

5  
2ej.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

SIMULACION DE LA DISTRIBUCION POR TALLAS  
PARA LA DEMANDA DE CALZADO

9 SEP 8 PM 12  
PROFESIONALES  
CENTRO DE ESTUDIOS

009282

## MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADO EN MATEMATICAS  
APLICADAS Y COMPUTACION  
P R E S E N T A :  
ARGELIA CASTILLO CALIXTO

ASESOR: ACT. MARIA DEL CARMEN GONZALEZ VIDEGARAY



ACATLAN, ESTADO DE MEXICO

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

265798



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

Somos lo que hacemos  
día con día.  
De modo que la  
**EXELENIA**  
no es un acto si no un  
**HÁBITO**

Aristóteles

dios

Por absolutamente todo.

A mis padres

Por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos

Por su ejemplo y confianza.

Lic. Alberto Murillo M.

Quien me dio la oportunidad de  
desarrollarme profesionalmente.

TITULO:

SIMULACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POR TALLAS PARA  
LA DEMANDA DE CALZADO

**OBJETIVO:**

**OBTENER UNA DISTRIBUCIÓN DE DEMANDA QUE AYUDE AL CONTROL DE INVENTARIOS CON EL APOYO DE MÉTODOS DE SIMULACIÓN (MÉTODO DE MONTECARLO)**

**INDÍCE**

**INDÍCE..... 3**

**INTRODUCCIÓN..... 4**

**1. MARCO DE REFERENCIA..... 6**

    1.1 BREVE HISTORIA DEL CALZADO EN MÉXICO..... 6

    1.2 ESTRUCTURA INICIAL DEL SISTEMA..... 7

    1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 8

**2.-SIMULACIÓN..... 9**

    2.1 VENTAJAS DE LA SIMULACIÓN..... 11

    2.2 EJEMPLOS EN LOS QUE SE HA APLICADO LA SIMULACIÓN ..... 15

    2.3 LENGUAJES DE SIMULACIÓN ..... 17

    2.4 MÉTODO DE MONTECARLO ..... 20

    2.5 GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS ..... 22

    2.6 MÉTODOS EXISTENTES PARA LA GENERACIÓN DE NÚMEROS  
    ALEATORIOS. .... 23

**3. ANÁLISIS Y SOLUCIÓN DEL PROBLEMA..... 28**

    3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA ..... 28

    3.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA ..... 34

    3.3 VALIDACIÓN DEL MODELO..... 36

    3.4 CRITERIO DE AJUSTE..... 40

**APENDICE A..... 48**

**BIBLIOGRAFÍA..... 67**

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el crecimiento de la industria del calzado en México se ha visto fuertemente impulsado al seguir cada vez más de cerca las tendencias de la moda a nivel nacional e internacional. El avance tecnológico y la constante implementación de innovaciones en cuanto a técnicas de fabricación ha jugado un papel muy importante para poder decir que la industria del calzado en México en los últimos años ha logrado ser reconocida a nivel internacional.

Este crecimiento está apoyado básicamente por tres elementos: El primero, es el consumidor final, que es activador de cualquier industria al tener necesidades y buscar la manera de satisfacerlas. Como segundo elemento, el oferedor de bienes quien presenta alternativas para satisfacer la necesidad de su cliente (consumidor final). Para poder ofrecer dichas alternativas, el oferedor de bienes debe contar con el apoyo de un tercer elemento que es el fabricante. Tomando en cuenta que quien toma la última decisión es el consumidor final (cliente), prácticamente las otras partes están sujetas a seguir la pauta que éste marque; es decir, el cliente decide qué calzado comprar eligiendo entre las opciones que le presente el vendedor, quien debe estar preparado para satisfacer esta demanda, y para esto, debe contar con un inventario. Para el vendedor es deseable tener la menor cantidad posible de su inventario sin que esto represente un alto riesgo de insatisfacción en la demanda, es decir, debe evitar al máximo negar el calzado que ofrece. Además como comprador debe solicitar a la fábrica la reposición del producto vendido, así como el producto extra que estime suficiente para cubrir la demanda futura. Esto conduce al fabricante a abastecerse de materia prima con oportunidad, para llevar a cabo su proceso de producción el cual termina al entregar su producto al comprador.

Los proveedores de materia prima se cuestionan sobre qué y cuánto elaborar de pieles, suelas, herrajes, hormas, etc. . El fabricante necesita saber que le solicitará al proveedor de materia prima, cuándo empezar a producir, cuánta gente contratar, etc., lo cual se determina con los requerimientos del comprador. Sin embargo, para poder enfrentar la impredecible demanda del consumidor (la cual es identificada como variable aleatoria), el vendedor debe preguntarse cuánto necesitará de un modelo en particular, en que color, cuántos pares de cada talla; considerando el tiempo en que el fabricante entregará dicho calzado después de hacer el pedido.

De esta manera quien se enfrenta al mayor de los problemas es el vendedor o empresario dedicado a la compra-venta de calzado pues al tratar de satisfacer la demanda aleatoria se debe proyectar a futuro cual será el comportamiento de dicha demanda a nivel talla, para solicitar el producto con una anticipación adecuada.



En este proceso, el comprador debe decidir cuántos pares debe comprar de una alternativa (Modelo, Color, Material) en cada una de sus tallas, buscando que al llegar el producto sea suficiente para satisfacer la demanda que a nivel talla sigue una determinada distribución de probabilidad.

Así se observó que una necesidad primordial era contar con un método que nos indicara cual sería el comportamiento de la demanda aleatoria en un futuro próximo. Por esto se consideró que aplicar simulación con el Método de Montecarlo es una herramienta adecuada ya que nos permite simular situaciones reales implicando elementos probabilísticos. Tomando en cuenta que al hablar de una simulación es necesario comparar el modelo simulado con el sistema real se deben aplicar pruebas de bondad de ajuste, las cuales nos ayudan a determinar que tan bueno o malo es el resultado de nuestra simulación. Las pruebas de bondad de ajuste también se utilizan para comparar la distribución simulada con la distribución generada del periodo anterior. En caso de encontrar diferencias significativas, será necesario aplicar un criterio de ajuste, que nos ayude a definir con que distribución se trabajará para realizar los pedidos correspondientes por alternativa.

El perfil del egresado de la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación es adecuado para resolver este tipo de problemas ya que cuenta con bases suficientes para llevar a cabo un análisis completo del problema, llevarlo a una abstracción matemática y proponer (si es que son factibles) diferentes cursos de acción con sus riesgos y ventajas además de poder implementarlos en un sistema computacional que permita a los usuarios poder manejar y realizar sus procesos con una facilidad y rapidez que se hace muy necesaria al manejar grandes cantidades de información.

## **1. MARCO DE REFERENCIA**

### **1.1 BREVE HISTORIA DEL CALZADO EN MÉXICO**

La fabricación del calzado en México, como en la mayor parte del mundo, comenzó siendo una tradición netamente artesanal, posteriormente manufacturera a pequeña escala de producción de calzado, para pasar a ser, a finales del siglo pasado, manufacturera con las necesidades y características de la tecnología y los sistemas modernos de fabricación de calzado de aquel entonces. Sin embargo, hasta antes de 1877, la industria manufacturera del calzado en México estaba muy por debajo del nivel internacional.

Ciudades como León, Guadalajara y México lograron recuperarse de los efectos de la Revolución Mexicana y en los años treinta se recuperó la tendencia al crecimiento. La 2a Guerra Mundial trajo consigo que México se convirtiera en un importante proveedor de materia prima de artículos manufactureros para la economía norteamericana, lo cual dio lugar a una redefinición de los espacios productivos nacionales.

Durante la 2a. Guerra Mundial, México envió infinidad de productos al exterior, entre ellos calzado, sin cuidar que estuvieran bien elaborados; basados, en que nunca hubo rechazo de ningún producto por parte de los clientes de Estados Unidos de Norte América durante este periodo. Una vez concluida la Guerra, la mala calidad de los productos que se llegaron a exportar clausuró por mucho tiempo este mercado para el calzado nacional y acarreó el cierre de infinidad de talleres a nivel nacional.

Finalizando la 2a Guerra Mundial apareció la ley que creaba agrupaciones industriales y comerciales a través de Cámaras especializadas que velarían por los intereses de sus agremiados y funcionarían como el filtro ante el gobierno. Durante el periodo de 1940- 1960 aparecieron nuevas empresas, y se comenzaron a desarrollar otras regiones como San Mateo Atenco, Estado de México y Tlaxcala que pronto serían consideradas como centros importantes de fabricación de calzado. Las nuevas empresas que aparecieron lograron dar forma real a la industria del calzado en México, que en ese entonces atravesaba por fuertes problemas.

Sin embargo, el mercado para el zapato nacional era limitado; por un lado, la competencia del producto importado preferido por la gente de recursos, y por otro, la gente de campo prefería usar huarache elaborado en cada localidad o aquel que se

promovía en las grandes ferias regionales. Así el mercado estaba entonces limitado a la población urbana de recursos medios y altos.

En la actualidad, ofreciendo productos de calidad, la industria mexicana del calzado ha logrado recuperar en parte la confianza del mercado exterior.

El crecimiento que se ha observado en la industria del calzado en los últimos años se debe en gran parte a la nueva mentalidad de los fabricantes (centros productivos) de lo que son los negocios y su visión a largo plazo tratando de abarcar no solo el mercado nacional sino buscar también el mercado exterior mediante: grandes inversiones en tecnología, asistencia técnica, capacitación de sus recursos humanos, programas de competitividad, precio, calidad y diseño.

De acuerdo con las cifras de la Cámara Nacional de la Industria del Calzado (CANAINCAL), el volumen exportador se incrementó 100% anualmente en el periodo 1994-1996. En 1994, la industria exportó 5 millones de pares, un año después se alcanzaron ventas por 10 millones y en 1996 la exportación fue de 20 millones de pares. Para 1997 se pronostica un volumen de exportaciones de entre 35 y 40 millones de pares.

Debido a este crecimiento, la industria del calzado se ha visto en la necesidad de recurrir a nuevos métodos de producción, avances tecnológicos, métodos matemáticos, estadísticos y técnicas numéricas (tales como la simulación); preparándose para satisfacer de la mejor manera la demanda creciente que se está dando en los últimos años.

## **1.2 ESTRUCTURA INICIAL DEL SISTEMA.**

Anteriormente las distribuciones que se tomaban como referencia para la elaboración de pedidos eran generadas tomando en cuenta el tipo de mercado al que sería dirigido.

Inicialmente los mercados eran divididos en cuatro grupos: Dama, Infantil, Tenis Dama y Tenis Caballero( sólo se manejaba esta línea en caballero); además, a lo largo del tiempo se observó, que la altura del tacón del calzado de dama es un factor determinante en la distribución por tallas, ya que en alturas de tacón mediano o bajas el consumo es mayor en tallas grandes y por otro lado, el consumo de calzado con tacones altos, es mayor en tallas pequeñas. Por esto, se consideró conveniente subdividir el mercado de dama tomando en cuenta la altura del tacón. Teniendo relacionadas todas las alternativas con un grupo de mercado, el análisis consistía en acumular la información histórica de todas las alternativas de un mismo

grupo y calcular la distribución para el mismo. Esta distribución se utilizaría para todas las alternativas que pertenecieran al grupo.

Esta información era actualizada por lo menos cada seis meses, ya que no se contaba con un sistema y equipo adecuado que pudiera trabajar con grandes cantidades de información.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La satisfacción de las expectativas de un cliente representa para cualquier empresa, una de sus principales prioridades, ya que en la medida que se logre, podrá estar en posibilidades de contar con un mercado cada vez más amplio y sólido. Dentro de la gama de empresas hablaremos de una en particular dedicada a la venta del calzado, la cual se enfrenta al reto de no solo ofrecer un producto específico sino además que cumpla con el requisito de ser del tamaño adecuado al pie del cliente (como se desconoce el tamaño del pie del cliente la demanda a nivel talla es considerada variable aleatoria). De aquí surgió la necesidad de desarrollar un sistema que simulara la distribución esperada de la demanda por tallas para un periodo dado. Obteniendo una distribución adecuada sería posible mejorar la calidad de las empresas y con esto se apoyaría el reto de lograr cero negados (necesidades no satisfechas por el cliente). La finalidad de este proyecto es determinar bajo que distribución se realizará la compra de cada una de las alternativas que la empresa ofrece al mercado buscando satisfacer en un futuro la demanda por tallas.

