posiblemente, que no se estaba en lo cierto. Del mismo modo, si en la compañía aérea no se distingue entre vuelos con *overbooking* habitual y vuelos con baja ocupación, más de un viajero no podrá tomar el vuelo deseado. En este tipo de empresas, el problema se puede agravar, dado que el *output* no es almacenable, su variedad es grande y a veces ha de elaborarse en el lugar donde se encuentra el cliente.

1.8.3 Estrategias de capacidad

Según (Schroeder, et al., 2008) una parte de la estrategia de las instalaciones es la cantidad de capacidad que se suministra en relación con la demanda esperada. Quizá esto se describa mejor mediante el concepto de un “colchón de capacidad” que se define como sigue:

Colchón de capacidad = capacidad – demanda promedio

Como el colchón de capacidad se expresa en relación con el nivel promedio de la demanda, un colchón positivo significa un exceso de capacidad sobre la demanda promedio y un colchón negativo significa que la demanda promedio excederá de la capacidad. Por supuesto, lo ideal sería no utilizar colchón de capacidad, sin embargo, esto es imposible al enfrentarnos a la fluctuación de la demanda.

Es posible adoptar tres estrategias en relación con la cantidad de colchón de capacidad:

- Tratar de no agotar. En este caso se utiliza un colchón positivo de capacidad. La empresa trata de ir más allá del pronóstico de demanda promedio y dar cierta capacidad adicional. Esta estrategia resulta apropiada cuando hay un mercado en expansión ó cuando el costo de construcción y operación de la capacidad es bajo en relación con el costo que implicaría la falta de capacidad. El suministro de energía eléctrica parece adoptar este enfoque, puesto que los apagones en general no son aceptables. Las compañías en mercados crecientes también pueden adoptar un colchón de capacidad positivo puesto que les permite capturar participación en el mercado adelantándose a sus competidores. Además, en los mercados en crecimiento existe un menor riesgo de tener una capacidad inútil durante mucho tiempo puesto que el mercado está en expansión.
- Construir de acuerdo con el pronóstico promedio. En este caso la compañía es más conservadora en relación con la capacidad que suministra. Si se construye de acuerdo con el pronóstico promedio existirá un 50 % de probabilidades de que se agote la capacidad y un 50 % de probabilidades de tener un exceso de capacidad, se supone una distribución de la demanda con probabilidad simétrica. Esta estrategia se utilizaría cuando el costo (ó las consecuencias) de agotar la capacidad está aproximadamente balanceado con el costo del exceso de capacidad.
- Maximizar la utilización. En este caso se planea un colchón de capacidad pequeño ó negativo para maximizar la utilización. Esta estrategia resulta apropiada cuando la capacidad es muy costosa en relación con el agotamiento del inventario como es el caso de las refinerías de petróleo, fábricas de papel y otras industrias con mucho uso del capital. Estas instalaciones operan de manera rentable solamente con porcentajes de uso de la capacidad que se aproximan al 90 ó al 100 %. En esta estrategia existe la tendencia a maximizar las ganancias a corto plazo, sin embargo, podría dañar la participación en el mercado a largo plazo en especial cuando los

competidores utilizan colchones de capacidad más grandes y la demanda se desarrolla con exceso a la capacidad.

Para (Heizer & Render, 2004) las estrategias se resumen en el gráfico siguiente:

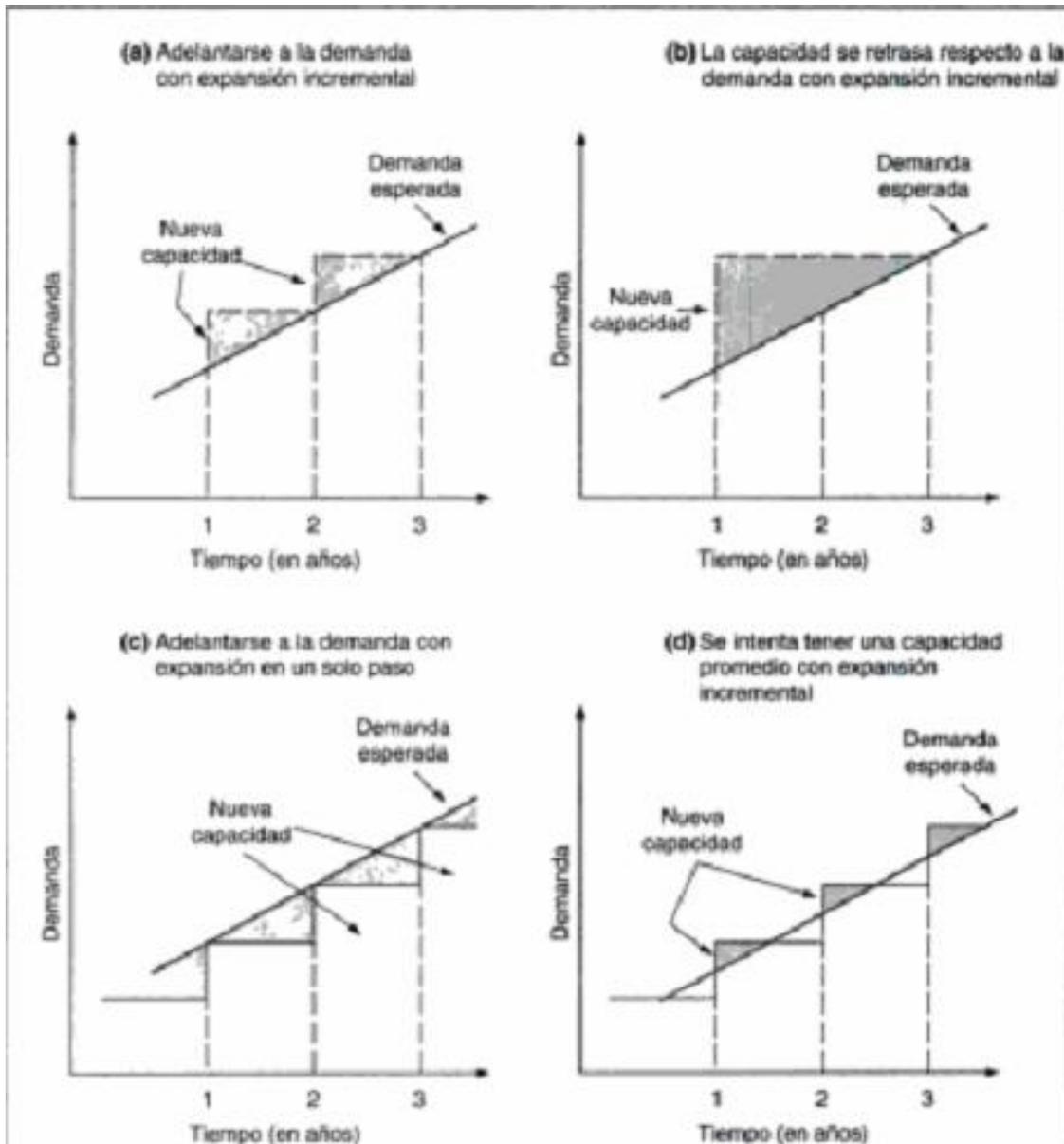


Gráfico 1.1 Estrategias de capacidad. Fuente: (Heizer & Render, 2004)

1.8.4 Alternativas de ajuste de capacidad

Según (Gaither & Frazier, 2000), las formas de modificar la capacidad a largo plazo se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 7.1

MANERAS DE MODIFICAR LA CAPACIDAD A LARGO PLAZO

Tipo de modificación de la capacidad	Manera de encarar los cambios a largo plazo en la capacidad
Expansión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Subcontratar a otras empresas para que se conviertan en proveedores de componentes o de productos completos de la firma en expansión. 2. Adquirir otras empresas, instalaciones o recursos. 3. Desarrollar sitios, construir edificios, adquirir equipo. 4. Expandir, actualizar o modificar instalaciones existentes. 5. Reactivar instalaciones que están en estado de reserva.
Reducción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vender instalaciones, vender inventarios, y despedir o transferir empleados. 2. Guardar las instalaciones y colocarlas en un estado de reserva, vender inventarios y despedir o transferir empleados. 3. Desarrollar e introducir nuevos productos conforme se introducen otros.

Tabla 1.1 Maneras de modificar la capacidad a largo plazo. Fuente: (Gaither & Frazier, 2000)

1.8.5 Planeación de la capacidad. Métodos

Para (Domínguez Machuca, et al., 1995) la planeación de la capacidad tiene cuatro momentos fundamentales: planeación de necesidades de recursos, planificación aproximada de la capacidad detallada, planificación de la capacidad detallada y la planificación de talleres. Esto se resumen en el siguiente diagrama:

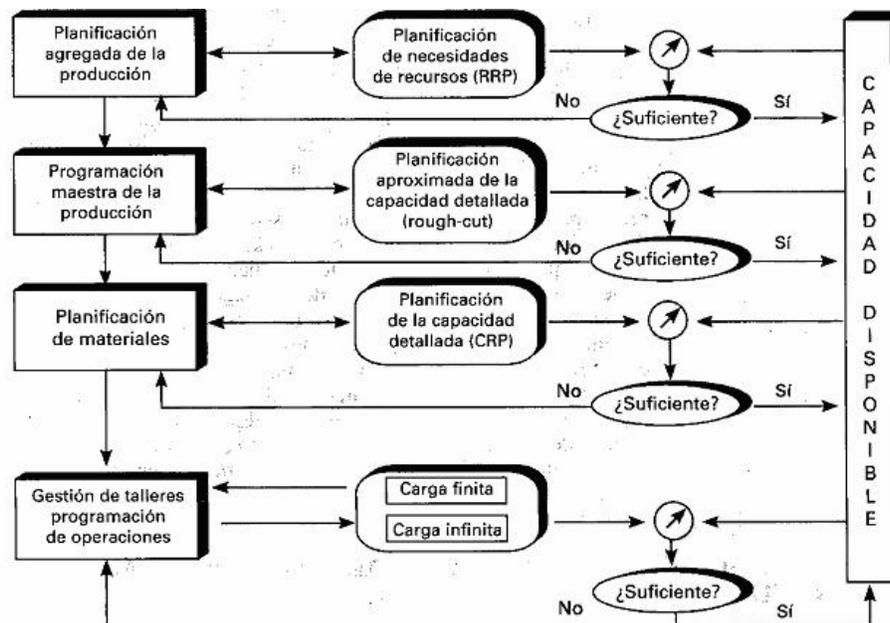


Diagrama 1.1 Niveles de planeación de la capacidad. Fuente: (Domínguez Machuca, et al., 1995)

