

7  
2 Eje

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA



## Introducción a la Simulación en Computadoras Digitales

### T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO EN COMPUTACION

p r e s e n t a n :

LUIS CARRERA CARPIZO

CARLOS LOVE CUESTA

JOSE LUIS RODRIGUEZ GUERRA

ANTONIO GENARO TREJO RUIZ

Dir. de Tesis ING. EDEN ALEJANDRO GOMEZ



## **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 está 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.

## INDICE

PAGINA

Prologo.....	1
<b>Capítulo I: Introducción</b>	
Evolución de los Sistemas de Computo.....	3
Antecedentes de lenguajes de Alto Nivel.....	20
Introducción a los Conceptos de Simulación.....	24
<b>Capítulo II: Técnicas de Simulación</b>	
Generación de Números Aleatorios.....	31
Generación de las Variables Estocásticas.....	39
Fenómenos de Espera.....	50
<b>Capítulo III: Desarrollo de Sistemas de Simulación</b>	
Introducción.....	55
Planeación de los Experimentos de Simulación.....	56
Diseño Experimental.....	73
Análisis de Datos.....	81
<b>Capítulo IV: Lenguajes de Simulación</b>	
Lenguajes de Simulación.....	85
Lenguajes no orientados o de propósito General.....	93
Lenguajes orientados de Simulación.....	101
<b>Capítulo V: Simulación de un Sistema Económico</b>	
Marco Económico de la Empresa.....	111
Estructura del Modelo.....	115
<b>Capítulo VI: Simulación Financiera</b>	
Planeación Financiera.....	178
Análisis de riesgo.....	188
Conclusiones.....	203
Bibliografía.....	209

## P R O L O G O

Toda selección es subjetiva, y revela tanto lo seleccionado como a la persona que deliberadamente selecciona. No pretendemos que el presente trabajo, por tanto, sea una recopilación detallada, ni siquiera importante, a los temas de simulación en computadoras digitales. Nuestro propósito, reside únicamente en una breve introducción a personas que como nosotros, han encontrado dificultades tan sólo en el significado mismo de la simulación y sí ésta se amerita como verdadera solución a problemas de la vida real.

Ya que simular se ha convertido en un procedimiento tan común en nuestros días, teniendo como principal herramienta la computadora digital, hemos resuelto por una visión general de este tema, considerando de manera especial algunos puntos mencionados como importantes en los textos que al respecto se refieren.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

## INTRODUCCION

### EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO

Aparecidas en los inicios de la década de los años cincuentas las computadoras constituyen hoy en día uno de los instrumentos que mayor influencia ejerce en todas las formas de actividad humana.

El estudio de su evolución, orientado a la prospección de nuevas tecnologías y formas de aplicación, constituyen actualmente motivo de esfuerzos y dedicación de gobiernos, industrias e institutos de investigación.

En ese estudio se conjugan, tanto los aspectos tecnológicos (que incluyen la microelectrónica y la física del estado sólido) como los matemáticos y los filosóficos (incluyendo la lógica, la lingüística y la teoría de la recursión) y finalmente los aspectos relacionados con los procesos cognoscitivos y de adaptación del hombre y otros organismos vivos. Todos ellos habrán de contribuir a los próximos desarrollos de la computación.

Aunque puede parecer que el desarrollo conceptual de la computación ha llegado a su fin, la realidad es totalmente distinta; nuevas generaciones de computadoras con objetivos más amplios y de mayor trascendencia habrán de venir en las

próximas décadas.

Desde el punto de vista puramente tecnológico, la evolución de la computación es sorprendente y contempla otros aspectos adicionales a los de la electrónica y componentes utilizados, aspectos tales como el uso de dispositivos periféricos y la programación o Software.

Con el desarrollo de la microelectrónica de la nueva tecnología de las comunicaciones y del reconocimiento de formas logradas en la cuarta generación de computadoras, el camino para los robots y la automatización industrial a escala mágica, ha quedado abierto. Los desarrollos actuales de la inteligencia artificial tendrán un efecto importante con este proceso y a su vez se nutrirán del mismo.