## **2. SIMULACIÓN**

En la actualidad, son utilizadas muchas técnicas matemáticas en la búsqueda de mejores soluciones para un sistema cambiante, en el que se hace necesario estar pendiente de cualquier suceso que pueda modificar nuestro modelo. Sin embargo, es posible en muchas ocasiones, tomarle ventaja a esos sucesos "impredecibles". La simulación nos ayuda en estos casos más que cualquier otra técnica con la que puede resultar imposible o extremadamente costoso obtener datos de ciertos procesos en el mundo real. Tales procesos pueden comprender, por ejemplo, el funcionamiento de máquinas de cohetes a gran escala, el efecto en la economía del recorte de impuestos, el efecto de una campaña publicitaria en las ventas totales, etc., en este caso decimos que los datos simulados son necesarios para formular hipótesis acerca del sistema; o bien, el sistema observado puede ser tan complejo que no pueda ser descrito en términos de ecuaciones matemáticas que tengan solución analítica. La mayoría de los sistemas económicos caen en esta categoría. Por ejemplo, es virtualmente imposible describir la operación de una empresa de negocios, una industria, o una economía en términos de pocas ecuaciones simples. De esta manera se ha encontrado que la simulación es una herramienta extremadamente efectiva para tratar con problemas de este tipo.

Antes de introducirnos en las aplicaciones de la simulación trataremos de manejar un concepto formal tomando como referencia las siguientes definiciones dadas por diferentes autores.

THOMAS H. NAYLOR<sup>1</sup>

La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, la cual envuelve ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento del sistema económico o de negocios, sobre periodos de tiempo real.

SHUBIK<sup>2</sup>

Simulación de un sistema (o un organismo) es la operación de un modelo (simulador), el cual es una representación del sistema. Este modelo puede sujetarse a manipulaciones que serían imposibles de realizar, demasiado costosas o imprácticas. La operación de un modelo puede estudiarse y con ello, inferirse las propiedades concernientes al comportamiento del sistema real.

H. MAISEL Y G. GNUGNOLI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Raúl Coss Bu, Simulación, un enfoque práctico, pp 12-13

<sup>2</sup> Thomas H. Naylor, Técnicas de simulación en computadoras, p 16

Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo.

ROBERT E. SHANNON <sup>1</sup>

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

Resumiendo, la simulación es una técnica que, por medio de la realización de experimentos, ayuda a evaluar y determinar el mejor modelo para una situación real.

El uso de esta palabra data de 1940 cuando Von Newman y Ulam utilizaron el "Método de Montecarlo" para aplicarlo a una técnica matemática, usada para resolver problemas de protección nuclear que eran o demasiado costosos para resolverse experimentalmente o demasiado complicados para ser tratados analíticamente.

La simulación ha llegado a ser una herramienta importante para los diseñadores, ya sea que estén simulando el vuelo de un jet supersónico, un sistema de comunicación telefónica, una batalla militar a gran escala (para evaluar los sistemas de armamento defensivo y ofensivo), o una operación de mantenimiento (para determinar el tamaño óptimo del equipo de reparación). Avances recientes en la metodología de la simulación, la disponibilidad de software y desarrollos técnicos han hecho de la simulación una de las herramientas más usadas y aceptadas en el análisis de sistemas e investigación de operaciones. A través de esta técnica el hombre de empresa puede someter sus decisiones a una prueba experimental mediante métodos computacionales, lo cual representa una herramienta fundamental que permite hacer cuidadosas investigaciones acerca de los problemas que se presentan y las soluciones que se plantean.

En este proyecto la simulación ha sido útil para determinar de manera automática la posible distribución que se presentará en la demanda futura, considerando los cambios que históricamente se van presentando. Así se enfrenta de mejor manera la demanda aleatoria, mejorando la calidad del inventario y por consiguiente aumentando la satisfacción del cliente. Factores que influyen de manera determinante en el éxito de cualquier empresa.

## 2.1 VENTAJAS DE LA SIMULACIÓN.

Naylor<sup>3</sup> ha sugerido que el análisis de simulación puede ser apropiado por las siguientes razones:

1. La simulación hace posible estudiar y experimentar con las complejas interacciones que ocurren en el interior de un sistema dado, ya sea una empresa, industria, economía o un subsistema de cualquiera de ellas.
2. A través de la simulación se pueden estudiar los efectos de ciertos cambios informativos, de organización y ambientales, en la operación de un sistema, al hacer alteraciones en su modelo y observar los efectos de éste en el comportamiento del sistema.
3. La observación detallada del sistema que se está simulando, conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo.
4. La simulación de sistemas complejos puede producir un valioso y profundo conocimiento acerca de cuáles variables son más importantes que otras en el sistema real.

Una vez que decidamos aplicar la simulación para la solución de nuestro problema, es recomendable tomar en cuenta que contenga los siguientes pasos:

### A.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Es importante y necesario definir muy claramente cuales son los objetivos de nuestra investigación antes de planear un experimento de simulación. Por esto, la formulación del problema debe hacerse por etapas, considerando que a lo largo de la simulación pueden replantearse los objetivos, lo que conlleva a la modificación del modelo en prueba.

Al definir los objetivos, es posible determinar los elementos (variables) que intervienen el sistema. Normalmente los objetivos toman la forma de: Preguntas por contestar, hipótesis que deben probarse o efectos por evaluarse.

### B.- RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS TOMADOS DE LA REALIDAD

La recopilación de datos es importante ya que ésta se considera durante el diseño del modelo así como durante la ejecución del experimento de simulación. De la calidad de los datos recolectados dependerá de manera significativa el modelo obtenido, así como los resultados.

<sup>3</sup> "Técnicas de simulación en computadoras" Thomas H. Naylor. P 19

### C.- FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

La formulación de modelos matemáticos eficientes dependen en gran parte de la experiencia del analista, así como de los procedimientos de control que se apliquen durante la formulación del problema. Además, es deseable que el modelo en prueba sea lo más simple posible sin que esto signifique disminuir la calidad y confiabilidad del mismo. Para considerar que un modelo es confiable, debe generar información razonablemente similar a la obtenida del sistema real. De esta manera, el generar un modelo sencillo y confiable, facilitará tanto su programación como el manejo de información.

### D.- ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES A PARTIR DE LOS DATOS REALES.

En este proceso es necesario estimar los valores de los parámetros de los modelos generados para probar su significancia estadística. Sin embargo dada la naturaleza del problema puede resultar que no haya parámetros a estimar.

### E.- EVALUACIÓN DEL MODELO Y DE LOS PARÁMETROS ESTIMADOS.

Como ya se mencionó, en la formulación del modelo matemático es importante que los datos simulados sean comparados con los datos reales; en caso de no haber tanta diferencia, se determinará un modelo eficiente, incluso cuando se manejan distribuciones, podemos realizar dichas comparaciones aplicando pruebas de bondad de ajuste.

### F.- FORMULACIÓN DE UN PROGRAMA POR COMPUTADORA.

Es importante, (incluso, en la mayoría de las ocasiones indispensable) contar con un sistema computarizado que nos auxilie en la ejecución de la simulación. Este sistema puede desarrollarse con un lenguaje de propósito general, o bien, con un lenguaje de simulación de propósitos especiales. De cualquier forma es deseable que al desarrollar el sistema se considere lo siguiente:

1.- Algoritmo: En el algoritmo, se refleja de manera básica el proceso que sigue el sistema para obtener información

2.- Desarrollo del sistema: El sistema computarizado debe programarse considerando todos los objetivos y restricciones implícitas en el sistema.

3.- Depuración: Al depurar, es posible detectar los errores y omisiones hechas durante la programación.



4.- Datos de entrada: Es la información necesaria que el sistema requiere para su ejecución.

5.- Generación de datos: Al ejecutar el sistema este debe proporcionar resultados para su análisis.

6.- Reporte de salida: Dichos resultados deben ser proporcionados de manera impresa para tener la facilidad de analizarlos bajo distintas situaciones.

## G.- VALIDACIÓN

La validación se establecerá al comparar los datos simulados con los datos históricos conocidos, o bien al definir qué tan exactos son los datos simulados con los datos reales.

## H.- DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS DE SIMULACIÓN.

Entiéndase por diseño del experimento la prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

Una vez generado el modelo a evaluar es importante establecer los pasos a seguir durante la prueba, esto , con el fin de determinar la secuencia lógica que conducirá a los resultados deseados. En este punto deben identificarse dos etapas importantes: En la primera se seleccionan los niveles, factores y combinaciones de niveles, así como el orden de los experimentos. En la segunda debe asegurarse que los resultados queden libres de errores.

## I.- ANÁLISIS DE LOS DATOS SIMULADOS.

En este punto el analista juega un papel muy importante, puesto que el último paso a seguir es el análisis de datos simulados. Es valido auxiliarse de personas que cuenten con experiencia en el sistema que se está simulando ya que se considera que el análisis de los datos simulados es aún más difícil que el de los datos reales, puesto que ahora se tienen que formar deducciones a partir de éstos, y tener una buena interpretación de los resultados.

A continuación ilustraremos los pasos anteriores con el siguiente diagrama de flujo. Fig. 1

**Diagrama de flujo del diseño de un experimento de simulación.**

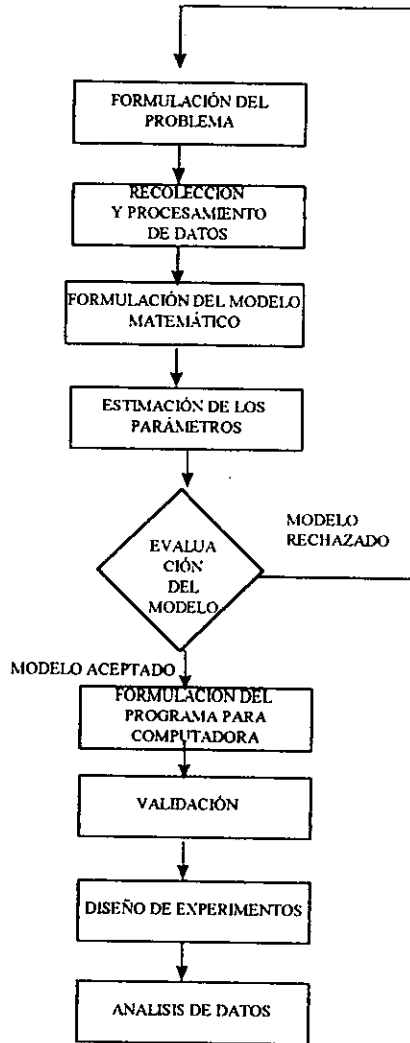


Fig. 1

## 2.2 EJEMPLOS EN LOS QUE SE HA APLICADO LA SIMULACIÓN

Existen muchas situaciones en las que se puede utilizar satisfactoriamente la simulación; sin embargo, en este trabajo, sólo se mencionarán algunas de ellas.

Casi todas las industrias tienen problemas de planificación y la simulación puede ayudar a resolverlos. Se utiliza más frecuentemente para ayudar a la dirección en los casos en que el problema no se presta a soluciones rutinarias. Puesto que la simulación proporciona soluciones, en vez de resolver prácticamente los problemas, aquellos métodos que conducen a una solución directa deben utilizarse siempre que sea posible.

La amplitud del uso de la simulación se ilustra a continuación con la exposición de ejemplos de tipo industrial.

1.- Las instalaciones de un distribuidor de petróleo estaban tan sobrecargadas, que los camiones-cisterna de los clientes frecuentemente tenían que esperar media hora para cargar gasolina o petróleo. Los clientes se quejaban de esta larga espera. La dirección del servicio pensó en resolver el problema construyendo instalaciones adicionales de carga, consistentes en depósitos, bombas y mangueras.