De forma general, los métodos que predominan en la literatura consultada son de tipo heurísticos. (Heizer & Render, 2004) trabajan el Punto de Equilibrio, plantean que es una herramienta eficaz para determinar la capacidad de las instalaciones con un enfoque económico, con la finalidad de lograr rentabilidad. (Gaither & Frazier, 2000) plantean que el Árbol de Decisiones es eficaz en la toma de decisiones de capacidad ya que esta se presenta en múltiples fases y maneja elementos inciertos, donde el valor esperado es el criterio de decisión.

1.9 Simulación

La simulación es una poderosa herramienta utilizada en la toma de decisiones en áreas varias como la industria, medicina y el ejército. Es eficaz para el análisis de las capacidades productivas, ya que permite evaluar probables escenarios en el tiempo.

La simulación de eventos discretos es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado. El objetivo del modelo de simulación consiste, precisamente, en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema. (García Dunna, García Reyes, & Cárdenas Barrón, 2006)

Simulación de Sistemas consiste en un seguimiento a lo largo del tiempo de los cambios que tienen lugar en el modelo dinámico del sistema. (Barceló, 1996)

La simulación es una técnica que imita la operación de un sistema del mundo real a medida que evoluciona con el tiempo. Esto normalmente se hace con el desarrollo de un modelo de simulación.

Se entiende por modelo de simulación el conjunto de suposiciones acerca de la operación del sistema, expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés del sistema (Winston, 2005).

La simulación es la imitación de un sistema real en el tiempo a través de un modelo de computador, el cual tiene como objetivo evaluar los distintos escenarios para

mejorar el desempeño del sistema. Así mismo esta herramienta es útil para visualizar, analizar y mejorar el desempeño de un sistema tanto de producción de bienes como de servicios (Calvo García & Motta Parra, 2011).

La simulación es una técnica de muestreo estadístico controlada para estimar el desempeño de sistemas estocásticos complejos cuando los modelos analíticos no son suficientes. Más que describir el comportamiento global de un sistema discretamente, el modelo de simulación describe la operación del mismo en términos de los eventos individuales de cada uno de los componentes del sistema (Hillier & Lieberman, 1997).

La simulación es una técnica numérica que se utiliza para realizar experimentos en una computadora, a partir de la construcción de un modelo lógico – matemático que describe el comportamiento de los componentes del sistema y su interacción en el tiempo (Marrero Delgado et al., 2002)

1.9.1 Clasificación de los modelos de simulación

Los modelos de simulación a su vez pueden ser clasificados según varios criterios:

- Según la *evolución del tiempo*

Estáticos: representan un sistema en un instante particular. A menudo, a este tipo de simulación se la denomina simulación de Monte Carlo.

Dinámicos: representan un sistema que evoluciona con el tiempo.

- Según la *aleatoriedad*

Deterministas: no incluyen variables aleatorias. Dados unos datos de entrada, existe un único conjunto posible de datos de salida.

Probabilistas o estocásticos: contienen variables aleatorias, las salidas son aleatorias (estimaciones de las verdaderas características).

- Según las *variables de estado*

Continuos: si todas las variables de estado cambian de forma continua con el tiempo.

Discretos: si todas las variables de estado cambian en determinados instantes de tiempo. Se definen como *eventos* aquellos sucesos que pueden producir un cambio en el estado del sistema. A estos modelos también se les llama *modelos de simulación de eventos discretos*.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que no siempre de un sistema discreto se hace un modelo discreto, hay casos en que por simplificar es mejor tratarlo como un sistema continuo. Un caso muy habitual son los modelos de tráfico, en que aunque los cambios son discretos, modelarlos como flujos continuos da mucho mejor resultado.

Híbridos o combinados: si incluyen variables de estado continuas y discretas (Begoña, 2012)

1.9.2 Ventajas y desventajas de la simulación

Ventajas

- Es muy buena herramienta para conocer el impacto de los cambios en los procesos sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad.
- Mejora el conocimiento del proceso actual al permitir que el analista vea cómo se comporta el modelo generado bajo diferentes escenarios.
- Puede utilizarse como medio de capacitación para la toma de decisiones.
- Es más económico realizar un estudio de simulación que hacer muchos cambios en los procesos reales.
- Permite probar varios escenarios en busca de las mejores condiciones de trabajo de los procesos que se simulan.
- En problemas de gran complejidad, la simulación permite generar una buena solución.
- En la actualidad los paquetes de software para simulación tienden a ser más sencillos, lo que facilita su aplicación.
- Gracias a las herramientas de animación que forman parte de muchos de esos paquetes es posible ver cómo se comportará un proceso una vez que sea mejorado.

Desventajas

- Aunque muchos paquetes de software permiten obtener el mejor escenario a partir de una combinación de variaciones posibles, la simulación *no* es una herramienta de optimización.
- La simulación puede ser costosa cuando se quiere emplearla en problemas relativamente sencillos de resolver, en lugar de utilizar soluciones analíticas que se han desarrollado de manera específica para ese tipo de casos.
- Se requiere bastante tiempo —generalmente meses— para realizar un buen estudio de simulación; por desgracia, no todos los analistas tienen la disposición (o la oportunidad) de esperar ese tiempo para obtener una respuesta.
- Es preciso que el analista domine el uso del paquete de simulación y que tenga sólidos conocimientos de estadística para interpretar los resultados (García Dunna, et al., 2006).

1.9.3 Elementos de un modelo de simulación

- El reloj de simulación

En un modelo de simulación dinámico el elemento característico es el tiempo y su avance. Para ello se utiliza una variable que registra la cantidad de tiempo que ha sido simulada: el *reloj de simulación*. Esta variable no representa tiempo real, no es tiempo de ejecución, sino que es un contador interno del modelo.

El reloj de simulación hay que “moverlo”, incrementar su valor. Para ello hay dos métodos:

Incremento en tiempo fijo (time step): el reloj de simulación se incrementa en exactamente unidades de tiempo (elegido apropiadamente). Cada vez que se incrementa el tiempo se actualizan las variables de estado, si es un modelo de eventos discretos, y se comprueba si algún evento ha ocurrido en ese intervalo de tiempo. Los eventos que hayan podido ocurrir en ese intervalo se considera que ocurren al final de éste, momento en que se actualizan las variables. Este método es oportuno para simulación continua o cuando el momento en que ocurren los eventos es fijo o para animación gráfica. Sin embargo, para otros casos presenta

algunos inconvenientes, fundamentalmente, la simultaneidad de eventos cuando más de un evento ocurre en un intervalo y el error que se comete de redondeos al considerar que los eventos ocurren al final del intervalo y que para disminuirlo hace que se tomen incrementos muy pequeños que ralentizan enormemente la simulación y se comprueban muchos intervalos en los que no ocurre nada.

Incremento al próximo evento (event step): sólo es válido para modelos de eventos discretos, donde el reloj de simulación se inicializa a cero y se determinan los instantes en que sucederán los futuros eventos (todos o los más inmediatos que puedan ocurrir). El reloj de simulación se avanza hasta el instante del suceso más inminente de los futuros eventos (el primero de ellos), se actualiza en ese instante el estado del sistema depende del evento de que se trate. Este procedimiento tiene como ventajas respecto al anterior que no tiene errores al considerar tiempos exactos de ocurrencia de los eventos y que es más rápido ya que los periodos en que no hay eventos son saltados.

- Mecanismo de transición

Con cualquiera de los métodos propuestos, cuando se produce un avance del reloj de simulación hay que actualizar las variables de estado. Se define el mecanismo de transición como el mecanismo que muestra los cambios que se producen en el estado del sistema y que permite actualizar su valor.

En el caso de los modelos continuos, hay que mostrar los cambios de las variables de estado cuando ha pasado un intervalo de tiempo fijo Δt . Por ejemplo, en el caso de querer hacer un modelo de simulación para el modelo de Lotka-Volterra las variables de estado serían

$X(t)$: número individuos presa en el instante t

$Y(t)$: número de individuos depredador en el instante t

y el mecanismo de transición sería de la forma:

$$X' \leftarrow X + (rX(t) - aX(t)Y(t)) \Delta t,$$

$$Y' \leftarrow Y + (-sY(t) + bX(t)Y(t)) \Delta t$$

Se actualiza posteriormente $X \leftarrow X'$ $Y \leftarrow Y'$ (una simplificación inmediata es no pasar por las variables X' e Y' , pero se pueden cometer pequeños errores por la actualización de la variable Y con un valor ya actualizado de X)

En el caso de un modelo de eventos discretos, el mecanismo de transición va asociado con cada evento que muestra los cambios que se producen en el estado del sistema cuando se produce ese evento. Por ejemplo, en un sistema de colas con un servidor, la variable de estado es el número de clientes que hay en el centro de servicio y, por lo tanto, los eventos son la llegada de un cliente y el final de un servicio, y el mecanismo de transición se puede definir como:

$$N(t) \leftarrow \begin{cases} N(t) + 1 & \text{si llegada cliente} \\ N(t) - 1 & \text{si final de servicio cliente} \end{cases}$$

siendo $N(t)$ el número de clientes en el sistema en el instante t (Begoña, 2012)

Capítulo II. Procedimiento para la modelación y simulación matemática

Para la modelación y simulación matemática del sistema objeto de estudio (Carnicería del Super Mercado “Camino de la Habana”, el autor selecciona el procedimiento propuesto por (Barceló, 1996).