En la actual etapa de la cuarta generación, el proceso de acercamiento continuo, las secretarías hacen uso de terminales para redactar oficios y cartas, los jefes tienden a depender cada vez más para comunicarse con sus empleados y consultar bancos de datos financieros; los empleados de hoteles e industrias hacen igualmente uso de ellas, y en las escuelas se convierten en un excelente apoyo para la experimentación y la enseñanza; el nivel de acercamiento es tal que aún los niños hacen uso cotidiano de ellas.

Factores de este fenómeno que habrá de intensificarse en el futuro, son la reducción de costos, la contabilidad y

reducción de requerimientos para su operación y la concepción misma de los equipos de cómputo como instrumento de uso masivo. El desarrollo de nuevos lenguajes interactivos y gráficos ha constituido un factor adicional de este proceso. Como resultado del análisis es posible concluir que la interacción hombre máquina habrá de continuar su crecimiento en las próximas generaciones de computadoras, buscando nuevas formas de acercamiento que hoy día comienzan a delinearse.

La construcción de máquinas con capacidad de inferencia y conservación generalizada y la creación de sistemas de conocimiento como instrumento de uso masivo, constituye hoy en día el objetivo a lograr para la siguiente generación de computadoras.

Otro proceso de desarrollo menos complejo, ha tenido lugar durante los últimos años en el campo de la computación no numérica y constituye últimamente la confirmación de las probabilidades de éxito que habrán de tener los sistemas futuros de comunicación y conocimientos. Se trata de los populares "procesadores de palabras" si son utilizados en forma masiva para la preparación de cartas y documentos técnicos.

Sin lugar a dudas, este proceso de orientación de la computación a las aplicaciones no numéricas representa una tendencia irreversible para el futuro.



Con estas nuevas orientaciones y con un mercado de dimensiones jamás superadas en su magnitud y diversificación, empiezan a definirse en los centros de investigación estadounidense y europeos, los conceptos que darán lugar a la quinta generación de computadoras.

Paralelamente y quizás con un empuje mayor, la industria japonesa desarrolla un proyecto de gran magnitud para poner en operación una nueva generación de computadoras sustancialmente distintas a las existentes en los primeros años de la década de los noventa.

Estas nuevas máquinas habrán de caracterizarse por la utilización de enjambres procesadores microscopios, operando simultáneamente para recibir y clasificar información, por su capacidad básica de inferencia y generación de conocimientos y esquemas generales, a partir de la información particular, así como por su estrecha relación con el hombre.

El sistema de control habrá de utilizar principios ya conocidos hoy en día, pero que solo se usan en experimentos de inteligencia artificial, como los relacionados con las máquinas LIPS y del flujo de datos (Data flow machines)..

Finalmente la importancia de la comunicación entre máquinas y con ello, entre los hombres que las poseen, habrán de delinear en buena medida el futuro de la civilización.

El primer sistema que el hombre usó para representar cantidades fueron sus dedos, y con él, surgió el primer problema de cálculo; la representación de resultados. Este problema fue resuelto representando las cantidades obtenidas, a través de piedras, yescas nudos en cordeles, etc. Esta representación no respondía aún al ideal de comerciante y mercaderes, por lo que éstos empezaron a utilizar mas placas de metal para efectuar sus cálculos. Los egipcios introdujeron un gran avance a través del pergamino o papiro para posteriormente crear, romanos en italianos, los sistemas bancarios y presupuestarios, así como algunos métodos contables.

Otro sistema de cálculo manual fue el ábaco, que a pesar de sus 2000 años de existencia, aún conserva vigencia en varios países orientales. Su origen es desconocido, pero se sabe que surgió en distintas modalidades, durante una misma época y en diversas latitudes. Consta éste básicamente de una serie de hilos paralelos que están sujetos a un bastidor; cada hilo tiene un determinado número de cuentas ó esferas de colores que representan una cantidad. Su valor varía entre uno y otro hilo.

Estos métodos eran obviamente lentos e inexactos y no pudieron satisfacer las crecientes demandas del hombre y del comercio. Este estado de cosas llevó al hombre a desarrollar sistemas mecánicos de cálculo más rápidos que le permitieran liberarse de este problema. El proceso evolutivo puede dividirse en dos estadios principales: el primero en que el hombre trataba de perfeccionar, mediante esquemas mecánicos, la ejecución de operaciones simples de cálculo.