El problema primordial radicaba en determinar cuántos andenes de carga nuevos había que construir. Se creó un modelo de simulación que comprendía instalaciones, llegadas de camiones, colas de espera y el proceso de carga. Tras probar las diversas soluciones posibles, se determinó que las colas de espera podían reducirse considerablemente aumentando la velocidad de bombeo del combustible a los camiones-cisterna. La investigación demostró que resultaba menos costoso instalar bombas de mayor capacidad, que construir las instalaciones adicionales que se habían propuesto en un principio.

2.- Una compañía de servicio telefónico necesitaba un segundo garaje para alojar los camiones que habían de atender las llamadas de demanda y servicio en el sector cubierto por una de las centrales de la compañía. Quería situar el garaje en un emplazamiento tal, que se redujese al mínimo el tiempo de desplazamiento de los camiones a cualquier punto comprendido en todo el sector de servicio. Como primera medida y durante un periodo de varios meses, se llevó un registro de la frecuencia y localización de las llamadas de servicio en un mapa cuadrulado del sector cubierto por la central.

Se creó un modelo para que el emplazamiento del garaje adicional pudiera trasladarse a cualquier zona cuadrulada del mapa. Después se probó el modelo a fin de determinar el emplazamiento óptimo de este segundo garaje, siguiéndose el criterio de que el mejor emplazamiento sería aquel en el cual dos instalaciones pudieran encargarse de todas las llamadas de servicio del sector en el menor espacio

de tiempo posible. Además, también se examinó el modelo para comprobar su adaptabilidad a la ampliación de las futuras demandas de servicio telefónico.

Como resultado de la simulación, se propuso y se acordó una recomendación sobre el lugar de emplazamiento del segundo garaje. La dirección utilizó el resultado de la simulación como argumento justificativo de la elección.

3.- Un fabricante importante simuló un sistema de inventario ya existente, como medio para valorar un nuevo programa experimental del inventario que se estaba instalando. La decisión de instalar el programa experimental se tomó antes de que se pensara en el empleo de la simulación. El programa de inventario simulado, en el que se incorporaban las reglas convencionales de decisión, se puso en ejecución simultáneamente con el programa experimental, utilizando los mismos datos de entrada.

Además de suponer un medio eficaz de calibrar y medir el resultado del programa experimental, la simulación, inesperadamente, permitió descubrir cierto número de errores lógicos, que habían pasado desapercibidos en el método convencional de programación del ordenador para la gestión del inventario, método que casualmente estaba aún en vigor en los almacenes auxiliares. Aún siendo relativamente eleva el costo total de este programa de simulación, debido a que se habían llevado a cabo al mismo tiempo que el programa experimental, se amortizaron los gastos en un año aproximadamente, y ésto condujo a varios estudios adicionales importantes de esquemas alternativos de decisión.

En una empresa dedicada a la venta del calzado la simulación puede ser aplicada en diferentes problemas. Puede aplicarse para estimar el número de cajas necesarias para dar mejor servicio al cliente, reduciendo el tiempo de espera a un costo mínimo, o bien, puede determinarse cuántos servidores se requieren para reducir el tiempo de espera y surtido al cliente. También puede simularse el reacondo de calzado en las bodegas que ayude a minimizar el tiempo de respuesta.

En el proceso de producción puede utilizarse la simulación para saber, de qué manera puede distribuirse a la gente de acuerdo a su capacidad para ejecutar sus procesos de producción en un tiempo adecuado.

De esta manera se observa que la simulación puede ser aplicada en cualquier área.

## 2.3 LENGUAJES DE SIMULACIÓN

En la actualidad el mercado cuenta con una gran variedad de lenguajes de simulación. En caso de que se decida comprar alguno, no hay que olvidar que cada uno cuenta con características propias y que hay que buscar el lenguaje que mejor se ajuste a nuestro modelo.

El usar lenguajes generales da origen a varias dificultades para poder programar un estudio de simulación, es por eso que se han creado una serie de SLP ( Simulation Program ) que son específicos para diferentes tipos de problemas, algunos de ellos son: GPSS, GPSS II, SIMSCRIPT, GASP, SIMPAC, DYNAMO y SIMULATE.

A continuación se describirá en forma breve algunas de las características de los SLP que se encuentran en el mercado, así como sus características.

### GPSS (General Purpose Simulation System)

Desarrollado por: Geoffrey Gordon (IBM)

Versiones actualizadas: GPSS I, GPSS II, GPSS III, GPSS 360, GPSS IV

Este tipo de lenguaje está relacionado con problemas de colas. Por ejemplo: el de una empresa dedicada a la venta donde existe determinado número de cajas o bien en una tienda de calzado donde el cliente tiene que solicitar un calzado el cual entre más clientes haya, mayor será el tiempo de surtido.

Por lo general este lenguaje se adapta a cualquier tipo de computadora.

### SIMSCRIPT

Desarrollado por: H.M. Markowitz, H.W. Karr y B. Hausner.

Versiones Actualizadas: SIMSCRIPT I, SIMSCRIPT 1.5, SIMSCRIPT II, SIMSCRIPT II.5, C- SIMSCRIPT

En este lenguaje se emplean los conceptos de entidad, atributo, conjunto, estado y evento. Una entidad será el número de objetos descritos en los parámetros, denominados atributos, los conjuntos son colecciones de entidades individuales, los eventos serán los puntos en donde el tiempo cambia.

Se han realizado estudios en las áreas de logística, en industrias, medicina y en sistemas de computadoras.

Este lenguaje puede ser aprendido en 30 ó 40 horas, ayudando a la estructuración del punto de vista del sistema que se simula, además tiene la ventaja de velocidad de ejecución.

### GASP (General Activity Simulation Program)

Desarrollado por: Philip J. Kiviat

Versiones Actualizadas: GASP II, GASP IV, GASP PLUS-FORTRAN, PL/I.

Este lenguaje está escrito en FORTRAN y por esto es posible utilizarlo en cualquier compilador FORTRAN, está constituido por 23 subrutinas y por funciones FORTRAN.

Existe dentro del GASP un conjunto de subrutinas unidas por un programa llamado GASP EXECUTE que es el que asegura que los eventos ocurran en el orden correcto del tiempo simulado, esto se logra por medio del proceso de planeación. Las subrutinas del GASP son similares a las GASP II y SIMSCRIPT pues también realiza generaciones de muestras al azar por medio de distribuciones uniformes, normales, Poisson y logarítmicas.

El GASP tiene como característica la detección de errores por medio de muestreo automático de las variables y del programa, las condiciones para la detección de errores y depuración, el rastreo selectivo del flujo del programa y de vaciado programado de todas las variables del sistema. Generalmente el GASP ha sido utilizado en la industria del acero, por ejemplo: Simulación en las nuevas técnicas de acero, Simulación de la nueva capacidad de una sección de vía de ferrocarril, Simulación del departamento de hornos de aceración ( dar al hierro las propiedades del acero), etc..

### DINAMO

Desarrollado por Phyllis Fox y Alexander L. Pugh

Este lenguaje de simulación es importante principalmente dentro de las empresas ya que ha sido utilizado para simular sistemas económicos de gran escala

### SIMULATE

Desarrollado por: Charles C. Holt, este lenguaje determina los parámetros críticos en la estabilidad y las variables más importantes de los modelos econométricos en gran escala. Analizando primeramente el modelo en

bloques recursivos de ecuaciones y después resuelve los sistemas lineales por medio de inversión de matrices y los sistemas no lineales por métodos iterativos.

#### GSP (General Simulation Program)

Usado por primera vez por el Dr. K. D. Tocher en Inglaterra, está orientado principalmente hacia problemas de plantas manufactureras, en donde se emplean los términos de planta, máquina, colección de máquinas, etc..

De este lenguaje se derivan tres lenguajes de simulación, el ESP, CSL Y MONTECOD.

ESP consta de un conjunto de procedimientos en ALGOL y utiliza rutinas para sortear y distribuir el almacenamiento en forma dinámica.

CSL (Control an Simulation Lenguaje), tiene ciertas características similares con el SIMSCRIPT. Sus proposiciones tienen que traducirse a FORTRAN, usando la misma terminología (conjunto, entidad, expresiones aritméticas, etiqueta para las proposiciones y nombres simbólicos para las localidades de memoria). Este lenguaje está orientado hacia problemas de líneas de espera y planeación industrial.

MONTECOD que fue escrito para la computadora Ferranti Pegasus I, utiliza menos tiempo para la ejecución del sistema en computadora que el GSP.

En muchas ocasiones, dependiendo de las características del sistema, se hace necesario implementar el modelo de simulación en un programa desarrollado en un lenguaje de propósito general, ya que puede adaptarse de mejor manera a los requerimientos del usuario y pueden incluirse todas las restricciones que influyen en el sistema. En este proyecto, la limitante fue el manejo de grandes cantidades de información, y fue necesario desarrollar un sistema adaptado para manejar bases de datos, realizando procesos en un tiempo mínimo.

## 2.4 MÉTODO DE MONTECARLO

El Método de Montecarlo es un medio para simular una situación real que implique elementos probabilísticos. Es utilizado para determinar probabilidades complejas así como estimar beneficios esperados en vez de utilizar un análisis teórico.

El Método de Montecarlo ha presentado una aplicación mayor en problemas de inventario, organización de operaciones en el tiempo, publicidad, asignación de recursos, así como en planeación a largo plazo. En estos casos, el método es una técnica simple que no requiere de fórmulas, sólo de una tabla de números aleatorios o una computadora. Sin embargo, hay que aclarar que requiere de distribuciones de probabilidad, técnicas de muestreo y toma de decisiones para dar soluciones a sistemas complejos.

Se llama comúnmente "Método de Montecarlo" al procedimiento de cálculo donde se emplean muestras artificiales de distribuciones probabilísticas simulando a través de las mismas, un fenómeno real con gran aproximación.

E. Chacón<sup>4</sup> explica: "El Método de Montecarlo consiste en la sustitución del estudio de un proceso físico o matemático, por el de un modelo estocástico artificial; es decir, que por este método se pueden tratar problemas que son determinísticos por medio de muestras aleatorias; también, por medio de los dígitos pseudoaleatorios generados por un computador, se pueden estudiar problemas probabilísticos".

En 1908 el famoso estadista Student uso el Método de Montecarlo para estimar el coeficiente de correlación en su distribución  $t$ .

Se considera como fecha de nacimiento del Método de Montecarlo el año de 1949 en el que apareció el artículo titulado "The Monte Carlo Method". El término Montecarlo se introdujo por Von Neumann y Ulam durante la segunda guerra mundial como una palabra código para el trabajo secreto en los Alamos. Fue sugerida por los casinos de juego en la ciudad de Montecarlo en Mónaco. Así, el Método de Montecarlo se aplicó a problemas relacionados con la bomba atómica. El trabajo incluyó simulación directa del comportamiento de la difusión aleatoria de neutrones en material fisionable. Poco después los métodos Montecarlo se utilizaron para evaluar integrales multidimensionales complejas y para resolver algunas ecuaciones integrales, que ocurrían en física y que no tenían solución analítica.

<sup>4</sup> E. Chacón, "Investigación Operativa: Método de Montecarlo", Boletín de Estudios Económicos, Universidad Comercial de Deusto, Vol. XII, núm. 43, Bilbao.



Es curioso que la base teórica del método era bien conocida desde hace mucho tiempo, es más, algunos problemas de la estadística se resolvían a veces empleando las muestras aleatorias, o sea, aplicando de hecho el Método de Montecarlo. Sin embargo, hasta la aparición de las máquinas calculadoras electrónicas, este método no encontraba aplicaciones suficientemente amplias ya que la simulación a mano, de variables aleatorias constituye un proceso muy laborioso.

Para entender la forma en que trabaja el Método de Montecarlo consideremos un ejemplo sencillo. Supongamos que debemos calcular el área de una figura plana  $S$ . Esta puede ser una figura plana arbitraria con una frontera curvilínea, definida gráfica o analíticamente y compuesta de uno o varios pedazos. Supongamos que se trata de la superficie representada en la Fig. 2

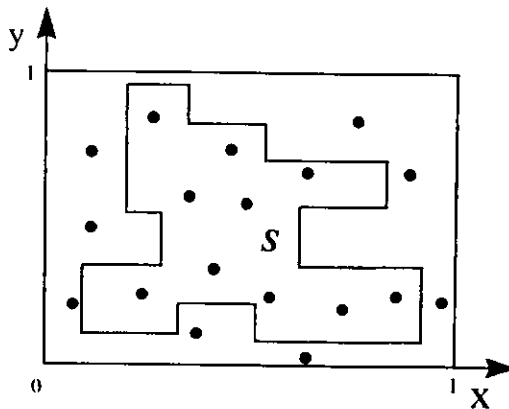


Fig. 2

y supongamos que toda la figura está comprendida dentro de un cuadro de dimensión 1.