Para este autor, la simulación es un proceso experimental como se muestra en la siguiente figura:

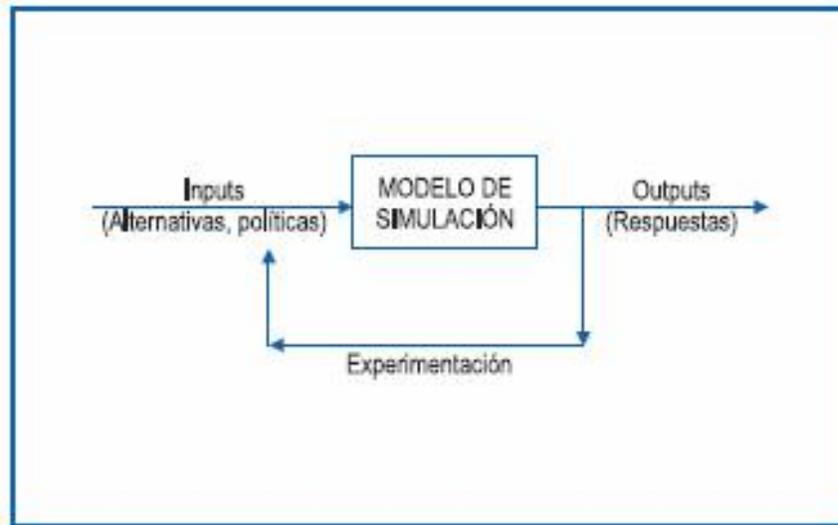


Figura 2.1 La simulación como proceso experimental. Fuente: (Barceló, 1996)

El procedimiento propuesto consta de ocho etapas como se muestra en la siguiente figura:



Figura 2.2 Procedimiento para la modelación y simulación de sistemas discretos.

Fuente: (Barceló, 1996)

2.1 Formular el problema y planificar el estudio

En esta etapa es necesario conocer el sistema a modelar. Para ello se requiere saber qué origina el estudio de simulación y establecer los supuestos del modelo: es conveniente definir con claridad las variables de decisión del modelo, determinar

las interacciones entre éstas y establecer con precisión los alcances y limitaciones que aquel podría llegar a tener (Urquía Moraleda, 2005)

Antes de concluir este paso es recomendable contar con la información suficiente para lograr establecer un modelo conceptual del sistema bajo estudio, incluye sus fronteras y todos los elementos que lo componen, además de las interacciones entre éstos, flujos de productos, personas y recursos, así como las variables de mayor interés para el problema.

Debe quedar perfectamente establecido el objeto de la simulación. El sistema a simular debe estar perfectamente definido. El cliente y el desarrollador deben acordar dónde estará la frontera del sistema a estudiar y las interacciones con el medioambiente que serán consideradas.

Se debe acordar lo más detalladamente posible los siguientes factores: los resultados que se esperan del simulador, el plan de experimentación, el tiempo disponible, las variables de interés, el tipo de perturbaciones a estudiar, el tratamiento estadístico de los resultados, la complejidad de la interfaz del simulador, etc. Se debe establecer si el simulador será operado por el usuario o si el usuario sólo recibirá los resultados. Finalmente, se debe establecer si el usuario solicita un trabajo de simulación o un trabajo de optimización.

2.2 Recogida de datos

De manera paralela a la generación del modelo base, es necesario comenzar la recopilación de la información estadística de las variables aleatorias del modelo. En esta etapa se debe determinar qué información es útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las variables aleatorias innecesarias para la simulación. Aunque en algunos casos se logra contar con datos estadísticos, suele suceder que el formato de almacenamiento o de generación de reportes no es el apropiado para facilitar el estudio. Por ello es muy importante dedicar el tiempo suficiente a esta actividad. De no contar con la información necesaria o en caso de desconfiar de la que se tiene disponible, será necesario

realizar un estudio estadístico del comportamiento de la variable que se desea identificar, para posteriormente incluirla en el modelo.

Esta etapa se realiza la recolección, registro, conversión, transmisión y manipulación de los datos del sistema objeto de estudio. La recolección y procesamiento de datos es necesaria para:

- Formular mejor los objetivos
- Ayudar a encontrar relaciones que permiten la construcción de modelos matemáticos
- Estimar valores de los parámetros, características de operación, variables, etc. del sistema
- Permitir la validación del sistema

El proceso de recolección y análisis de los datos puede solaparse con el de la modelación y refinamiento sucesivo de los modelos. La recolección de datos se hace a partir de diversas fuentes que pueden ser:

- Datos existentes sobre el sistema.
- Opiniones de expertos.
- Estudios de campo.

El análisis de los datos necesarios para asociar una distribución de probabilidad a una variable aleatoria, así como las pruebas que se debe aplicar a los mismos, se analizarán más adelante. Al finalizar la recolección y análisis de datos para todas las variables del modelo, se tendrán las condiciones necesarias para generar una versión preliminar del problema que se simula.

La naturaleza y cantidad de datos necesarios están determinadas por la formulación del problema y del modelo. Los datos pueden ser provistos por registros históricos, experimentos de laboratorios o mediciones realizadas en el sistema real. Los mismos deberán ser procesados adecuadamente para darles el formato exigido por el modelo.

2.3 Construir y verificar el programa del modelo para computador

Una vez que se ha definido el sistema en términos de un modelo conceptual, la siguiente etapa del estudio consiste en la generación de un modelo de simulación base. No es preciso que este modelo sea demasiado detallado, pues se requiere mucha más información estadística sobre el comportamiento de las variables de decisión del sistema. La generación de este modelo es el primer reto para el programador de la simulación, toda vez que debe traducir a un lenguaje de simulación la información que se obtuvo en la etapa de definición del sistema, incluye las interrelaciones de todos los posibles subsistemas que existan en el problema a modelar. En caso de que se requiera una animación, éste también es un buen momento para definir qué gráfico puede representar mejor el sistema que se modela.

Igual que ocurre en otras ramas de la investigación de operaciones, la simulación exige ciencia y arte en la generación de sus modelos. El realizador de un estudio de simulación es, en este sentido, como un artista que debe usar toda su creatividad para realizar un buen modelo que refleje la realidad del problema que se analiza. Conforme se avanza en el modelo base se incluyen las variables aleatorias del sistema, con sus respectivas distribuciones de probabilidad asociadas.

En esta etapa se logra el balance entre el realismo y finalidad del modelo. Se pueden presentar dos situaciones:

- Modelo demasiado simplificado, fácil de programar e interpretar, pero que puede dar resultados no válidos
- Modelo demasiado detallado, difícil de programar e interpretar

Ello implica combinar el sentido común, el conocimiento del sistema y la experiencia, por lo que es importante que el modelo represente las relaciones más importantes del sistema, sin considerar aquellas cuya influencia sea despreciable.

Existen dos formas de construir el modelo:

- Diseño generalizado: estudiar el sistema en su conjunto, establecer todas las relaciones y restricciones importantes. Este diseño es aplicable a sistemas sencillos y recomendables su uso si el modelador del sistema domina el funcionamiento de este.

- **Diseño por bloques:** modelar determinados bloques o submodelos asociados a actividades importantes del sistema y se busca relación entre estas actividades. Este diseño es aplicable en el caso de sistemas complejos, con un gran número de actividades.

De forma general, se comienza con el desarrollo de un modelo simple que captura los aspectos relevantes del sistema real. Los aspectos relevantes del sistema real dependen de la formulación del problema; para un ingeniero de seguridad los aspectos relevantes de un automóvil son diferentes de los aspectos considerados por un ingeniero mecánico para el mismo sistema. Este modelo simple se enriquece como resultado de varias iteraciones.

Luego se integra la información obtenida a partir del análisis de los datos, los supuestos del modelo y todos los datos que se requieran para tener un modelo lo más cercano posible a la realidad del problema bajo estudio. En algunos casos — sobre todo cuando se trata del diseño de un nuevo proceso o esquema de trabajo— no se cuenta con información estadística, por lo que debe estimarse un rango de variación o determinar (con ayuda del cliente) valores constantes que permitan realizar el modelado. Si éste es el caso, el encargado de la simulación puede, con base en su experiencia, realizar algunas sugerencias de distribuciones de probabilidad que comúnmente se asocian al tipo de proceso que se desea incluir en el modelo.

Los elementos y componentes de un modelo de simulación son:

- **Entidades:** Elemento que fluye a través del sistema y que puede recibir transformaciones en el tiempo. Ejemplo: Auto en un taller, pieza en una línea de producción, persona que viaja en un taxi.
- **Locaciones:** Aquel elemento por donde transita una entidad y que puede brindarle a ésta un servicio o una transformación. Ejemplo: Taxi, tornó, taladro.
- **Atributos:** Características de la entidad o de la locación que son de interés al valorar el funcionamiento de ese sistema.