El segundo estadio, ya más avanzado, en el que se crearon y desarrollaron máquinas capaces de ejecutar diversos cálculos en una sola operación mecánica.

Es posible hablar de un tercer estadio en el que se fusionan diversas características electrónicas y los avances mecánicos. En este estadio, las máquinas no se clasifican como computadoras, ni como máquinas mecánicas.

## PRIMER ESTADIO

En éste sólo podemos considerar como materia de estudio a la máquina de escribir que surgió a fin de siglo y que asumió un papel preponderante en la oficina como instrumento de procesamiento, al expeditar y hacer más legibles las relaciones comerciales. Contamos aún con un medio mecánico para la solución de problemas de cálculo que tuvo su inicio en 1642 y que los constituye la máquina de sumar que ideó BLAISE - - PASCAL. El sistema consta de dos series de engranes, conectados en serie y provistos de un diente que corresponde a cada dígito del 0 al 9. La función de los engranes es la de - almacenar números de tal manera que en caso de que uno de - los engranes llegue al dígito 9, el engrane más próximo a la izquierda avance un dígito.

En 1671, LEIBNIZ ideó un mecanismo que ejecutaba multiplicaciones mediante sumas sucesivas.

En 1829, fué creado un sistema de cálculo que podía ha-  
cer cuatro operaciones.

## SEGUNDO ESTADIO

En 1866, WILLIAM SBURROUGHS dió inicio a la producción industrial de máquinas de sumar, alrededor de 1890 aparecieron las primeras máquinas que sumaban e imprimían los resultados, con lo cual dió comienzo el segundo estadio evolutivo en el que las máquinas ejecutaban cálculos y daban indicación de su secuencia mediante una cinta impresa de papel en donde se registraban y almacenaban los datos.

## TERCER ESTADIO

A éste corresponden aquellas máquinas que funcionan con sistemas mecánicos y en cuyos componentes móviles se han adaptado sistemas eléctricos, con lo cual se elevan a la clasificación de máquinas mecánicas.

A medida de los nuevos conocimientos prácticos, el hombre inventó medios que redujeron el trabajo físico y mental, alcanzando la última etapa evolutiva que lo acercó más a su total liberación, esto es, la evolución hacia el computador, capaz de sustituir al cerebro humano en la ejecución de cálculos respectivos, pero incapaz de tomar decisiones autónomas.

## DESARROLLO DE LA COMPUTADORA (HISTORIA)

El desarrollo de la computadora se puede dividir históricamente en cuatro períodos:

PRIMER PERIODO: De creación (1833-1937)

SEGUNDO PERIODO: De desarrollo (1937-1954)

TERCER PERIODO: De implantación (1954-1960)

CUARTO PERIODO: Actual (1960 a la fecha).

### PRIMER PERIODO

Marcado por la aparición de la máquina analítica, creada por CHARLES BABBAGE en 1833. Esta máquina difería completamente de cuanta máquina de cálculo existía entonces. El sueño de Babbage o la locura, como muchos de sus contemporáneos le llamaban; era un dispositivo con unidad de almacenamiento o memoria y una unidad aritmética que podía aceptar instrucciones preparadas anticipadamente.

### SEGUNDO PERIODO

En 1937 y gracias al interés del profesor HOWARD ALKEN, se reanudaron los estudios de Babbage, abandonados desde su muerte acaecida en 1871. El profesor Alken, auxiliado con la ayuda de estudiantes e ingenieros de la Universidad de Harvard terminó el proyecto en 1944, el cual fué conocido

con el nombre de MARK I, el primer computador digital.

En esta máquina, las operaciones internas eran controladas automáticamente mediante redes electromagnéticas y los cálculos aritméticos eran hechos mecánicamente. Entre 1939 y 1946, el Doctor JOHN W MAUCHLY de la Universidad de Pennsylvania perfeccionó, para uso del ejército norteamericano, el primer computador cuyos componentes internos eran completamente electrónicos. Pesaba alrededor de 30 toneladas y los redes fueron sustituidos por tubos al vacío. Llamada ENIAC, esta máquina podía hacer en un día el trabajo que manualmente se llevaba 300 días.