Tomemos en el cuadro un número  $N$  de puntos aleatorios. Sea  $N'$  el número de puntos que aparecen dentro de  $S$ . Por razones geométricas sabemos que el área de  $S$  es igual aproximadamente a la razón  $N' / N$ . Cuanto mayor sea  $N$  tanto mayor será la exactitud de esta estimación.

El algoritmo de Montecarlo tienen una estructura muy sencilla. Como regla se elabora un programa para la realización de una prueba aleatoria (En el ejemplo de la fig. 2 hay que escoger un punto aleatorio en el cuadro y comprobar si pertenece o no a  $S$ ). Después, esta prueba se repite  $N$  veces de modo que cada experimento sea

independiente de los restantes y se toma la media de los resultados de todos los experimentos.

## 2.5 GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS

Para poder generar un experimento de simulación se debe contar con una fuente de números aleatorios. El método que genere dicha fuente debe reproducir datos continuos o discretos.

Considerando que los pares pedidos por talla son cantidades enteras finitas se debe trabajar con una distribución discreta.

Sabiendo que una distribución de probabilidad es discreta, cuando la variable  $X$  con dicha distribución, puede tomar un conjunto discreto de valores  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , con probabilidades respectivas  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , donde  $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$

En nuestro caso,  $n$  es el número de tallas en que se fabrica un modelo,  $X_n$  es la demanda en cada una de la tallas y  $P_n$  es la frecuencia relativa obtenida de la demanda.

### PROPIEDADES PARA GENERAR NÚMEROS ALEATORIOS UNIFORMES

Antes de analizar métodos para diseñar generadores de números aleatorios se definirán las propiedades convenientes que debe poseer un generador de números aleatorios. Hay que tomar en cuenta que dichas propiedades están en función de un programa de computadora.

Suponemos que la serie que produce el generador de números aleatorios sigue una distribución uniforme, además que el programa generador de Números Aleatorios produce números aceptables para la aplicación.

Por lo tanto sólo nos queda definir las propiedades que esperamos tenga el programa generador de números aleatorios.

1. Debe generar un número en el menor tiempo posible, debido a que esto es sólo un proceso de la simulación y no debe consumir mucho tiempo.
2. El programa debe ser breve. Es decir no debe requerir grandes cantidades de almacenamiento de núcleos.

3. Debe tener un periodo largo. El periodo de un generador de números aleatorios es una medida de cantidad de números que se generan antes de que aparezca la misma secuencia de números. Cuando comienza a reaparecer la misma secuencia de números, se dice que el generador comienza a degenerar.

4. Puesto que podemos desear duplicar el experimento varias veces el generador debe poder reproducir las mismas series de números que se desee. Por otra parte, debe tener capacidad de producir, un conjunto o una serie de números claramente distintos.

5. El generador debe ser de naturaleza no degenerativa. La degeneración significa que el generador produce continuamente el mismo número. Si este es el caso el programa debe poder hacer correcciones y seguir adelante.

En resumen podemos decir que **un generador de números aleatorios debe ser un programa breve y rápido que produzca una larga secuencia de números aleatorios antes de comenzar a reciclarse.**

Es importante tomar en cuenta que si sólo se requieren cinco números aleatorios para un experimento, es mucho más económico leerlos en archivos de datos, además, si un generador dado de números aleatorios llega a generar perfectamente 30 números aleatorios antes de reciclarse (o sea, si tiene un periodo de 30 números) y sólo necesitamos 20 para nuestro experimento, ese generador será apropiado para nuestros fines. No es útil tener un periodo de varios miles de términos, cuando sólo vayan a emplearse 20 para el experimento.

## **2.6 MÉTODOS EXISTENTES PARA LA GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS.**

Existen varios métodos a utilizar para la generación de números aleatorios de los cuales sólo mencionaremos cuatro.

- 1. Métodos Manuales**
- 2. Tablas de Biblioteca**
- 3. Métodos de computadoras Analógicas**
- 4. Métodos de Computadora Digital**

**1.- Métodos Manuales:** Se considera el método más simple pero igual es el menos práctico, ya que resulta muy lento para su uso general. Ejemplos: Lanzamientos de monedas o dados, empleo de barajas y ruletas.

**2.- Tablas de Biblioteca:** Son tablas de bibliotecas de números aleatorios (A million Random Digits, Rand Corporation). La desventaja que presenta este método es que no se puede realizar con rapidez y también se pueden tener problemas que requieren más números aleatorios de los que se han publicado.

**3.- Métodos de Computadoras Analógicas:** Los números aleatorios de la Corporación Rand fueron generados por una computadora analógica. Estos métodos dependen de ciertos procesos físicos aleatorios (comportamiento de una corriente eléctrica). Este método es más rápido que los métodos manuales o tablas de biblioteca. La desventaja de este método es que genera sucesiones de números aleatorios no reproducibles.

**4.- Computadoras Digitales:** En la utilización de computadoras digitales Tocher ha sugerido tres métodos para la generación de números aleatorios. :

a) **Provisión externa:** Consiste en grabar las tablas de números aleatorios (tablas del rand) en un archivo de sistema de computadora digital, con el propósito de tratar los números como datos de entrada para un determinado problema.

b) **Generación Interna por medio de Procesos Físicos Aleatorios:** De los procesos aleatorios que se emplean para generar dígitos con este método, se incluyen el decaimiento de los materiales radiactivos y el ruido térmico en un circuito de válvulas electrónicas. La desventaja de este método es que los resultados no se pueden reproducir, por lo que no es posible comprobar los cálculos efectuados.

c) **Generación Interna por medio de una relación de recurrencia:** Este método se refiere a la generación de los números Pseudoaleatorios (Lehmer lo define como: una noción vaga que encierra la idea de una sucesión en la cual cada término es impredecible para la persona ajena al problema, cuyos dígitos se someten a cierto número de pruebas, tradicionales a los estadísticos y dependen en cierta forma al uso que se le dará a la sucesión) por medio de una transformación indefinidamente continuada, aplicada a un grupo de números elegidos arbitrariamente.

Existen otros métodos para generar números aleatorios los cuales deben generarse como procedimientos desarrollados por el usuario.

El primer método propuesto para la generación de números aleatorios, se conoce como técnica del " Cuadrado Medio " , propuesto por Von Neumann y Metrópolis en 1946. En este método cada número sucesivo se genera tomando los  $n$  dígitos centrales del cuadrado del número anterior de  $n$  dígitos.

Ejemplo:

$$239^2 = 712^2 = 694^2 = 163^2 = 656^2 = 033^2 = 108^2 = 166^2 = 755^2$$

La desventaja de este método, es que tiende a degenerar con rapidez (al cabo de 20 términos), además, depende de su valor inicial.

Ejemplo:

Deseamos generar números de 4 dígitos y que el n-ésimo número generado sea 3,500. Tomemos en cuenta la secuencia que sigue:

$$r_n^2 = 3500^2 = 12250000$$

$$r_{n+1} = 2500$$

$$r_{n+1}^2 = 2500^2 = 625000$$

$$r_{n+1} = 2500$$

Obsérvese que se ha llegado a una condición degenerada, por lo tanto, es necesario comprobar la serie de números tal y como se genera para evitar este caso.

Otro método de generación de números aleatorios más conocidos es el **método congruencial mixto** y el **método congruencial multiplicativo**. Los métodos congruenciales generan una secuencia de números pseudoaleatorios en la cual el próximo número pseudoaleatorio es determinado a partir del último número generado. Estos métodos fueron propuestos inicialmente por Lehmer en 1940. Ambos métodos utilizan una función recursiva similar, lo que hace la diferencia entre ambos, es el valor asignado a una constante. Con  $c=0$  se denomina **método congruencial mixto** y con  $c \neq 0$  se denomina **método congruencial multiplicativo**.

## MÉTODO CONGRUENCIAL MIXTO

Relación de recurrencia:

$$x_{n+1} = (ax_n + c) \bmod m$$

$$x_0 = \text{semilla}$$

$$a = \text{multiplicador}$$

$$c = \text{cte\_aditiva}$$

$$x_0 > 0, a > 0, c > 0$$

$$m = \text{mod}(m > x_0, m > a, m > c)$$

Los valores posibles de  $x_{n+1}$  son  $0, 1, 2, \dots, m-1$ , es decir,  $m$  representa el número posible de valores diferentes que pueden ser generados.

Para poder definir un periodo, hay que tomar en cuenta que este depende de los valores asignados a los parámetros  $a, c, x_0, m$ , es decir, se requiere seleccionar valores adecuados para estos parámetros con el fin de que el generador tenga periodo completo. Para poder lograr esto, se han establecido algunas reglas para la selección de los valores de los parámetros.

### A) Selección de $m$ .

Seleccionar  $m$  de modo que sea un número primo lo más grande posible, y a su vez debe cumplir con :

$p$  = base del sistema (binario, decimal, etc.)

$d$  = número de bits que tiene una palabra

Al seleccionar  $m$  como  $p^d$  facilitaría el cálculo ya que solo se corre el punto binario o decimal a la izquierda ( $u_n = x_n/m$ ). La desventaja es que los últimos dígitos del número pseudoaleatorio generado no se comportan en forma aleatoria.

### B) Selección de $a$

El valor de  $a$  debe ser entero impar y no debe ser divisible por 3 o 5; y para poder establecer un periodo completo se debe seleccionar bajo el siguiente criterio.

$$(a - 1) \bmod b = 0 \quad \text{si } b \text{ es un factor de } m$$

generalmente

$a = 2^t + 1$  sistema binario  $k \geq 2$

$a = 10^t + 1$  sistema decimal  $k \geq 2$

### C) Selección de c.

El valor de c debe ser entero impar y relativamente primo a m para obtener los resultados deseados.

### D) Selección de $X_0$ .

Este parámetro no representa influencia alguna sobre las propiedades estadísticas de las sucesiones, pero no por esto deja de ser importante ya que este parámetro representa la semilla para la generación de números aleatorios.

## MÉTODO CONGRUENCIAL MULTIPLICATIVO

Este método genera el último número pseudoaleatorio de acuerdo a la siguiente relación de recurrencia.

$$x_{i+1} \equiv a x_i \pmod{m}$$

De igual forma que el método anterior debe haber una selección adecuada de los parámetros  $a, X_0$  y  $m$  para asegurar un periodo máximo en las sucesiones generadas.

Los valores de los parámetros dependen del sistema en que se trabaje. Los valores serán distintos para el sistema binario o para el sistema decimal.

En una computadora binaria se considera que m es alguna potencia de 2, mientras que en las computadoras decimales, se hace m igual a alguna potencia de 10. En máquinas binarias el periodo máximo es  $m/4$ , donde  $m = 2^b$  ( $b > 2$ ) y se logra con  $X_0$  impar y  $a = 200t \pm z$  para  $t = 1, 2, 3, \dots$  y para  $z = 3, 11, 19, 21, 27, 29, 37, 53, 59, 61, 67, 69, 77, 83, 91$

En una máquina decimal, con  $m = 10^d$  ( $d > 3$ ) y un periodo máximo de  $m/20$  y se logra con  $X_0$  no divisible entre 2 o 5.

### 3. ANÁLISIS Y SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

#### 3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El caso a analizar, tiene una característica especial. Puesto que se trata de ventas por catálogo, la demanda no está sujeta a la disponibilidad del producto, lo que en la mayoría de los casos provoca multiplicidad de la demanda de cada par no disponible, ya que en estos casos el cliente solicita varias veces al día durante varios días de la semana el mismo par de calzado.