- Variables: Atributos que presentan un comportamiento variable en el tiempo. Ejemplo: Tiempo que invierte un torno al operar sobre una pieza.
- Parámetro: Atributos que permanecen constantes en el tiempo.
- Actividades: Procesos con una duración definida y finita, que puede cambiar el estado del sistema. Las actividades no tienen un efecto instantáneo en el sistema, sino que tienen lugar durante un período de tiempo, y al final de este tiempo el sistema habrá sufrido cambios en los atributos; estos se expresan, como que el sistema cambia de estado. Un sistema se dice que está en un estado particular, cuando todas las entidades están en estados acordes con éste. El comportamiento del sistema en el tiempo se representa, entonces, como una sucesión de actividades de diferentes tipos, que afectan a una u otra entidad del sistema. Ejemplo: Viaje en el taxi, operación de maquinado.
- Evento: Proceso de duración instantánea que marca el inicio y / o el final de una actividad, y por tanto marca cambios en el estado del sistema. Ejemplo: Momento en que finaliza la actividad de torneado.
- Relaciones funcionales: Ecuaciones lógico - matemáticas que relacionan variables y parámetros y en esencia constituyen los elementos que describen el funcionamiento del sistema. Las relaciones funcionales muestran el comportamiento de las variables y parámetros dentro de un componente o entre componentes de un sistema. Estas características operativas pueden ser de naturaleza determinística o estocástica. Las relaciones determinísticas son identidades o definiciones que relacionan ciertas variables o parámetros, donde una salida de proceso es singularmente determinada por una entrada dada. Las relaciones estocásticas son aquellas en las que el proceso tiene de manera característica una salida indefinida para una entrada determinada (García Dunna, et al., 2006)

El modelo es implementado con algún lenguaje de computación. Existen lenguajes específicos de simulación que facilitan esta tarea; también, existen programas que ya cuentan con modelos implementados para casos especiales.

Para ejecutar esta etapa, se debe:

- Seleccionar el lenguaje a utilizar. Se puede usar un lenguaje de uso general (Delphi, Visual Basic, Visual C++, etc.) o un lenguaje de uso específico de simulación (Promodel, Simul8, Flexsim, etc.)
- Elaborar mecanismo de chequeo de errores, muchos de los lenguajes de uso específico de simulación ya contemplan estos mecanismos
- Definir los datos de entrada y salida y las condiciones iniciales

Al finalizar esta etapa el modelo está listo para su primera prueba: su verificación o, en otras palabras, la comparación con la realidad.

Al usar la simulación para estudiar un sistema complejo, existen varios tipos de error como: errores de diseño, errores en la programación, errores en los datos utilizados, errores en el uso del modelo y errores en la interpretación de los resultados. Ciertos problemas, en especial aquellos que requieren muchas operaciones de programación o que involucran distribuciones de probabilidad difíciles de programar, pueden ocasionar que el comportamiento del sistema sea muy diferente del que se esperaba. Por otro lado, no se debe descartar la posibilidad de que ocurran errores humanos al alimentar el modelo con la información. Incluso podría darse el caso de que los supuestos iniciales hayan cambiado una o varias veces durante el desarrollo del modelo. Por lo tanto, se debe asegurar que el modelo que se va a ejecutar esté basado en los más actuales.

Evaluar un modelo significa desarrollar un nivel aceptable de confianza de modo que las inferencias obtenidas del comportamiento del modelo sean correctas y aplicables al sistema del mundo real. La validación y verificación es una de las tareas más importantes y difíciles que enfrenta la persona que desarrolla un modelo de simulación.

En la simulación el problema es estadístico y depende de la longitud de la corrida (tiempo o número de entidades simuladas) y del número de repeticiones de cada corrida de simulación. Cabe recordar que son necesarias como mínimo dos corridas de simulación para obtener salidas de simulación promediadas, se considera la característica aleatoria de los sistemas discretos.

La bondad del modelo debe aproximar su comparación con el mundo real. Esto en general implica dos etapas:

- Que las hipótesis asumidas sean razonables (validación).
- Que las hipótesis estén correctamente implementadas en el modelo (verificación).

La verificación es establecer la relación entre lo que se pretende modelar, y que ha sido en cierto modo validado según lo especificado previamente, y su implementación real como modelo ejecutable en una computadora. Es comprobar que se construyó correctamente aquello que se estableció que reflejaba la realidad y los objetivos del estudio de una forma suficientemente fidedigna. Verificación se refiere a la comparación del modelo conceptual con el código computacional que se generó, para lo cual es necesario contestar preguntas como: ¿está correcta la codificación?, ¿son correctas las entradas de datos y la estructura lógica del programa?

Los errores pueden ser de dos tipos: de sintaxis y semánticos.

Algunas medidas para prevenir errores son:

- Diseño del más alto nivel al más bajo.
- Construcción modular.
- Módulos compactos.
- Refinamiento gradual por pasos.
- Control estructurado.

Algunas técnicas de verificación son:

- Revisión del código del modelo: El propósito es verificar errores e inconsistencias.
- Verificación de “salidas razonables”: En cualquier modelo existen algunas relaciones operacionales y valores cuantitativos que pueden predecirse; si los resultados de la simulación resultan disparatados, hay que verificar el modelo.

- Observación de la animación: La animación ayuda para verificar en forma visual y ver si sucede lo que se esperaba o no. Ayuda a identificar un problema, pero no su causa.
- Uso de las herramientas de rastreo y eliminación de errores: Este tipo de herramientas proporcionan una retroalimentación detallada de lo que sucede durante la simulación. Se pueden emplear mensajes de rastreo, o el *debugger*, el cual revisa las relaciones lógicas del programa para verificar su validez.

Hay varias formas de hacer la corrección de errores (debugging):

- Realizar la construcción del programa con modelos.
- Comparar las formas de pensar el modelo con distintas personas.
- Correr varios valores de parámetros y chequear salidas razonables.
- Correr por trazas: la traza es el estado del sistema en un tiempo dado de simulación. Cada vez que ocurre un evento se imprime una lista para poder seguirla "a mano".
- Disponer de un modelo simplificado para chequear.
- Observar una animación de la salida del programa.
- Escribir las salidas y comparar con datos históricos.
- Usar un simulador en paralelo que ejecute el mismo modelo (García Dunna, et al., 2006)

Una vez que se ha completado la verificación, el modelo está listo para su comparación con la realidad del problema que se modela. A esta etapa se le conoce también como validación del modelo.

2.4 Ejecuciones de prueba y validación del modelo

En esta etapa se comprueba la exactitud del modelo desarrollado. Esto se lleva a cabo con la comparación de las predicciones del modelo con: mediciones realizadas en el sistema real, datos históricos o datos de sistemas similares. Como resultado de esta etapa puede surgir la necesidad de modificar el modelo o recolectar datos adicionales.

Debido al avance tecnológico, en la actualidad existen en el mercado aplicaciones con interfases gráficas tan poderosas que permiten a muchos usuarios con inclinaciones técnicas desarrollar modelos en el área de la simulación. Por desgracia, en general dichos usuarios aprenden a usar el lenguaje relacionado y manejan algunos de los conceptos básicos, pero ponen muy poca atención al análisis correcto de los resultados. Así, muchos estudios son interpretados de manera errónea y es muy probable que conduzcan, en consecuencia a malas decisiones.

Entre otras, el fenómeno ocurre por razones como éstas: en primer lugar, el falso sentido de seguridad que desarrolla el usuario por el simple hecho de conocer el lenguaje utilizado en el área; la facilidad de uso del software de simulación actual y su capacidad para desarrollar gráficos y animaciones y, sobre todo, la dificultad implícita en el análisis estadístico de la información. Es muy común encontrar personas que después de simular un sistema estocástico aseguran que el resultado de la variable de respuesta es un valor único —por ejemplo, que el número de piezas que se acumulan ante una máquina es tan sólo el promedio de la variable, y se aparta un completo análisis estadístico de dicha variable.

La validación implica el contraste de los datos reales con el análisis de las salidas de simulación. Busca la estimación de las medidas o respuestas verdaderas. Se pretende aproximar el modelo lo que más se pueda al sistema real representado. Se valida que el modelo conceptual se ajusta a las necesidades planteadas y podrá responder las preguntas formuladas. Validación es la demostración de que el modelo es realmente una representación fiel de la realidad. La validación se lleva a cabo, generalmente, a través de un proceso comparativo entre ambas partes y usa las diferencias para lograr el objetivo.

Algunas características del proceso de validación de un modelo de simulación son:

- Es importante hacer una experimentación, si es factible. En el caso de un sistema real se pueden medir algunas de las variables de respuesta para comparar con los resultados del modelo de simulación, por ejemplo, el tiempo de espera en cola de los clientes en una caja en un banco.

- La dificultad o facilidad de validación depende de la disponibilidad de datos en el tiempo y en el espacio. No siempre es posible medir variables de respuesta como en el caso mencionado en el punto anterior.
- El modelo de un sistema complejo es una aproximación al mundo real: a mayor detalle, mayor aproximación. Sin embargo en algunas ocasiones los errores aumentan según el grado de detalles del sistema modelado, como puede ser el de un modelo de demanda de transporte en una gran ciudad. En la medida que se plantee un modelo complejo, los errores en las predicciones pueden ser mayores en relación a un modelo simple.
- Un modelo válido para un propósito no lo es para otro.
- Se debe hacer la documentación de las hipótesis del modelo (Marrero Delgado, et al., 2002)

Algunas técnicas útiles para la validación son:

- Revisar críticamente las hipótesis y aproximaciones que hay detrás del modelo, incluye la información disponible sobre el dominio de validez de estas hipótesis.
- Comparar, en casos especiales, simplificaciones del modelo con soluciones analíticas.
- Comparar con resultados experimentales, en los casos donde esto sea posible.
- Efectuar análisis de sensibilidad del modelo. Si los resultados de la simulación son relativamente insensibles a pequeñas variaciones de los parámetros del modelo, entonces tenemos fundadas razones para confiar en la validez del modelo.
- Comprobar la consistencia interna del modelo. Por ejemplo, verificar que las dimensiones o unidades son compatibles en las ecuaciones.
- Observar la animación.
- Comparar con el sistema real.
- Comparar con otros modelos.
- Llevar a cabo las pruebas de degeneración y de condiciones extremas.