Las instrucciones eran introducidas a través de tableros y botones externos. El desarrollo de nuevos conceptos permitió la construcción de una máquina con programa almacenado que recibió el nombre de EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) y que fue terminada en 1952. El EDVAC se convirtió en el primer computador comercial: el UNIVAC.

### TERCER PERIODO

Con la aplicación comercial práctica que dió la General Electric al computador UNIVAC, tuvo inicio el periodo de implantación del procesamiento electrónico. Durante los seis años que comprenden el periodo de implantación, varias for-

mas adoptaron la computadora; más la máquina era aún considerada un instrumento contable ya que eran pocos los intentos de modificar los procedimientos contables existentes, quedando el potencial de la computadora prácticamente inexplorado.

Al término de este período las computadoras eran más compactas, rápidas y poseían una gran capacidad de almacenamiento y cálculo, gracias al perfeccionamiento de centros magnéticos para el almacenamiento interno, que contrariamente a los tubos al vacío que por su irradiación de calor eran poco durables, dieron lugar a componentes compactos como transistores y diodos.

#### CUARTO PERIODO

La tercera y cuarta generación de computadoras actualmente en uso, se valen de la microelectrónica ó circuitos integrados. Estos circuitos son casi microscópicos, más equivalen a varios transistores: en lugar de cien mil circuitos por pie cuadrado; la tecnología actual hace posible aumentar esta cantidad a 10 millones de circuitos dentro del mismo espacio. La miniaturización de componentes se tradujo en un aumento en la rapidéz y una mejora en el rendimiento; las máquinas actualmente son novecientas veces más rápidas que las existentes en 1950. Un trabajo que entonces requería de una hora, se puede ejecutar hoy en día en tres o cuatro segundos.



La velocidad de las máquinas antiguas se medía en milisegundos (milésimas de segundos); las de la segunda generación en microsegundos (millonésimas de segundo); las de las actuales en nanosegundos (mil millonésimas de segundo).

La cuarta generación, aunque ha aumentado la velocidad de ejecución de las operaciones, se caracteriza principalmente por la optimización de la máquina en relación a los problemas del usuario, así como por la reducción en tamaño físico y el aumento en confiabilidad. La capacidad de almacenamiento también recibió la influencia del desarrollo de la computadora.

La unidad de memoria de los primeros computadores podía almacenar de dos mil a cuatro mil caracteres. En la segunda generación, la capacidad fué ampliada hasta alcanzar algunos millares de caracteres (alrededor de 20 000) y en la actualidad existen capacidades para almacenar cientos de millones de caracteres.

Con todo, más notable aún fué el desarrollo de sistemas externos. Estos dispositivos pueden almacenar datos en discos magnéticos, tambores, tarjetas o cintas, al igual que una biblioteca. Se conectan directamente al procesador central, pudiendo concentrar cantidades enormes de datos, los cuales son empleados a medida que se van necesitando

En 1956, la capacidad máxima en un sistema externo de almacenamiento era de diez millones de caracteres. A finales de 1961, la capacidad se había doblado y en 1962 llegó a cien millones de caracteres. Con la tercera generación hubo un sensible aumento alcanzándose la cifra de cien millones de caracteres.

## COMPUTADORAS DE LA PRIMERA GENERACION

Entrada al mercado:	1950 aproximadamente.
Aplicación principal:	Instrumentos de cálculo.
Tecnología utilizada:	Tubos de vacío. Memoria de cilindro magnético.
Unidades periféricas:	Lectoras y perforadoras de tarjetas y cinta de papel, equipo unitario, etcétera.
Sistema operativo:	No existía.
Lenguajes de programación:	Lenguaje de máquina, ensambladores primitivos.
Alfabeto:	Numérico.
Administración:	Trivial, no se requería.
Aspectos cuantitativos:	M. Central 1000 a 8000 palabras Proceso $10^4$ ops/seg. Precio 100 000 a 2.5 millones EE.UU.
Modelos típicos:	IBM-650, Bendix-G15, Univac SS90 Bull-PT, IBM-709.