De esta manera el primer punto a definir fue el determinar que porcentaje de negados se tomarían en cuenta para formar una demanda a nivel talla. Inicialmente, se propuso un porcentaje fijo del 80% de los negados, sin embargo, al analizar la situación real se ha observado que mientras más bajo es el negado, este es más real (es decir no se ha multiplicado) y de manera inversa, mientras más alto es el negado, este es menos real (se multiplica de manera indeterminada), por no saber cuantas veces cada cliente ha solicitado más de una vez cada par de zapatos que necesita. Por lo tanto, se requiere un factor de credibilidad de negados que al aplicarse disminuya los negados de manera adecuada, con el fin de obtener una demanda ajustada, ya que el negado afecta directamente la demanda (la cual se forma sumando la VENTA más los NEGADOS).

Entonces, como el porcentaje que representa el negado respecto de la demanda resulta mayor conforme el negado se acerca a la demanda e inversamente este porcentaje es menor conforme el negado tiende a cero, el complemento  $[(1-N/D)=V/D]$  resulta ideal para ajustar los negados, y con esto obtener una **Demanda Ajustada** por un factor empírico (más adecuada que la original). Pero esto aún tiene un inconveniente: cuando los negados son más cercanos a la demanda el factor de ajuste tiende a cero, lo cual resulta imposible puesto que estos negados surgen básicamente de una demanda. Por esto, se ha determinado que el porcentaje de ajuste mínimo a aplicar será del 35% esto apoyado en la hipótesis de que en estos casos por lo menos 1/3 parte de la demanda es real. Esto se obtuvo después de analizar que al aplicar un 100% en la demanda en periodos pasados se observó que al no contar con inventario en alguna de las tallas, el incremento en la demanda era muy alto, y al momento de contar con inventario suficiente la demanda llegaba a descender en un 50%, 60% o más.

Se ilustra esto con dos casos:



Venta (V), Negado (N), Demanda(D), Negado Ajustado (NA), Demanda Ajustada (DA), Factor de ajuste (FA)

Caso 1:

$$V=300 \quad N=30 \quad D=330$$

$$N/D=30/330 = 0.09$$

$$1-N/D=1-0.09=0.91 > .35 \Rightarrow FA=0.91$$

$$NA=FA*N=.91*30=27.30 \approx 27$$

$$DA=V+NA=300+27=327$$

En este caso el tamaño relativo de los negados respecto de la demanda es muy pequeño (9%) por lo que la demanda ajustada DA es muy cercana a la demanda registrada D.

Caso 2:

$$V=100 \quad N=200 \quad D=300$$

$$N/D=200/300 = 0.66$$

$$1-N/D=1-0.66=.34 < .35 \Rightarrow FA=0.35$$

$$NA=FA*N=.35*200=70$$

$$DA=V+NA=100+70=170$$

En este caso, los negados son relativamente altos respecto de la demanda (66%) por lo cual se tiene que hacer un ajuste mayor en los negados y la demanda ajustada DA resulta mucho menor que la demanda registrada D.

Cabe mencionar que este ajuste debe hacerse por cada talla ya que es factible contar con calzado de algunas tallas y de otras no.

Por ejemplo, Tomando como referencia los siguientes datos. Se puede observar el efecto del negado en la talla 22.5 (tabla 1)

**CÁLCULO DE LA DEMANDA AJUSTADA**

Talla	21.5	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5	26.0	26.5	Total
Ventas	20	23	3	53	67	24	29	9	13	1	3	245
Negados			99		6							105
Demanda	20	23	102	53	73	24	29	9	13	1	3	350
Dema_ajus	20	23	38	53	73	24	29	9	13	1	3	288

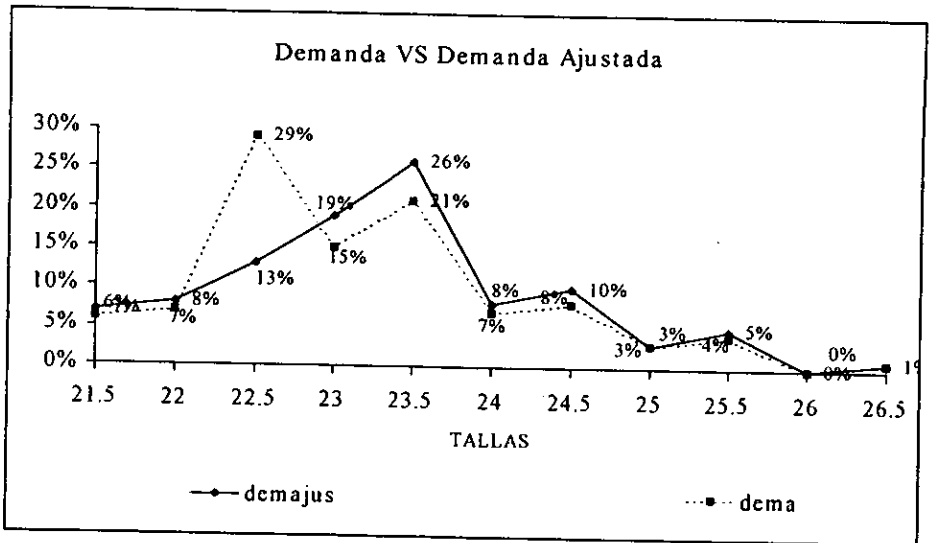
Tabla I

Factor = Venta / Demanda =  $3/102 = .03 \approx .35$

Cuando el factor es menor de .35 se le asignará el valor de .35

Demanda ajustada = Factor \* Negado + Venta =  $.35 * 99 + 3 = 38$

Esto lo podemos observar en la gráfica 1, al obtener distribuciones de la **demanda real y la Demanda Ajustada.**

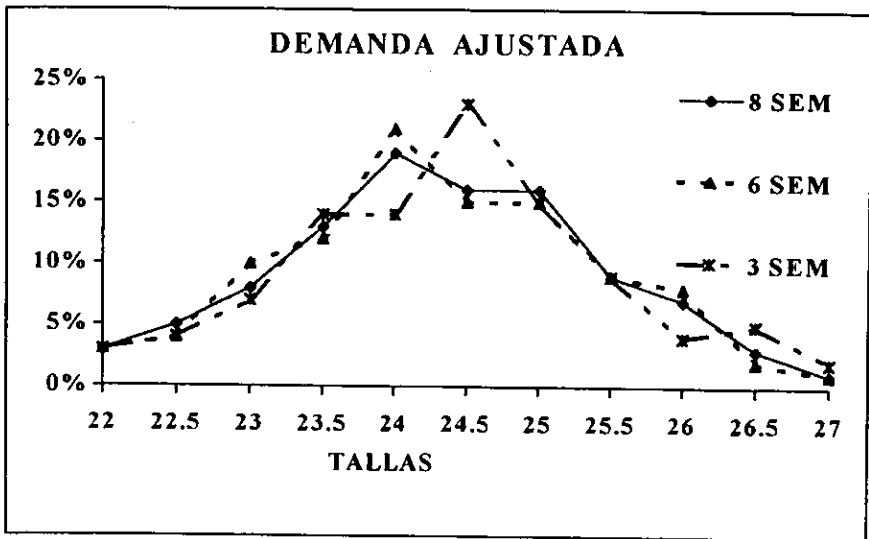


Gráfica. 1

Ahora bien, se ha considerado analizar las distribuciones de la demanda ajustada acumulada por talla de seis semanas, básicamente por dos razones:

- a.- Al manejar información acumulada se obtiene información más consistente y las variaciones atípicas se minimizan, como puede observarse en la gráfica 2, en la que se presenta el comportamiento acumulado de una ,seis y ocho semanas.
- b.- El tiempo promedio de respuesta del fabricante a un pedido es de seis semanas y se espera que las distribuciones la demanda no presenten variaciones significativas de un periodo a otro.

COMPORTAMIENTO ACUMULADO DE SEIS SEMANAS



Gráfica 2

Una vez generada la distribución se verificará que las frecuencias relativas sean mayor a cero en todas las tallas, de no ser así se asignará el valor .01 a la talla correspondiente, con el propósito de tener disponible por lo menos el 1% de calzado en tallas de baja demanda. También debe verificarse que la suma de frecuencias relativas sea igual al 1, de no ser así se ajustará restando o sumando .01 a las frecuencias relativas mayores.

Una vez establecida la distribución discreta de la demanda por tallas, se calculará la distribución de probabilidad acumulada, la cual se tomará como base para la simulación. De esta manera, aplicando la teoría del Método de Montecarlo se procede a la generación de números aleatorios uniformes, ubicándolos en el rango correspondiente de la distribución acumulada de frecuencias. Como puede observarse en la Tabla 2.

**FRECUENCIAS OBSERVADAS DE LA DEMANDA AJUSTADA POR TALLA**

Talla	Frec. Obs. Dem. Ajustada	Frec. Relativa.	Frec. Acum. Relativa	Rangos de ubi- cación de los #aleatorios
22	105	0.03	0.03	.00 - .03
22.5	149	0.04	0.07	.04 - .07
23	338	0.10	0.17	.08 - .17
23.5	440	0.12	0.29	.18- .29
24.	706	0.21	0.50	.30 - .50
24.5	522	0.15	0.65	.51 - 65
25	525	0.15	0.80	.66 - .80
25.5	320	0.09	0.89	.81 - .89
26	296	0.08	0.97	.90- .97
26.5	84	0.02	0.99	.98 - .99
27.0	44	0.01	1.00	1.0 - 1.0
Total	3529	1.00		

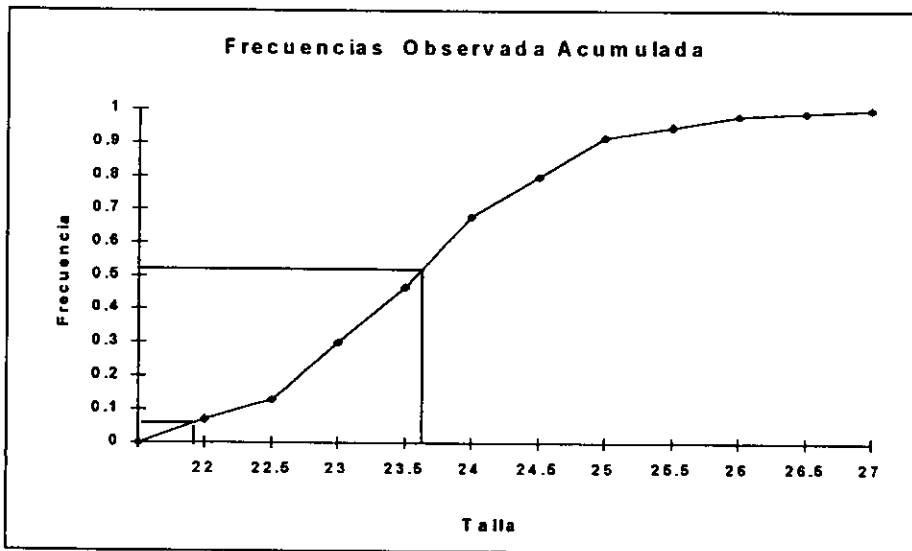
Tabla 2.

### 3.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para aplicar la simulación, se tomará la distribución acumulada de la demanda por tallas. El tamaño de la muestra será igual a la demanda total de seis semanas para poder aplicar pruebas de bondad de ajuste al comparar la demanda real y la simulada con tamaños de muestra iguales.

Una vez conocido el tamaño de la muestra a simular, se procede a la generación de números aleatorios uniformes, los cuales aplicando el método de Montecarlo, se ubican en un rango de la frecuencia relativa acumulada de la demanda ajustada observada, obteniendo con esto la demanda de un par de zapatos.

En la gráfica 3 se puede observar la forma en que se aplica el Método de Montecarlo.



Gráfica 3

Al generar un número aleatorio uniforme, se ubica el rango en el que se incrementará la demanda simulada. Así, al generar  $n$  números aleatorios uniformes se puede determinar la demanda (frecuencia) simulada en cada talla y con esto determinar una función de distribución de la demanda simulada.

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos al aplicar la simulación en la tabla 3.

**FRECUENCIAS OBSERVADAS DE LA DEMANDA AJUSTADA POR  
TALLA Y FRECUENCIAS GENERADAS SIMULADAS.**

Talla	Frec. Obs. Dem. Ajustada	Frec. Simulada
22	105	106
22.5	149	141
23	338	353
23.5	440	423
24.	706	706
24.5	522	565
25	525	529
25.5	320	318
26	296	282
26.5	84	71
27.0	44	35
Total	3529	3529

Tabla 3.