- Verificar la validez aparente.
- Probar con datos históricos.
- Rastreo de corridas del modelo.
- Realizar pruebas de discriminación.

Para tener la seguridad de que el modelo tiene una validez alta se pueden hacer:

- Charlas con "expertos".
- Observaciones del sistema.
- Consideraciones de la teoría existente.
- Resultados relevantes de modelos de simulación similares.
- Experiencia/intuición.

Algunas técnicas estadísticas para la validación son:

- Prueba de estimación de los parámetros de la población, se asume una distribución de probabilidad (pruebas F, t y Z). La prueba no paramétrica F permite diagnosticar las diferencias entre las muestras, se supone que responden a una función de distribución normal. La prueba t-student permite diagnosticar la diferencia del valor medio μ entre dos muestras, se supone que responden a una función de distribución normal con media desconocida.
- Pruebas de las estimaciones de los parámetros de la población que no son dependientes de la suposición de una distribución de población implícita (prueba de medias Mann-Whitney).
- Pruebas para determinar la distribución de probabilidad de la cual proviene la muestra (pruebas de bondad de ajuste).
- Prueba de Kruskal-Wallis (rango de varias muestras) (García Dunna, et al., 2006)

2.5 Diseño de los experimentos de simulación

Permite verificar la concordancia entre los resultados y las estimaciones estadísticas, por lo que es necesario seleccionar rigurosamente los métodos

utilizados para realizar dichas estimaciones, al igual que la comparación estadística de los resultados.

Aquí es importante jugar con el modelo ante situaciones nuevas o imprevistas con cierta probabilidad de ocurrencia para encontrar soluciones óptimas ante ese escenario (sensibilidad).

2.6 Ejecución de los experimentos

Al correr un modelo, la base de datos del modelo se traduce o compila para crear la base de datos de la simulación. La animación se muestra al mismo tiempo que corre la simulación. Las gráficas pueden ser estáticas o dinámicas.

2.7 Análisis de los resultados

Consiste en inferir conclusiones a partir de los datos obtenidos de la simulación (Urquía Moraleda, 2005)

Se analizan los resultados de la simulación y se arriba a conclusiones acerca de los objetivos trazados. Si la hipótesis es correcta, se puede, confidencialmente, tomar los cambios de diseño o de las operaciones (se asume que el tiempo y otras restricciones de implementación son satisfechas). Este proceso se repite hasta que se alcance satisfacción con los resultados.

Proporciona estadísticas tanto resumidas como detalladas sobre medidas clave del desempeño. Se pueden presentar como reportes, gráficas, histogramas, etc.

Reportes resumidos: Muestran totales, promedios y otros valores globales.

Gráficas de series de tiempo e histograma: Para observar las fluctuaciones en el comportamiento del modelo a través del tiempo.

Por lo general los estudios de simulación se realizan para determinar el valor de cierta cantidad relacionada con un modelo estocástico particular. Una simulación del sistema en cuestión produce los datos de salida X , una variable aleatoria cuyo valor esperado es la cantidad de interés. Una simulación independiente proporciona una nueva variable aleatoria independiente de la anterior. Esto continúa hasta un total de

k ejecuciones y k variables aleatorias independientes, todas con la misma distribución y media. El promedio de estos valores K sirve entonces como estimador (Ross, 1999)

Condiciones que deben satisfacer las observaciones del experimento de simulación

- Las observaciones se extraen de distribuciones estacionarias (idénticas). Los procesos no varían en el tiempo por lo que los datos siguen una misma distribución para una variable.

La salida de la simulación es una función de la longitud del período simulado. El período inicial del comportamiento errático normalmente se califica como transitorio o período de calentamiento. Cuando la salida se estabiliza, se dice que el sistema opera bajo un estado estable. La longitud del período transitorio depende principalmente de las características del modelo, y no hay forma precisa de predecir el punto de inicio del estado estable. En general, entre más grande sea la corrida de la simulación, mayor es la posibilidad de lograr el estado estable.

- Las observaciones se muestrean de una población normal. Cuando la cantidad de observaciones es grande la media de la muestra es una variable aleatoria con distribución normal.

Por su parte, el requerimiento de que las observaciones deben extraerse de una población normal, se cumple con el *Teorema del límite central*, el cual establece que *la distribución del promedio de una muestra es asintóticamente normal sin importar la población de la que se extrae la muestra.*

- Las observaciones recogidas son independientes.

Por último, la naturaleza del experimento de simulación no garantiza independencia entre sucesivas observaciones de simulación. Sin embargo, se usan muestras promedio para representar las observaciones de simulación, también es posible investigar el problema de falta de independencia. Esto es particularmente cierto cuando se aumenta la base de tiempo que se usa para calcular la muestra promedio. Eso hace dudar que la media de la distribución que siguen sea constante

En un sentido estricto, la simulación no satisface ninguna de estas condiciones, por lo que se requiere que permanezcan estadísticamente viables, lo que depende de la forma en que se reúnan las observaciones de la simulación.

Capítulo III. Análisis de la capacidad de la carnicería del Super Mercado
"Camino de la Habana" con la modelación y simulación matemática.

3.1 Formular el problema y planificar el estudio

El estudio de simulación se llevará a cabo en el Súpermercado "Camino de la Habana". Los límites del sistema se encuentran enmarcados en la carnicería del súpermercado, interesa solamente la información relacionada con los arribos de los consumidores y la prestación del servicio, por parte del carnicero. Los resultados que se esperan son:

_ Un modelo matemático que explique el comportamiento del sistema, y brinde información sobre la capacidad de servicio actual, para tomar futuras decisiones sobre el ajuste de capacidad de servicio.

No existe información registrada sobre el comportamiento del sistema para diseñar el modelo, por tanto, la información numérica sobre las variables correspondientes, se toman por muestreo, con la observación del sistema.

Clasificación del sistema:

- _ Artificial
- _ Abierto
- _ Estocástico
- _ Dinámico
- _ Discreto

Estructura del sistema:

Población: Infinita. Son 3803 consumidores agrupados en 1803 núcleos, considerablemente grande para una carnicería con un solo dependiente. Por ello, se considera población infinita.

Cola: Infinita. No se encuentra limitada.

Servicio:

- _ Estaciones de servicio: una estación
- _ Disciplina de servicio: First In First Out (FIFO)

Se utiliza la simulación:

- _ Terminal
- _ Discreta

_ Estocástica

_ Dinámica

De los paquetes especializados en simulación disponibles en el mercado se selecciona el Promodel (versión 7.0). Este *software* es prestigioso internacionalmente, ofrece grandes bondades para la programación como "arrastrar y colocar" (*drag and drop*). Está diseñado para el estudio de sistemas industriales (logísticos, instalaciones productivas, líneas de espera) con un comportamiento discreto. El usuario puede utilizar o no la animación. Los requerimientos de *hardware* son bajos.

3.2 Recogida de datos

Las muestras se toman en el período Junio – Octubre 2013. Se realiza aleatoriamente, con observaciones de los días del mes que recibe la carnicería los productos, se alternan sección mañana y sección tarde. El único producto que se entrega a la población diariamente es la leche, pero, no se encuentra este servicio incluido dentro del grupo de los cárnicos (pollo, pescado, mortadella, carne de res y picadillo extendido) que presenta problemas actualmente. Cuando arriba un producto cárnico, la venta del mismo, no sobrepasa las 72 horas, generalmente en sólo 48 horas, todos los consumidores han adquirido el producto.

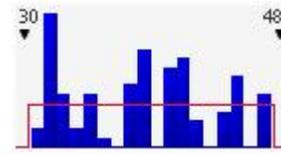
Se tomaron muestras para determinar el comportamiento del tiempo entre arribos de los clientes, cantidad de clientes que arriban al mismo tiempo, y la duración del servicio., las cuales presentan un comportamiento estocástico.

Con en cuenta un nivel de confianza del 95 %, el tamaño de muestra para cada uno de los casos se observan en el Anexo # 2.

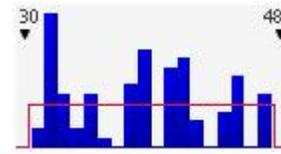
Tratamiento de los datos

Las variables del sistema que presentan un comportamiento probabilística se explican a través de distribuciones de frecuencias probabilísticas, también conocidas como distribuciones teóricas. Para realizar el ajuste se utiliza el software @Risk. Los resultados son:

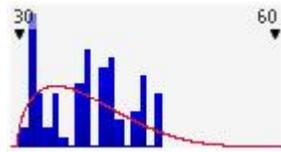
Tiempo entre arribos: Uniforme (30.82; 47.18)

Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Arribos !A1:A90
Mejor ajuste (clasificado por AIC)	RiskUniform(30.82,47.18)
Función	39
AIC	507.2041
Mínimo	30.8202
Máximo	47.1798
Media	39
Moda	30.8202
Mediana	39
Desviación est.	4.7226
Gráfico	

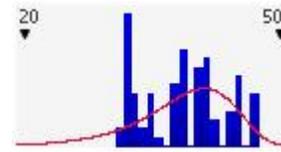
Ajuste según AIC.

Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Arribos !A1:A90
Mejor ajuste (clasificado por BIC)	RiskUniform(30.82,47.18)
Función	39
BIC	512.0658
Mínimo	30.8202
Máximo	47.1798
Media	39
Moda	30.8202
Mediana	39
Desviación est.	4.7226
Gráfico	

Ajuste según BIC.