## COMPUTADORAS DE LA SEGUNDA GENERACION

Entrada al mercado:	1960 aproximadamente.
Aplicaciones principales:	Proceso de datos. Instrumento de cálculo.
Tecnología utilizada:	Transistores y ferritas.
Unidades periféricas:	Lectoras y perforadoras de tarjetas impresoras y cintas magnéticas.
Sistema operativo:	Rudimentario, controla peri- féricos, inicia y termina tareas.
Lenguajes de programación:	Ensambladores y primeros compiladores (FORTRAN, ALGOL).
Alfabeto:	números y letras, algunos caracteres especiales.
Facilidades adicionales:	Existencia de bibliotecas.
Administración:	Primitiva, planeación de producción con procesos ma- sivos.
Aspectos cuantitativos:	MC 8 000 a 32' 000 palabras Procesadores <sup>5</sup> 10 ops/seg' Precios 10 <sup>5</sup> a 10 <sup>7</sup> EE.UU
Modelos típicos:	CDC-160, IBM-7090, IBM-1401 Burroughs 5500, RCA-305, Bendix G20, CDC-3600, CEC-6600

## COMPUTADORAS DE LA TERCERA GENERACION

Entrada al mercado:	Aproximadamente entre 1968 y 1970
Aplicaciones principales:	Sistema de información.
Tecnología utilizada:	Circuitos integrados(LS) y memoria de películas magnéticas.
Unidades periféricas:	Cintas y discos magnéticos, terminales de video teletipos.
Arquitectura:	Multiprogramación, multiproceso, sistemas de interrupción, optimización de código.
Lenguajes y facilidades de programación.	Lenguajes de alto nivel, COBOL, PL, bases de datos (DMS)
Alfabeto:	Números, letras y caracteres especiales.
Sistema operativo:	Manejo de disco, multiproceso, memoria dinámica, memoria virtual etcétera.
Facilidades adicionales:	Edición y prueba interactiva de Programas.
Administración	Compleja y especializada.
Aspectos cuantitativos:	MC 64 a 256 K palabras. Procesador $10^6$ ops/seg. Memoria secundaria $10^9$ caracteres Rango de precios $5 \times 10^4$ a $10^8$ EE.UU
Modelos típicos:	IBM-360, Burroughs 6700, PDP 10, PDP 11, Univac 1106, CYBER 170.

## COMPUTADORAS DE LA CUARTA GENERACION

Entrada al mercado:	Entre 1977 y 1981.
Aplicaciones principales:	Sistemas de comunicación, sistemas de información para negocios pequeños, uso personal.
Tecnologías utilizadas:	Microelectrónica VLS, memorias-mos (metal oxide sylicates).
Unidades perifericas:	Terminales inteligentes, disco y cintas magnéticas, equipos de graficación, lectores ópticos y digitalizadores.
Arquitectura:	Proceso distribuido, uso de micro procesadores.
Lenguajes y Facilidades de programación.	Bases de datos distribuidas, lenguajes interactivos, descriptivos y gráficos.
Alfabeto:	Irrestringido, mayúsculas y minúsculas, símbolos matemáticos, alfabeto árabe, japonés, etcétera.
Sistema operativo:	Proceso sin interrupción, comunicación entre máquinas, rutinas de recuperación, etcétera.
Facilidades adicionales:	Metáprocesadores, correo electrónico, manejadores de texto.
Administración:	Muy simple para equipos personales Muy complejo para redes de proceso distribuido.
Aspectos cuantitativos:	Memoria central 64 K a $10^7$ caracteres. Procesadores $10^7$ ops/seg. Memoria secundaria $10^{10}$ caracteres Rango de precios $10^3$ a $10^8$ EE.UU.
Modelos típicos grandes:	IBM-4330, Univac 1100 Burroghs B6900, 7 900
Medianos:	Prime 550, MP 3100 VAX
Pequeños:	Apple, TR80, IBM-PC

## ANTECEDENTES DE LENGUAJES DE ALTO NIVEL.

El funcionamiento del sistema interno del computador es tá condicionado a la identificación de las órdenes (instrucciones) que debe ejecutar. Para que ésta interpretación sea posible, es preciso, que el control de la máquina comprenda la secuencia de instrucciones que componen el programa. Por este motivo las instrucciones deben representarse en un lenguaje apropiado.