### 3.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

Una vez realizada la simulación es necesario probar estadísticamente la hipótesis de que el conjunto de datos simulados no difieren significativamente de aquellos que se esperan a partir de la distribución de la demanda ajustada. Por esto, se consideran las pruebas de bondad de ajuste, con las cuales se pueden determinar si existen variaciones importantes entre los datos simulados obtenidos y los datos reales. En caso de encontrar diferencias significativas, se debe realizar una nueva simulación tantas veces como sea necesario, hasta encontrar que no existen diferencias significativas.

Una de las pruebas de bondad de ajuste es la: ji-cuadrada ( $\chi^2$ ), propuesta inicialmente por Karl Pearson en 1903, y desarrollada por, Sir Ronald Fisher quien publicó en 1924 la tabla de valores críticos que se usan en la actualidad.

La segunda prueba de bondad de ajuste ampliamente utilizada es la prueba de Kolmogorov y Smirnov.

Ambas pruebas se emplean para probar el grado de concordancia entre la distribución de un conjunto de datos empíricos y alguna distribución determinada.

Para aplicar las pruebas de bondad de ajuste se calcula un estadístico de prueba que se comparará con un valor establecido en tablas, tomando en cuenta el nivel de confianza que se desea manejar.

Si el estadístico de pruebas es menor al obtenido en tablas puede aceptarse la hipótesis, de que no existen diferencias significativas en la forma que se encuentran distribuidas la demanda observada y la demanda simulada, y por consiguiente las distribuciones observada y simulada son similares.

Si el tamaño de la muestra es grande la prueba  $\chi^2$  es probablemente preferible. Por otro lado, para muestras muy pequeñas la prueba  $\chi^2$  no es del todo aplicable ya que se pierde cierta potencia. Para estos casos debe usarse la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Cuando el tamaño de la muestra es lo suficientemente pequeño de modo que tengamos que combinar clases adyacentes a fin de usar la prueba  $\chi^2$ .

Ahora bien, considerando que la información tomada es de seis semanas, se ha decidido eliminar todos aquellos casos en los que la demanda acumulada sea menor a 100, ya que se consideran poco significativos, por lo tanto la prueba a aplicar será la prueba  $\chi^2$  (ji - cuadrada)



En esta prueba además del nivel de significancia deben considerarse los grados de libertad para poder determinar el valor del estadístico en tablas que se comparará con el estadístico calculado.

Al usar la prueba de bondad de ajuste  $\chi^2$ , deben considerarse los siguientes puntos :

1. Las frecuencias relativas o porcentajes no pueden usarse, es decir, debemos usar conteos de números o frecuencias reales.
2. Las *frecuencias esperadas* para cada intervalo de clase deben ser equivalentes a 5 o más, si no es así, entonces deben agruparse las clases o intervalos adyacentes.
3. Los grados de libertad están dados por  $v = k - 1 - m$ , donde  $v =$  grados de libertad,  $k =$  número de clases o intervalos, y  $m =$  número de datos empíricos o de muestras de parámetros de la población necesarios para calcular las frecuencias esperadas.

En nuestro caso,  $k$  se determina por la cantidad de tallas con demanda (ajustada o simulada) mayor a 5, y como no se estimó ningún parámetro, el valor de  $m$  es cero. Así, los grados de libertad están dados por  $v = k - 1$ .

Si  $\chi^2 = 0$ , entonces no habrá diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas. Mientras más grande sea el valor de  $\chi^2$  mayor

será la diferencia entre lo observado y esperado. Si  $\chi^2 > 0$ , se debe

comparar el valor calculado  $\sum \frac{f(o-e)^2}{fe}$  con los datos en tablas  $\chi^2$ . En la práctica, la hipótesis nula,  $H_0$ , está determinada como que no existe diferencia significativa entre la distribución de frecuencia observada y la distribución esperada.

Es decir, si  $\chi^2$  (valor calculado)  $>$   $\chi^2_\alpha$  (valor en tablas), se llega a la conclusión que las frecuencias observadas difieren significativamente de las frecuencias esperadas, rechazando así la hipótesis nula.

No hay que olvidar que entre menos diferencias significativas se obtengan se determinará un mejor modelo de simulación.

Así, establecemos como  $H_0$  que no hay diferencia significativa entre los datos observados y aquellos que genera la simulación con el Método de Montecarlo.

Definiendo las frecuencias de la siguiente manera:

Frecuencia observada = Frecuencias simuladas

Frecuencia Esperada = Frecuencias observadas

Al analizar los datos simulados (observados) y reales (esperados) de la Tabla 4, se observa que no hay evidencia suficiente para concluir que los datos simulados difieren significativamente de los datos reales. Debido a que el estadístico calculado es menor al estadístico en tablas ( $\chi^2 = 9.734 < \chi^2_{\alpha} = 18.31$ ). Con 10 grados de libertad, al nivel de confianza del 95%.

TABLA COMPARATIVA DE FRECUENCIAS OBSERVADAS Y FRECUENCIAS ESPERADAS

Frec. Relat. Simulada	Frecc. Relat. Dem. Ajust	Frec obser	Frec esp	$\sum \frac{f(o-e)^2}{fe}$
0.03	0.03	106	105	0.007
0.04	0.04	141	149	0.413
0.1	0.1	353	338	0.657
0.12	0.12	423	440	0.620
0.2	0.21	706	706	0.000
0.16	0.15	565	522	3.483
0.15	0.15	529	525	0.036
0.09	0.09	318	320	0.018
0.08	0.08	282	296	0.632
0.02	0.02	71	84	2.144
0.01	0.01	35	44	1.724
1	1	3529	3529	9.734
			Alfa	18.31

Tabla 4

### 3.4 CRITERIO DE AJUSTE

Es importante contar con una distribución que se esté actualizando constantemente. Como ya se ha mencionado anteriormente la demanda a nivel talla es variable de una semana a otra, por lo cual es recomendable que el proceso de simulación se realice semana a semana; de ser así, es importante aplicar pruebas de ajuste para determinar si hay diferencias significativas de un periodo a otro (entiéndase por periodo la simulación generada en una semana X), en caso de encontrar diferencias significativas se deduce que en una semana la demanda fue diferente a lo esperado en una o mas tallas. Por lo tanto se hace necesario generar una nueva distribución con la que se pueda estimar de manera más adecuada la distribución de la demanda futura.

Como primera opción se pensó en cambiar la distribución del periodo anterior por la distribución de la demanda simulada. Sin embargo las variaciones de la demanda aleatoria en el último periodo provocaban inestabilidad y variaciones representativas en los pedidos, lo cual se consideró como un riesgo para la empresa. Entonces se buscó contar con una distribución estable, en la que se representara el comportamiento histórico (buscando estabilidad) y el comportamiento actual (con el que se reflejará la tendencia de la demanda).

Para poder definir cual sería el criterio de ajuste a aplicar se analizaron tres opciones. La primera consistió en aplicar un peso del 50% a la distribución histórica y un 50 % a la distribución de la demanda simulada. Al aplicar este criterio no se logró obtener una estabilidad debido a que el porcentaje aplicado a las variaciones obtenidas fue muy alto. La segunda opción consistió en aplicar un peso del 80% a la distribución histórica y un 20% a la distribución de la demanda simulada; al aplicar este criterio se observó un ajuste adecuado a largo plazo aunque la variación de la demanda siguiera siendo representativa el peso asignado al último periodo permitía obtener una estabilidad mayor, solo que era en un plazo menor comparado con la primera opción, lo cual seguía siendo una desventaja. Por lo tanto se decidió trabajar con el tercer criterio el cual consistió en aplicar un peso del 70% a la distribución histórica y un 30% a la distribución de la demanda simulada, logrando que la distribución resultante diera mayor estabilidad en los pedidos fincados en un pedido menor.

Para definir el criterio de ajuste del 70-30, fue necesario consultar a los analistas de compras quienes por experiencia consideraron que al introducir muchas variaciones en las distribuciones se causaría inestabilidad en los inventarios, determinando que la mejor manera de hacer un ajuste sería aplicando el cambio de la tendencia en forma conservadora es decir, asignando un peso del 70% a la historia de la demanda.

Para ilustrar lo anterior, se presentan dos casos:

- 1.- No hay diferencias
- 2.- Si hay diferencias.

Los periodos se definen de la siguiente manera:

Periodo 1: Distribución obtenida en la semana X (DISTRIB)

Periodo 2: Distribución simulada en la semana X+1

- No hay diferencias

Para realizar el siguiente ejemplo (Tabla 5) se tomó como referencia un modelo que no presentó variaciones en la demanda a nivel talla en varios periodos.

TABLA COMPARATIVA ENTRE DATOS SIMULADOS DE DOS PERIODOS

Frec Obs Rel. Sim (PERIODO 2)	Frec. Obs. Rel. Distrib ( PERIODO 1 )	Frec obser	Frec esp	$\sum \frac{f(o-e)^2}{fe}$
0.04	0.04	141	141	0.000
0.07	0.07	247	247	0.000
0.10	0.10	353	353	0.000
0.20	0.20	706	706	0.000
0.18	0.18	635	635	0.000
0.18	0.18	635	635	0.000
0.10	0.10	353	353	0.000
0.07	0.07	247	247	0.000
0.03	0.03	106	106	0.000
0.02	0.02	71	71	0.000
0.01		35	35	0.000
1.00		3529	3529	0.000
				00.00

Tabla 5

Dado que el estadístico calculado  $\chi^2$  es igual a 0. Se acepta la hipótesis nula. Es decir no hay diferencia significativa entre la distribución simulada del último periodo generado y la distribución con la cual se esta

trabajando actualmente ( DISTRIB ). Por lo tanto no se realizará ninguna modificación en la distribución.

**1.- Si hay diferencias**

En la siguiente tabla (Tabla 6) se puede observar un modelo que presentó diferencias significativas entre la distribución utilizada para realizar las compras a nivel talla de un periodo y la distribución generada un periodo siguiente.

Frec. Relat. Simulada (PERIODO 2)	Frecc. Relat. Distrib (PERIODO 1)	Frec Obser	Frec Esp	$\sum \frac{f(o-e)^2}{fe}$	DRISTRIBUCIÓN Ajustada FINAL
0.03	0.04	106	141	8.823	0.04
0.04	0.05	141	176	7.058	0.05
0.1	0.09	353	318	3.921	0.09
0.12	0.14	423	494	10.083	0.13
0.2	0.17	706	600	18.683	0.17
0.16	0.14	565	494	10.083	0.15
0.15	0.16	529	565	2.206	0.16
0.09	0.09	318	318	0.000	0.09
0.08	0.08	282	282	0.000	0.08
0.02	0.03	71	106	11.763	0.03
0.01	0.01	35	35	0.000	0.01
1.00	1.00	3529	3529	72.619	1.00
				Alfa	19.68

Tabla 6

Como puede observarse, al encontrar diferencias significativas en dos periodos se genera otra distribución aplicando el criterio de ajuste del 70% (Dist. Hist.)-30% (Dist Sim.), lo cual nos permite trabajar con distribuciones más cercanas a la demanda en un futuro próximo.



La siguiente tabla presenta un resumen del procedimiento a seguir para la actualización de las distribuciones por varios periodos de una sola alternativa. A la vez se puede observar la estabilidad obtenida de un periodo a otro en las distribuciones.