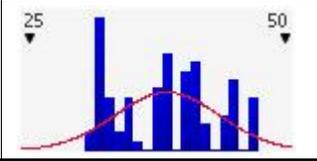
Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Arribos !A1:A90
Mejor ajuste (clasificado por Chi-cuad)	RiskPert(30.594,34.943,58.724)
Función	38.18166667
Chi-cuad	28.0667
Mínimo	30.5936
Máximo	58.7235
Media	38.1813
Moda	34.9427
Mediana	37.4298
Desviación est.	4.7188
Gráfico	

Ajuste según Chi-Cuadrado.

Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Arribos !A1:A90
Mejor ajuste (clasificado por K-S)	RiskExtvalueMin(40.8754,4.4624)
Función	38.29963282
K-S	0.1243
Mínimo	-Infinito
Máximo	+Infinito
Media	38.2996
Moda	40.8754
Mediana	39.2398
Desviación est.	5.7233
Gráfico	

Ajuste según Kolmogorov-Smirnov.

Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Arribos !A1:A90
Mejor ajuste (clasificado por A-D)	RiskNormal(38.4778,4.8162)
Función	38.4778
A-D	1.9834
Mínimo	-Infinito
Máximo	+Infinito
Media	38.4778

Moda	38.4778
Mediana	38.4778
Desviación est.	4.8162
Gráfico	

Ajuste según Anderson-Darling.

Figura 3.1. Salidas del @Risk para ajuste de variable tiempo entre arribos.

Cantidad de clientes por arribo: Uniforme (1;2)

Nombre	Rango 1
Rango	Clientes por arribo!A1:A40
Mejor ajuste (clasificado por AIC)	RiskHypergeo(2,2,3)
Función	1
AIC	58.512
Mínimo	1
Máximo	2
Media	1.3333
Moda	1
Mediana	1
Desviación est.	0.4714
Gráfico	

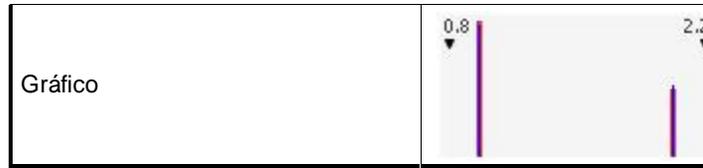
Ajuste según AIC.

Nombre	Rango 1
Rango	Clientes por arribo!A1:A40
Mejor ajuste (clasificado por BIC)	RiskIntUniform(1,2)
Función	1
BIC	62.8295
Mínimo	1
Máximo	2
Media	1.5
Moda	1
Mediana	1
Desviación est.	0.5
Gráfico	

Ajuste según BIC.

Nombre	Rango 1
Rango	Clientes por arribo!A1:A40
Mejor ajuste (clasificado por Chi-cuad)	RiskHypergeo(2,2,3)
Función	1
Chi-cuad	0.05
Mínimo	1
Máximo	2
Media	1.3333
Moda	1
Mediana	1
Desviación est.	0.4714





Ajuste según Chi-Cuadrado.

Figura 3.2 Salidas del @Risk para variable cantidad de clientes por arribo

Tiempo de servicio: Uniforme (127.8955, 135.1045)

Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Servicio!B1:B68
Mejor ajuste (clasificado por AIC)	RiskUniform(127.8955,135.1045)
Función	131.5
AIC	272.8287
Mínimo	127.8955
Máximo	135.1045
Media	131.5
Moda	127.8955
Mediana	131.5
Desviación est.	2.081
Gráfico	

Ajuste según AIC.

Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Servicio!B1:B68
Mejor ajuste (clasificado por BIC)	RiskUniform(127.8955,135.1045)
Función	131.5
BIC	277.0831
Mínimo	127.8955
Máximo	135.1045
Media	131.5
Moda	127.8955
Mediana	131.5
Desviación est.	2.081
Gráfico	

Ajuste según BIC.

Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Servicio!B1:B68
Mejor ajuste (clasificado por Chi-cuad)	RiskExtvalue(130.3666,1.8278)
Función	131.4216348
Chi-cuad	32.2941
Mínimo	-Infinito
Máximo	+Infinito
Media	131.4217
Moda	130.3666
Mediana	131.0365
Desviación est.	2.3443



Nombre	Rango 1
Rango	Muestra 2 Servicio!B1:B68
Mejor ajuste (clasificado por K-S)	RiskExtvalue(130.3666,1.8278)
Función	131.4216348
K-S	0.1201
Mínimo	-Infinito
Máximo	+Infinito
Media	131.4217
Moda	130.3666
Mediana	131.0365
Desviación est.	2.3443



Name	Cap	Units	Stats	Rules	Cost
Cola	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,	
Carnicero	1	1	Time Series	Oldest, ,	
Loc1	1	1	Time Series	Oldest, ,	
Loc2	1	1	Time Series	Oldest, ,	
Loc3	1	1	Time Series	Oldest, ,	

 * Entities *

Name	Speed (mpm)	Stats	Cost
Consumidor	50	Time Series	

 * Processing *

		Process	Routing			
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination Rule	Move Logic
Consumidor	Cola	WAIT 0				
		Contadorc = Contadorc + 1	1	Consumidor Carnicero	FIRST 1	MOVE FOR 0
Consumidor	Carnicero	WAIT U(127.8955, 135.1045)				
		contadord = contadord + 1				
		clientes = contadorc - contadord				
			1	Consumidor EXIT	FIRST 1	MOVE FOR 0

 * Arrivals *

Entity	Location	Qty	Each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
--------	----------	-----	------	------------	-------------	-----------	-------

Consumidor Cola U(1,2) inf U(30.82,47.18)

```
*****
*                               *
*           Variables (global)           *
*****
```

ID	Type	Initial value	Stats
Contadord	Integer	0	Time Series
clientes	Integer	0	Time Series
Contadorc	Integer	0	Time Series

Para la verificación del modelo, Promodel 7.0 permite la ejecución paso a paso, y realiza una comprobación previa de todos los datos para evitar fallas en la ejecución de la simulación.

Además, como el modelo de la investigación es sencillo, así que se verifica de conjunto. Se programa el modelo con números determinísticos y sencillos. Los resultados se pueden conocer con la realización de cálculos sencillos, y de esta forma comprobar los resultados del programa del modelo.

Se introducen los siguientes datos al programa:

Arribos: De uno en uno, cada 5 minutos.

Carnicería: Tiempo de servicio 5 minutos.

Tiempo de simulación: 1 hora

El resultado esperado es 5 ± 1 clientes que arriban al sistema y un tiempo promedio en sistema de 5 ± 1 minutos, con un tiempo de espera cercano a cero.

Los resultados del programa son:

_ Arribaron 12 clientes, salen del mismo 10 clientes, que cada 5 minutos de tiempo entre arribos, equivale a 50 minutos.

_ Cada cliente permanece 5.5 minutos en el sistema.

_ La carnicería se utiliza al 91%.

Todo esto es consistente con lo que debe ocurrir en la realidad si se asume la información de entrada.

El programa del modelo se verifica de esta forma.

3.4 Ejecuciones de prueba y validación

Para validar el modelo se introdujeron valores del sistema real. Se simuló el modelo para comparar los resultados de la simulación con los valores de comportamiento del sistema. Se aplica al resultado un análisis estadístico (prueba U de Mann Whitney) para comprobar si existe o no diferencia significativa entre las dos

Prueba de Mann-Whitney

SS 15.0 se muestra a

Rangos				
	Fuentes	N	Rango promedio	Suma de rangos
Valores	1.00	10	10.40	104.00
	2.00	10	10.60	106.00
	Total	20		

Estadísticos de contraste^b

	Valores
U de Mann-Whitney	49.000
W de Wilcoxon	104.000
Z	-.076
Sig. asintót. (bilateral)	.940
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.971 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: Fuentes

H0: No existe diferencia significativa entre los resultados del sistema real y el modelo.

H1: Existe diferencia significativa entre los resultados del sistema real y el modelo.

No existen evidencias estadísticas para afirmar que existen diferencias significativas entre los resultados del sistema y los resultados del modelo.

El modelo queda validado.

3.5 Diseño de los experimentos

Las premisas del modelo son:

_ El sistema inicialmente se encuentra vacío, no hay clientes en el mismo.

No hay cola. El producto acaba de llegar a la carnicería y es de conocimiento de los clientes en ese momento, los cuales comienzan arribar a la carnicería.

_ El servicio de despacho comprende:

- Registrar en libreta de víveres
- Cobrar el producto
- Corte de la carne, mortadella, pollo, pescado, y/o depósito de picadillo en báscula.
- Pesaje del producto. Incluye corrección.
- Entrega del producto.

Todo se concibió dentro de una operación para el análisis de la capacidad del sistema.

_ El tiempo de simulación es de 8 horas. Momento de terminación.

_ Las variables de respuesta fundamentales son: por ciento del tiempo que el dependiente está ocupado, tiempo promedio que los clientes permanecen en el sistema, promedio de clientes en cola.

_ Se utiliza el método de los lotes. De esta forma se reduce la variabilidad en la simulación, motivado por el muestreo, permite reducir los efectos del tiempo de calentamiento del sistema.