**DISTRIBUCIONES GENERADAS POR PERIODO**

Tipo	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	TOTAL	SEM. CAMB
<b>Distrib PERIODO 1</b>	0.04	0.05	0.08	0.14	0.17	0.17	0.15	0.08	0.06	0.05	0.01	1.00	22
Simulada PERIODO 2	0.03	0.06	0.09	0.13	0.19	0.15	0.15	0.09	0.08	0.02	0.01	1.00	
<b>Distrib PERIODO 1</b>	0.04	0.05	0.08	0.14	0.18	0.16	0.15	0.08	0.07	0.04	0.01	1.00	23
Simulada PERIODO 2	0.03	0.05	0.08	0.13	0.18	0.16	0.16	0.09	0.09	0.02	0.01	1.00	
<b>Distrib PERIODO 1</b>	0.04	0.05	0.08	0.14	0.18	0.16	0.15	0.08	0.08	0.03	0.01	1.00	24
Simulada PERIODO 2	0.03	0.04	0.08	0.14	0.21	0.15	0.15	0.09	0.08	0.02	0.01	1.00	
<b>Distrib PERIODO 1</b>	0.04	0.05	0.08	0.14	0.18	0.16	0.15	0.08	0.08	0.03	0.01	1.00	25
Simulada PERIODO 2	0.03	0.04	0.09	0.13	0.22	0.14	0.14	0.10	0.08	0.02	0.01	1.00	
<b>Distrib PERIODO 1</b>	0.04	0.05	0.09	0.14	0.17	0.14	0.16	0.09	0.08	0.03	0.01	1.00	26
Simulada PERIODO 2	0.03	0.04	0.10	0.12	0.20	0.16	0.15	0.09	0.08	0.02	0.01	1.00	
<b>Distrib</b>	0.04	0.05	0.09	0.13	0.17	0.15	0.16	0.09	0.08	0.03	0.01	1.00	

Tabla 7

La estabilidad obtenida en las distribuciones no solo beneficia a la empresa dedicada a la venta de calzado para cubrir sus inventarios adecuadamente, sino al fabricante productor del calzado, ya que le da la oportunidad de protegerse con el material necesario para la producción del mismo.

Es importante contar con una distribución que se este actualizando constantemente. Como ya se ha mencionado anteriormente la demanda a nivel talla es variable de una semana a otra, por lo cual es recomendable que el proceso de simulación se realice semana a semana.

## CONCLUSIONES

El análisis de las distribuciones de la demanda, ha sido de gran importancia no sólo para la empresa de calzado que la utiliza para realizar sus pedidos a nivel talla, sino también para el fabricante que tiene que entregar en un tiempo determinado el pedido realizado por el analista.

Para la empresa, el pronosticar las distribuciones de la demanda en un periodo dado a futuro le ha permitido reducir su nivel de negados (necesidades no satisfechas por el cliente), y a su vez mejorar su calidad del inventario; en cuanto al fabricante, se ha logrado realizar pedidos estables a nivel talla ocasionando que no se requieran más hormas por talla de las que se tienen, si los pedidos por talla incrementan, se requieren procesos extras para cubrir los pedidos realizados. Por lo cual el pronóstico de las distribuciones ha permitido que el fabricante reduzca sus tiempos de producción. al protegerse con hormas suficientes para cubrir sus entregas en el tiempo solicitado.

El logro de generar una distribución que presentará el comportamiento de la demanda a futuro, fue sin duda un ejemplo más de la importancia y eficiencia que presenta la utilización de técnicas de simulación. Con esto se cumple el objetivo planteado en un principio de "Obtener una distribución de demanda que ayude al control de inventarios con el apoyo de métodos de simulación (Método de Montecarlo)".

Aunque en un principio, la aceptación del proyecto se dio con escepticismo por parte de los usuarios, dado el poco conocimiento que tenían de las técnicas aplicadas, fue posible convencerlos al momento de mejorar los resultados en poco tiempo y aunque no se ha conseguido obtener la solución óptima, puesto que en el sistema existen otras variables no consideradas en este proyecto (por ejemplo, el tiempo de respuesta del fabricante, tendencias de moda, etc.), ha sido posible reducir los costos por almacenamiento y mejorar la calidad del inventario.

La experiencia más agradable durante la elaboración del presente trabajo, ha sido ver que las personas confían en la capacidad del egresado de la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación para la aplicación de la simulación en situaciones reales.

***APENDICE A***

A continuación se presenta, el algoritmo y la codificación utilizada para la elaboración del siguiente trabajo.

### ALGORITMO

- 1-Acumular la demanda ajustada de las últimas seis semanas.
- 2.Calcular la distribución por tallas de la demanda ajustada acumulada
  - 2.1 Verificar que la frecuencia relativa (Fr.), Sea mayor a cero en todos los casos; de no ser así, se asigna 0.01 a estos.
  - 2.2 Verificar que la suma Fr. Sea igual a 1, de no ser así se ajusta restando o sumando .01 a las Fr. Mayores.
- 3.Calcular la distribución acumulada relativa, la cual será la utilizada para aplicar el Método de Montecarlo.
- 4.Generar los números aleatorios correspondientes.
- 5.Aplicar el Método de Montecarlo, para obtener la distribución simulada.
- 6.Aplicar a esta nueva distribución las consideraciones de los puntos 2.1 y 2.2
- 7.Calcular diferencia significativas (aplicando la prueba de bondad de ajuste ji-cuadrada) Comparando los datos simulados con los datos reales.
  - 7.1 En caso de encontrar diferencias significativas regresar al paso 4
- 8.Aplicar la prueba de bondad de ajuste ji-cuadrada, para comparar el último periodo generado, con el periodo anterior.
  - 8.1 En caso de obtener diferencias significativas aplicar criterio de ajuste.

## CODIFICACIÓN

Programación realizada en Foxpro

```

procedure procesar
do quemodelos
select MODELOS
count to tot1
if tot1>0
  ejecuta=.t.
  do pdemajusa with ejecuta
  if ejecuta
    do pdistrib with demajusa,dist01
    do pdistacu
    do cierra with "SIMULADO"
    use &simulado in 0 alias SIMULADO
    select SIMULADO
    zap
    use
    tot1=1
    veces=1
    do while tot1>0 and veces<=10
      do mntcarlo
      do pdiferen with demajusa,simulado,1
      do cierra with "DEMAJUSA"
      use &demajusa in 0 alias DEMAJUSA
      do cierra with "SIMULADO"
      use &simulado in 0 alias SIMULADO order tag mcm
      select DEMAJUSA
      set relation to modelo+color+material into SIMULADO
      if len(trim(filtro))>0
        filtro2=filtro+" and diferencia"
      else
        filtro2="diferencia"
      endif
      set filter to &filtro2

```

```

totl=0
go top
if veces<=10
  veces=veces+1
  do while not(eof())
    if not(eof("SIMULADO"))
      select SIMULADO
      delete
      select DEMAJUSA
      totl=totl+1
    endif
    skip
  enddo
  use
  select SIMULADO
  pack
  use
else
  wait "La simulación de algunas alternativas no ha sido satisfactoria" window
nowait
  endif
enddo
if veces<=10
  do pdistrib with simulado,distsim
  do pdiferen2 with distrib,simulado
  do pajuste with distrib,distsim,historia
endif
endif
else
  wait "No existen modelos con las condiciones especificadas" window
endif
return

procedure abrearch
do cierra with "MODELOS"
use &modelos in 0 alias MODELOS order tag mcm
return

procedure cierrarch
if used("MODELOS")

```

```

select MODELOS
if ejecuta
  replace all lastchange with sem_fin
endif
use
endif
return

```

```

procedure quemodelos
select MODELOS
replace all procesar with .f.
do case
case tipos=1
  replace all procesar with .t.
  filtro=""
case tipos=2
  replace all procesar with .t. for proveedor=PROVEDOR.clave
  filtro="(proveedor=PROVEDOR.clave)"
case tipos=3
  replace all procesar with .t. for val(left(modelo,2))=altura
  filtro="(val(left(modelo,2))=altura)"
case tipos=4
  replace all procesar with .t. for modelo=num_mod(m_modelo)
  filtro="(val(modelo)=m_modelo)"
case tipos=5
  replace all procesar with .t. for modelo=num_mod(m_modelo) and color=m_color
and material=m_material
  filtro="(val(modelo)=m_modelo and color=m_color and material=m_material)"
endcase
set filter to procesar and lastchange<>sem_fin
return

```

```

procedure pdemajusa
parameters ejecuta
faltan=0
do cierra with "DEMAJUSA"
use &demajusa in 0 alias DEMAJUSA order tag mcm
select DEMAJUSA
zap
faltan=0

```



```

for sem=0 to num_sems-1
  nomarch=ruta1+"\\DEMANDA\\sem"+numsem(sem_fin-
sem,t.)+"_"+numanio(sem_fin-sem,anio_fin,t.)+".DBF"
  if file(nomarch)
    use &nomarch in 0 alias SEMANAL
    index on modelo+color+material tag mcm unique
    select SEMANAL
    if len(trim(filtro))>0
      set filter to &filtro
    endif
    set relation to modelo+color+material into DEMAJUSA additive
    set relation to modelo+color+material into MODELOS additive
    do while not(eof())
      if not(eof("MODELOS"))
        scatter memvar
        select MODELOS
        scatter memvar fields proveedor,talla_ini,talla_fin,catalogo,acuerdo,medios
        select DEMAJUSA
        if eof()
          append blank
          gather memvar fields modelo,color,material,proveedor,talla_ini,talla_fin,catalogo,
acuerdo,medios
          replace diferencia with .t.
        endif
        for t=1 to val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
          talla_1="talla"+numstr(t,t.)
          talla_2="m.talla"+numstr(t,f.)
          replace &talla_1 with &talla_1+&talla_2, total with total+&talla_2
        endfor
        select SEMANAL
      endif
      skip
    enddo
    use
  else
    wait "No existe el archivo "+right(nomarch,11) window
    faltan=faltan+1
  endif
endfor
ejecuta=.t.

```

```

if faltan >= int(num_sems/2)
  ejecuta=.f.
endif
select DEMAJUSA
use
return ejecuta

```

```

procedure pdistrib
parameters origen, destino

```

```

  min_dema=100
  use &destino in 0 alias DESTINO
  use &origen in 0 alias ORIGEN
  select DESTINO
  zap
  select ORIGEN
  do while not(eof())
    if total >= min_dema
      scatter memvar
      select DESTINO
      append blank
      gather memvar fields

```

```

proveedor, modelo, color, material, talla_ini, talla_fin, medios, catalogo, acuerdo
  salto=1
  if not(medios)
    salto=2
  endif
  t=1
  do while t <= val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
    vtalla1="talla"+numstr(t,t.)
    vtalla2="m."+vtalla1
    if &vtalla2 > 0
      replace &vtalla1 with round(&vtalla2/m.total,2)
    endif
    if &vtalla1 = 0.00
      replace &vtalla1 with 0.01
    endif
    replace total with total+&vtalla1
    t=t+salto
  enddo

```

```

do ajuste1
do ajuste2
select ORIGEN
endif
skip
enddo
use
select DESTINO
use
return

```

```

procedure ajuste1
if total <> 1.00
factor=1/total
replace total with 0.00
salto=1
if not(medios)
salto=2
endif
t=1
do while t<=val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
vtalla="talla"+numstr(t,t.)
replace &vtalla with round(&vtalla*factor,2)
replace total with total+&vtalla
t=t+salto
enddo
endif
return

```

```

procedure ajuste2
if total <> 1.00
dimension a_ajuste(16,2)
store 0 to a_ajuste
salto=1
if not(medios)
salto=2
endif
for t=1 to int((val(talla_fin)-val(talla_ini))/salto)+1
if medios
vtalla="talla"+numstr(t,t.)