Se decide una longitud de aproximadamente un cuarto de hora, lo que representa 28 lotes de simulación. Para determinar cuántos lotes desechar en el estudio, con el propósito de eliminar el efecto del tiempo de calentamiento se realizaron varios gráficos de control donde cada caso es una unidad, se define la amplitud igual a 2 (mínima) como se muestra a continuación:

Gráfico de control: Clientes_sistema

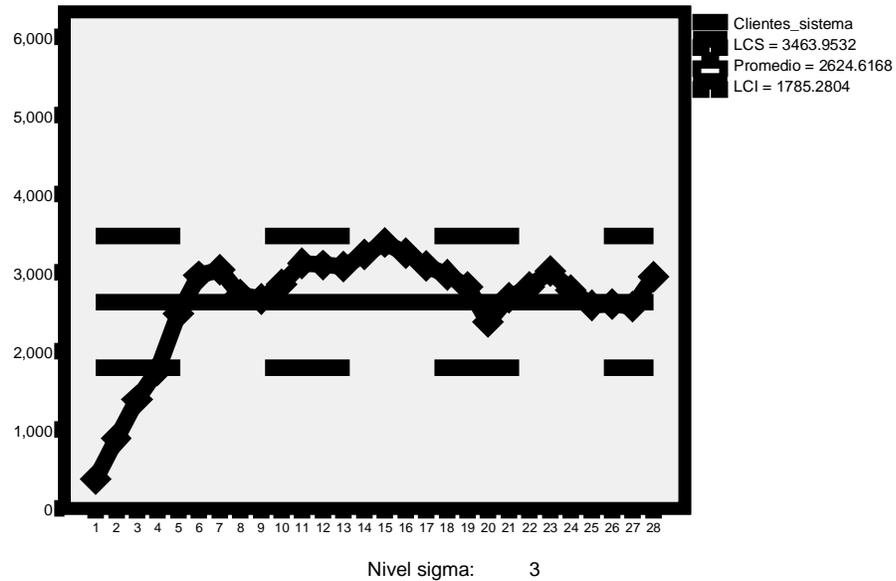


Gráfico 3.1 Gráfico de control por variables “Tempo que esperan como promedio los clientes en el sistema”. Salida del SPSS 15.0

Gráfico de control: Clientes_cola

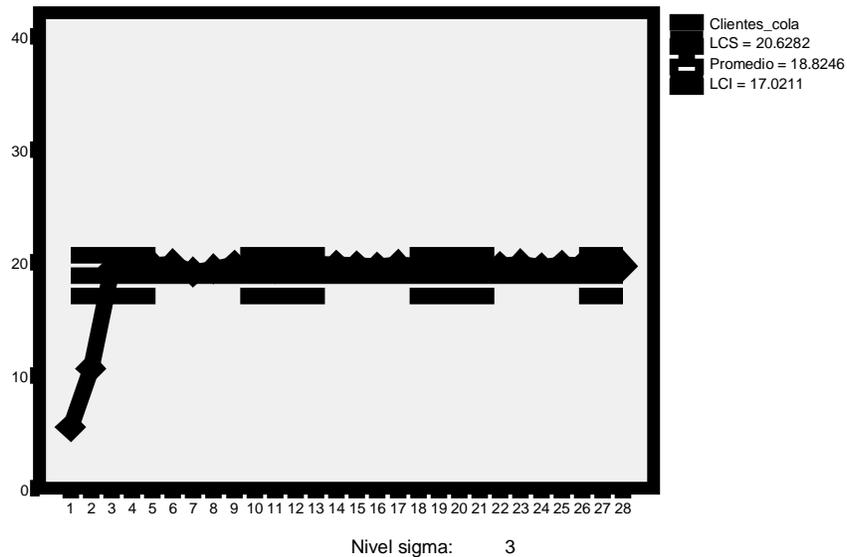


Gráfico 3.2 Gráfico de control por variables “Cantidad de clientes promedio que permanecen en cola”. Salida del SPSS 15.0

Gráfico de control: Tiempo_ocupado

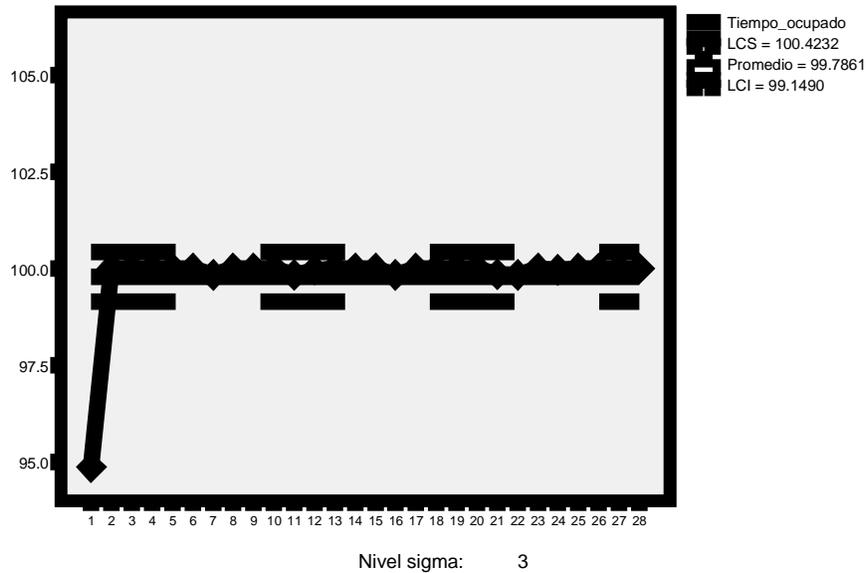


Gráfico 3.3 Gráfico de control por variables “Por ciento del tiempo que permanece ocupado el dependiente”. Salida del SPSS 15.0

A partir del análisis de los gráficos se decide eliminar los cuatro primeros lotes y utilizar los restantes para las estimaciones estadísticas una vez ejecutado los experimentos.

Para determinar si el tamaño de los lotes es suficiente como para disminuir el efecto de auto correlación se realiza la prueba de Fishman:

$$\bar{X} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \bar{X}_j \text{ donde } r \text{ es el número de lotes. Se aplica al tiempo de estancia de los}$$

clientes en el sistema.

$$\bar{X} = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} \bar{X}_j = 119.94$$

$$C_B = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{r-1} (\bar{X}_j - \bar{X}_{j+1})^2 / \Phi^2 30.254}{\sum_{j=1}^r (\bar{X}_j - \bar{X})^2 / \Phi^2 30.254} = \frac{1682103.4}{186904335} = 0.008999$$

Ho: CB=0 (independencia)

H1: CB ≠ 0 (correlación entre lotes)

$$Z_c = \frac{C_B}{\sqrt{\frac{(r-1)\phi}{(r^2-1)\phi} / \frac{0.008999}{0.045615.871}} = 0.046$$

$$Z_{0.025} = 1.96$$

Como Z_c es menor que $Z_{0.025}$ no existe evidencia estadística para rechazar Ho, por tanto se puede considerar independencia entre los lotes.

A partir de esta información se decide mantener el tamaño de los lotes.

2.6 Ejecución de experimento y análisis de resultados

Para el análisis de los resultados se extraen conclusiones a partir de intervalos de confianza para un nivel de confianza del 95%.

$$IC = \left[\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{r}} \cdot \frac{1}{\alpha/2}, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{r}} \cdot \frac{1}{\alpha/2} \right]$$

Los resultados de la simulación obtenidos en el Promodel se muestran a continuación:

Name	Period	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (SEC)
Consumidor	Batch 1	8.00	11.00	372.00
Consumidor	Batch 2	8.00	17.00	890.82
Consumidor	Batch 3	8.00	21.00	1380.39
Consumidor	Batch 4	6.00	20.00	1758.27
Consumidor	Batch 5	8.00	21.00	2475.31
Consumidor	Batch 6	5.00	21.00	2958.91
Consumidor	Batch 7	9.00	20.00	3034.93
Consumidor	Batch 8	8.00	21.00	2723.34
Consumidor	Batch 9	6.00	21.00	2666.74
Consumidor	Batch 10	6.00	21.00	2848.89
Consumidor	Batch 11	8.00	20.00	3115.04
Consumidor	Batch 12	7.00	21.00	3096.55
Consumidor	Batch 13	5.00	21.00	3076.20
Consumidor	Batch 14	6.00	21.00	3231.76
Consumidor	Batch 15	6.00	21.00	3379.07
Consumidor	Batch 16	9.00	20.00	3244.55
Consumidor	Batch 17	5.00	20.00	3084.60
Consumidor	Batch 18	8.00	21.00	2970.47
Consumidor	Batch 19	10.00	19.00	2818.56
Consumidor	Batch 20	7.00	20.00	2371.46
Consumidor	Batch 21	5.00	21.00	2676.51
Consumidor	Batch 22	9.00	21.00	2818.50
Consumidor	Batch 23	6.00	21.00	3021.60
Consumidor	Batch 24	10.00	21.00	2779.59
Consumidor	Batch 25	7.00	21.00	2584.05
Consumidor	Batch 26	9.00	20.00	2600.75
Consumidor	Batch 27	6.00	21.00	2564.92
Consumidor	Batch 28	5.00	21.00	2945.49

Tabla 3.1 Cantidad de clientes promedio en cola y tiempo promedio de estancia por lote de los clientes en el sistema.

$$IC = \left[\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{r}}, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{r}} \right] = \left[2878.65 - \frac{261.12}{\sqrt{24}}, 2878.65 + \frac{261.12}{\sqrt{24}} \right] = [2878.65 - 8.43, 2878.65 + 8.43]$$

$$IC = [2870.22, 2887.05] \text{ segundos}$$

$$IC = [47.84, 48.12] \text{ min utos}$$

Con un 95% de confianza, un cliente permanece en el sistema entre 47.84 y 48.12 minutos.

$$IC = \left[\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{\frac{r}{\alpha/2}}}, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{\frac{r}{\alpha/2}}} \right] = \left[20.66 - \frac{0.564}{\sqrt{\frac{24}{0.025}}}, 20.66 + \frac{0.564}{\sqrt{\frac{24}{0.025}}} \right] = [20.66 - 0.0182, 20.66 + 0.0182]$$

$$IC = [20.64, 20.68] \text{ clientes_en_cola}$$

Con un 95% de confianza, en cola permanecen como promedio 21 clientes.

Name	Period	Scheduled Time (MIN)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Carnicero	Batch 1	16.67	94.87	0.00	5.13	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 2	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 3	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 4	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 5	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 6	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 7	16.67	99.84	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 8	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 9	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 10	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 11	16.67	99.84	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 12	16.67	99.96	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 13	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 14	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 15	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 16	16.67	99.84	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 17	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 18	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 19	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 20	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 21	16.67	99.85	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 22	16.67	99.84	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 23	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 24	16.67	99.97	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 25	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 26	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 27	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carnicero	Batch 28	16.67	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 3.3 Por ciento del tiempo promedio que permanece el carnicero ocupado

$$IC = \left[\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{\frac{r}{\alpha/2}}}, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{\frac{r}{\alpha/2}}} \right] = \left[99.64 - \frac{0.648}{\sqrt{\frac{24}{0.025}}}, 99.64 + \frac{0.648}{\sqrt{\frac{24}{0.025}}} \right] = [99.64 - 0.0209, 99.64 + 0.0209]$$

$$IC = [99.62, 99.66]$$

Con un 95% de confianza, el carnicero permanece entre 99.62 y 99,66 por ciento del tiempo ocupado (mientras hay productos)

A partir de los resultados obtenidos en la simulación del modelo, se puede concluir que las quejas de los clientes están fundamentadas. Las esperas son prolongadas en la carnicería. La capacidad actual no es suficiente.

Conclusiones

1. El estudio bibliográfico demostró la existencia de una amplia base conceptual sobre la capacidad, así como pocos trabajos donde se utilice la simulación matemática.
2. El procedimiento de (Barceló, 1996) permitió la construcción de un modelo válido para la carnicería del Super Mercado “Camino de la Habana”.
3. La simulación del modelo permitió determinar que la capacidad actual de la carnicería en el Super Mercado “Camino de la Habana” no es suficiente.

Recomendaciones

1. Proponer alternativas para elevar la capacidad de la carnicería del Super Mercado “Camino de la Habana”.
2. Seleccionar la mejor alternativa a través de experimentos con el modelo de simulación.
3. Generalizar el estudio a otros establecimientos del Super Mercado “Camino de la Habana”.

Referencias Bibliográficas

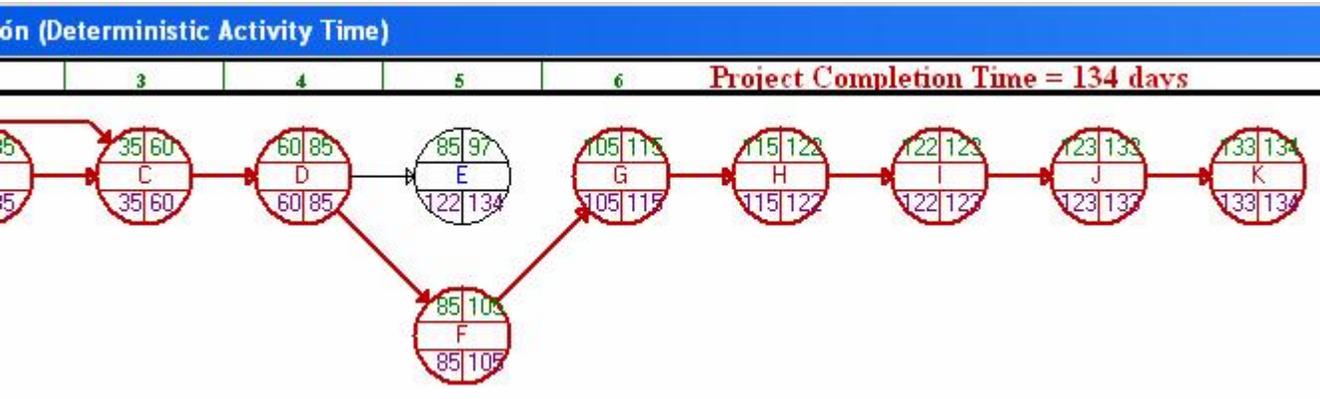
- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*: Alianza Editorial.
- Barceló, J. (1996). *Simulación de Sistemas Discretos*. Madrid, España: Isdefe.
- Begoña, V. (2012). *Modelos y métodos de simulación estocástica. Aplicación en la valoración de acciones financieras*. <http://www.dc.uba.ar/materias/escuela-complutense/2012/estocasticos.pdf>
- Bravo Carrasco, J. (1998). *Análisis de sistemas*. Santiago de Chile: Evolución S.A.
- Calvo García, J., & Motta Parra, C. A. (2011). *Simulación de un evento discreto aplicada a una empresa multinacional xyz en el sector de alimentos*. Tesis de grado, Universidad ICESI, Santiago de Cali.
- Consejo de Estado. (2007). Decreto Ley 252. Sobre la continuidad y el fortalecimiento del sistema de dirección y gestión empresarial cubano. *Gaceta Oficial de la República, CV(41), 237-241*.
- Consejo de Ministros. (2007). Decreto 281. Reglamento para la implantación y consolidación del sistema de dirección y gestión empresarial estatal. *Gaceta Oficial de la República, CV(41), 241-350*.
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción (1ra ed.)*. México: PEARSON Educación.
- Chase, R. B., Jacob, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva (10ma ed.)*: McGraw-Hill Interamericana.
- Chavienato, I. (2004). *Introducción a la teoría general de la administración*. México DF: McGraw Hill/Interamericana.
- Domínguez Machuca, J. A., Álvarez Gil, M. J., García González, S., Domínguez Machuca, M. A., & Ruíz Jiménez, A. (1995). *Dirección de Operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. España: McGraw-Hill.
- Gaither, N., & Frazier, G. (2000). *Administración de producción y operaciones (8va ed.)*: International Thomson Editores.

- García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barrón, L. E. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con Promodel* (1ra ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de Administración de Operaciones* (5ta ed.). México: PEARSON Educación.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (1997). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (6ta ed.). México: McGraw-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Marrero Delgado, F., Abreu Ledón, R., Taborda Figueroa, B., Bravo Valencia, F. M., Mejía Ramírez, D. I., & Grau Ávalos, R. (2002). *Simulación de Sistemas*
- Menguzzato, M., & Renau, J. J. (1991). *La Dirección Estratégica de la Empresa*.
Bacelona: Editorail ARIEL.
- PNUD. (2014). *Programa de apoyo al fortalecimiento de cadenas agroalimentarias a nivel local (AGROCADENAS)*.
- Ross, S. M. (1999). *Simulación* (2da ed.). México: PRENTICE HALL.
- Sarabia, Á. A. (1995). *La teoría general de sistemas* (1ra ed.). Madrid, España: Isdefe.
- Schroeder, R. G., Golstein, S. M., & Rungtusanatham, M. J. (2008). *Administración de Operaciones. Conceptos y casos contemporáneos*. (5ta ed.). México.
- Urquía Moraleda, A. (2005). *Simulación* Retrieved from http://www.uned.es/543072/Files/teoria_Simulacion.pdf
- Winston, W. L. (2005). *Investigación de Operaciones. Aplicaciones y algoritmos* (4ta ed.). México: International Thomson Editores, S.A.

Anexos

o de Investigación. Salida del software WINQSB.

10-23-2013 03:58:42	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	A	Yes	15	0	15	0	15	0
2	B	Yes	20	15	35	15	35	0
3	C	Yes	25	35	60	35	60	0
4	D	Yes	25	60	85	60	85	0
5	E	no	12	85	97	122	134	37
6	F	Yes	20	85	105	85	105	0
7	G	Yes	10	105	115	105	115	0
8	H	Yes	7	115	122	115	122	0
9	I	Yes	1	122	123	122	123	0
10	J	Yes	10	123	133	123	133	0
11	K	Yes	1	133	134	133	134	0
	Project	Completion	Time	=	134	days		
	Number of	Critical	Path(s)	=	2			



Anexo # 2. Tamaño de la muestras

Para calcular el tamaño de muestras se asumió normalidad, se utiliza la desviación típica de las muestras para el cálculo. No se trabaja con la distribución t Student pues a partir de $n > 30$, esta distribución se aproxima a la normal.

Tiempo entre arribos

Muestra piloto inicial = 45 $s = 2.095$

Muestra piloto final = 68 $s = 2.10$

NC = 95 %

$d = 0.5$

$Z_{0.05} = 1.96$

$$n = \left(\frac{s Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right)^2 = \left(\frac{(2.095)(1.96)}{0.5} \right)^2 = 68$$

$$n = \left(\frac{s Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right)^2 = \left(\frac{(2.10)(1.96)}{0.5} \right)^2 = 69$$

Duración Servicio

Muestra piloto inicial = 45 $s = 4.79$

Muestra piloto final = 90 $s = 4.82$

NC = 95 %

$d = 1$

$Z_{0.05} = 1.96$

$$n = \left(\frac{s Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right)^2 = \left(\frac{(4.79)(1.96)}{1} \right)^2 = 89$$

$$n = \left(\frac{s Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right)^2 = \left(\frac{(4.8109704 / 0.098648) \cdot 1.96}{0.07} \right)^2 = 90$$

Cantidad de clientes por arribo

Muestra piloto = 45

NC = 95 %

d = 0.07

p = 0.8

q = 0.2

Z_{0.05} = 1.96

$$n = \frac{Z^2_{\alpha} * p_0 * q_0}{d^2} = \frac{1.96^2 * 0.8 * 0.2}{0.07^2} = 126$$