```

```

else
  vtalla="talla"+numstr(salto*t-1,.t)
endif
a_ajuste(t,1)=&vtalla
a_ajuste(t,2)=t
a_ajuste(16,1)=a_ajuste(16,1)+a_ajuste(t,1)
endfor
=asort(a_ajuste,1,int((val(talla_fin)-val(talla_ini))/salto)+1,1)
ajuste=0.01
if a_ajuste(16,1)>1.00
  ajuste=-0.01
endif
veces=1
do while a_ajuste(16,1)<>1.00 and veces<100
  t=1
  do while a_ajuste(16,1)<>1.00 and t<=int((val(talla_fin)-val(talla_ini))/salto)+1
    a_ajuste(t,1)=a_ajuste(t,1)+ajuste
    a_ajuste(16,1)=a_ajuste(16,1)+ajuste
    t=t+1
  enddo
  veces=veces+1
enddo
=asort(a_ajuste,2,int((val(talla_fin)-val(talla_ini))/salto)+1,1)
replace total with 0
for t=1 to int((val(talla_fin)-val(talla_ini))/salto)+1
  if medios
    vtalla="talla"+numstr(a_ajuste(t,2),.t)
  else
    vtalla="talla"+numstr(a_ajuste(t,2)*salto-1,.t)
  endif
  replace &vtalla with a_ajuste(t,1)
  replace total with total+&vtalla
endfor
endif
return

procedure pdistacu
use &dist_acu in 0 alias DIST_ACU
select DIST_ACU
zap

```

```

append from &dist01
set filter to medios
for t=2 to 15
  t1="talla"+numstr(t,.t)
  t2="talla"+numstr(t-1,.t)
  replace all &t1 with &t1+&t2 for val(talla_fin)-val(talla_ini)+1>=t
endfor
set filter to not(medios)
for t=3 to 15
  if not(par(t))
    t1="talla"+numstr(t,.t)
    t2="talla"+numstr(t-2,.t)
    replace all &t1 with &t1+&t2 for val(talla_fin)-val(talla_ini)+1>=t
  endif
endfor
set filter to
use
return

```

```

function par
parameters numero
if 2*int(numero/2)=numero
  espar=.t.
else
  espar=.f.
endif
return espar

```

```

procedure mntcarlo
do cierra with "SIMULADO"
use &simulado in 0 alias SIMULADO order tag mcm
do cierra with "DIST_ACU"
use &dist_acu in 0 alias DIST_ACU order tag mcm
do cierra with "DEMAJUSA"
use &demajusa in 0 alias DEMAJUSA order tag mcm
dimension adistacu(15,2)
select DIST_ACU
select DEMAJUSA
if len(trim(filtro))>0
  filtro2=filtro+" and diferencia"

```

```

else
  filtro2="diferencia"
endif
set filter to &filtro2
go top
set relation to modelo+color+material into DIST_ACU additive
set relation to modelo+color+material into SIMULADO additive
do while not(eof())
  if not(eof("DIST_ACU"))
    scatter memvar proveedor,modelo,color,material,talla_ini,talla_fin,medios,
catalogo,acuerdo
    cuantos=total
    store 0 to adistacu
    salto=1
    if not(medios)
      salto=2
    endif
    for t=1 to 15
      talla="m.talla"+numstr(t,.t)
      &talla=0
    endfor
    t=1
    posicion=1
    select DIST_ACU
    do while t<=val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
      talla="talla"+numstr(t,.t)
      adistacu[posicion,1]=&talla
      adistacu[posicion,2]=t
      posicion=posicion+1
      t=t+salto
    enddo
    m.total=0
    =rand(int(-cuantos*rand()))
    for numeros=1 to cuantos
      t=encual(rand())
      if t>0
        talla="m.talla"+numstr(adistacu[t,2],.t)
        &talla=&talla+1
        m.total=m.total+1
      endif
    endfor
  endif
enddo

```

```
endfor
select SIMULADO
if eof()
  append blank
  gather memvar fields
provedor,modelo,color,material,talla_ini,talla_fin,medios,catalogo, acuerdo,total
endif
gather memvar fields like talla*
select DEMAJUSA
endif
skip
enddo
use
select DIST_ACU
use
select SIMULADO
use
return
```

```
function encual
parameters numero
t=1
encontro=.f.
do while adistacu[t,1]<=1.00 and not(encontro)
  if adistacu[t,1]<numero
    t=t+1
  else
    encontro=.t.
  endif
enddo
if not(encontro)
  t=0
endif
return t
```

```
procedure pdiferen
parameters real,simulada,factor

do cierra with "SIMULADA"
use &simulada in 0 alias SIMULADA
```

```

do cierra with "REAL"
use &real in 0 alias REAL
dimension a_real(15),a_simu(15)
store 0 to a_real, a_simu
temporal=ruta1+"\\TEMPORAL.DBF"
select SIMULADA
index on modelo+color+material tag mcm
select REAL
if len(trim(filtro))>0
    filtro2=filtro+" and diferencia"
else
    filtro2="diferencia"
endif
set filter to &filtro2
set relation to modelo+color+material into SIMULADA
do while not(eof())
    if not(eof("SIMULADA"))
        store 0 to a_real,a_simu
        tt=1
        for t=1 to val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
            talla="talla"+numstr(t,t)
            a_real[tt]=a_real[tt]+(REAL.&talla)*factor
            a_simu[tt]=a_simu[tt]+(SIMULADA.&talla)*factor
            if a_real[tt]>=5 and a_simu[tt]>=5 and t<val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
                tt=tt+1
            endif
        endfor
        do while a_real[tt]<5 or a_simu[tt]<5
            a_real[tt-1]=a_real[tt-1]+a_real[tt]
            a_simu[tt-1]=a_simu[tt-1]+a_simu[tt]
            a_real[tt]=0
            a_simu[tt]=0
            tt=tt-1
        enddo
        *****
        * CALCULO DE ESTADÍSTICOS DE PRUEBA *
        *****
        est_t=estadistico(tt-1)
        est_r=0
        for t=1 to tt
    
```



```
est_r=est_r+(a_real[t]-a_simu[t])*(a_real[t]-a_simu[t])/a_real[t]
endfor
select REAL
if est_r>est_t
  replace diferencia with .t.
else
  replace diferencia with .f.
endif
endif
skip
enddo
use
select SIMULADA
use
return

procedure pdiferen2
parameters esperada,observada

do cierra with "OBSERVADA"
use &observada in 0 alias OBSERVADA
do cierra with "ESPERADA"
use &esperada in 0 alias ESPERADA
dimension a_espe(15),a_obse(15)
store 0 to a_espe, a_obse
temporal=ruta1+"\TEMPORAL.DBF"
select OBSERVADA
index on modelo+color+material tag mcm
select ESPERADA
set filter to &filtro
set relation to modelo+color+material into OBSERVADA
go top
do while not(eof())
if not(eof("OBSERVADA"))
store 0 to a_espe,a_obse
tt=1
for t=1 to val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
talla="talla"+numstr(t,.t)
a_espe[tt]=a_espe[tt]+(ESPERADA.&talla)*OBSERVADA.total
a_obse[tt]=a_obse[tt]+(OBSERVADA.&talla)
```

```

if a_espe[tt]>=5 and a_obse[tt]>=5 and t<val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
  tt=tt+1
endif
endfor
do while a_espe[tt]<5 or a_obse[tt]<5
  a_espe[tt-1]=a_espe[tt-1]+a_espe[tt]
  a_obse[tt-1]=a_obse[tt-1]+a_obse[tt]
  a_espe[tt]=0
  a_obse[tt]=0
  tt=tt-1
enddo
*****
* CALCULO DE ESTADÍSTICOS DE PRUEBA *
*****
  est_t=estadistico(tt-1)
  est_r=0
  for t=1 to tt
    est_r=est_r+(a_espe[t]-a_obse[t])*(a_espe[t]-a_obse[t])/a_espe[t]
  endfor
  select ESPERADA
  if est_r>est_t
    replace diferencia with .t.
  else
    replace diferencia with .f.
  endif
endif
skip
enddo
use
select OBSERVADA
use
return

function estadistico
parameters gdl
do case
case gdl=0 or gdl=1
  estadis=3.84
case gdl=2
  estadis=5.99

```

```
case gdl=3
  estadis=7.82
case gdl=4
  estadis=9.49
case gdl=5
  estadis=11.07
case gdl=6
  estadis=12.60
case gdl=7
  estadis=14.07
case gdl=8
  estadis=15.51
case gdl=9
  estadis=16.93
case gdl=10
  estadis=18.31
case gdl=11
  estadis=19.68
case gdl=12
  estadis=21.03
case gdl=13
  estadis=22.37
case gdl=14
  estadis=23.69
case gdl=15
  estadis=25.00
endcase
return estadis
```

```
procedure pajuste
  parameters inicial,simulada,historia
```

```
do cierra with "INICIAL"
use &inicial in 0 alias INICIAL order tag mcm
do cierra with "SIMULADA"
use &simulada in 0 alias SIMULADA order tag mcm
do cierra with "HISTORIA"
use &historia in 0 alias HISTORIA
select INICIAL
set relation to modelo+color+material into SIMULADA
```

```

if len(trim(filtro))>0
  filtro2=filtro+" and diferencia"
else
  filtro2="diferencia"
endif
set filter to &filtro2
go top
do while not(eof())
  if not(eof("SIMULADA"))
    scatter memvar
    select HISTORIA
    append blank
    gather memvar
    replace sem_camb with sem_fin
    select INICIAL
    replace sem_camb with sem_fin, total with 0
    for t=1 to val(talla_fin)-val(talla_ini)+1
      talla="talla"+numstr(t,.t)
      replace &talla with round(fact_ajus*&talla+(1-fact_ajus)*SIMULADA.&talla,2)
      replace total with total+&talla
    endfor
    do ajuste1
    do ajuste2
  endif
  skip
enddo
use
select SIMULADA
use
select HISTORIA
use
return

procedure preportes
do cierra with "ACTUAL"
do cierra with "HISTORIA"
do cierra with "SIMULADA"
do cierra with "TALLAS"
distsim =ruta1+"\SIMULA\DISTSIM.DBF"
historia=ruta3+"\DISTHIST.DBF"

```

```

distrib =ruta1+"\DISTRIB.DBF"
use &distrib order tag mcm in 0 alias ACTUAL
use &historia order tag pmcms in 0 alias HISTORIA
use &distsim order tag mcm in 0 alias SIMULADA
use &tallas order tag clave in 0 alias TALLAS
select PROVEDOR
set order to tag clave
select HISTORIA
set filter to sem_camb=sem_fin
set relation to talla_ini into TALLAS additive
set relation to modelo+color+material into SIMULADA additive
set relation to modelo+color+material into ACTUAL additive
set relation to proveedor into PROVEDOR additive
report form ajustdist.frx noconsole to print noejct
select PROVEDOR
set order to tag razon
do cierra with "TALLAS"
do cierra with "SIMULADA"
do cierra with "HISTORIA"
do cierra with "ACTUAL"
return

```

```

function numanio
parameters semana,anio,ceros
do while semana<0
    semana=semana+52
    anio=anio-1
enddo
do while semana>52
    semana=semana-52
    anio=anio+1
enddo
num=numstr(anio,ceros)
return num

```

```

function numsem
parameters semana,ceros
do while semana<0
    semana=semana+52
enddo

```

```
do while semana>52
  semana=semana-52
enddo
num=numstr(semana,ceros)
return num
```

```
function num_mod
  parameters numero
  num=right(str(numero/100000,7,5),5)
return num
```

```
function numstr
  parameters numero,ceros
  if numero<10
    if ceros
      num="0"+str(numero,1)
    else
      num=str(numero,1)
    endif
  else
    num=str(numero,2)
  endif
return num
```

```
procedure cierra
  parameters nomarch
  if used(nomarch)
    select &NOMARCH
    use
  endif
return
```

## BIBLIOGRAFÍA

- Méndez, Silvestre. Problemas Económicos de México, Mc. Graw Hill, 1993
- Thomas H. Naylor, Técnicas de simulación en computadoras, Ed. Limusa, 1994, 390 pp
- Laureano F. Escudero, La simulación en la empresa, Ediciones Deusto, 1973, 325 pp
- J. W. Schmidt , R. E. Taylor. Análisis y simulación de sistemas, Ed. Trillas, 1979, 651 pp
- Geoffrey Gordon, Simulación de sistemas, Ed. Diana, 1980, 344 pp
- Raúl Coss bu, Simulación un enfoque práctico, Ed. Limusa, 1994, 158 pp
- William A., Toma de decisiones en la Administración mediante métodos estadísticos, Ed. Limusa, 1980, 756 pp
- I. M. Sobol, Método de Montecarlo, Ed. Mier, 1976, 79 pp
- Alvarez Luis Javier, Método de Montecarlo, Sociedad Matemática Mexicana , 1995, 51 pp
- Paul G. Hoel Estadística básica para negocios y economía, Ed. Continental, 1993, 594 pp
- R. H. Meyers, Probabilidad y Estadística para ingenieros, Ed. Interamericana, 3ª. Edición, 733 pp
- Murray R. Spiegel, Estadística, Ed. Mc Graw Hill, 1992, 546 pp
- George C. Canavos Probabilidad y estadística, Ed. Mc. Garw Hill , 1986, 651 pp