Este lenguaje comprensible a la computadora se conoce - como LENGUAJE DE FUNCIONAMIENTO INTERNO DE LA MAQUINA ó simplemente LENGUAJE MAQUINA. La preparación de programas en - este lenguaje es sumamente difícil debido a la complejidad - de la codificación; Existe otra dificultad representada por - la rigidez del lenguaje que hace prácticamente imposible toda corrección o modificación que sea necesaria durante el pe ríodo de pruebas del programa.

Para salvar estas dificultades e inconvenientes del len guaje máquina, se creó un lenguaje simbólico, el cual además de dinamizar la programación la hizo rápida, con lo que auto máticamente se elevó la productividad. El lenguaje simbólico usa una anotación compuesta de códigos nemonicos y domicilios simbólicos, en forma de letras y números de fácil nemon zación.

Los lenguajes simbólicos que se crearon fueron clasifi-

cados por niveles de programación.

#### LENGUAJES DE CARGA

#### LENGUAJES DE ALTO NIVEL.

El lenguaje de carga Ensamblador (Assembler) constituyó el primer paso hacia el empleo dinámico de lenguajes simbólicos. Este sin embargo no era un lenguaje fluído; a fin de lograr una codificación en un lenguaje que se aproximara a un máximo a los lenguajes que usa el ser humano, se perfeccionaron los lenguajes de alto nivel, los cuales ofrecen las siguientes ventajas:

- 1.- FACILIDAD DE COMUNICACION: Con pocos conocimientos, cualquier persona puede comprender los programas codificados en lenguajes de este nivel.
- 2.- COMPATIBILIDAD: Los programas pueden ser aceptados por diversos tipos de computadoras.
- 3.- FACILIDAD DE ENTRENAMIENTO: La sencillez de las instrucciones simplifica sensiblemente el entrenamiento personal.
- 4.- RAPIDEZ DE PROGRAMACION: La sencillez de los lenguajes permite al programador desarrollar los programas con mayor rapidez.



5.- MAYOR INDEPENDENCIA ENTRE PROGRAMADOR Y MAQUINA: El programador codifica la instrucción a través de una frase que contiene las informaciones necesarias para que el computador la interprete y ejecute.

Los lenguajes de alto nivel pueden dividirse en dos tipos-orientados hacia procedimientos ó hacia problemas, pero no siempre es posible hacer esta distinción- y los dos tipos se conocen como "lenguajes orientados a problemas (POL)". Cuando se usa correctamente orientado al procedimiento, describe un lenguaje para dar un seguimiento de los diferentes-procedimientos con los cuales se soluciona el problema.

Cuando el lenguaje está orientado hacia problema, el programador lo utiliza para describir el problema y el compilador traduce la descripción a los procedimientos adecuados-para la solución de éste.

La idea de los computadores se atribuye a Grace Hopper jefe de programación de UNIVAC. Su trabajo condujo a dos lenguajes iniciales -FLANMATIC y MATHMATIC. En estos dos lenguajes se utiliza el desarrollo de los dos tipos principales de compiladores: Algebraico y comercial. Puesto que los compiladores se orientan hacia los procedimientos para la solución de problemas, es lógico desarrollar un lenguaje para solucionar problemas formulados en términos matemáticos, y otro para problemas de procesos de datos comerciales.

El desarrollo de los lenguajes compiladores ha sido rápido y ha cuidado la proliferación de otros lenguajes diferentes. - Cada lenguaje consisten en juegos de palabras y símbolos, - además de una serie de reglas para la utilización del vocabulario para definir los procedimientos en la solución de los problemas.

Si cada fabricante desarrollara su propio lenguaje compilador no se hubiera realizado un avance tan notable en los lenguajes orientados a solución de problemas. La ventaja de un compilador estándar es que puedan utilizarlo personas que tengan diferentes tipos de computador. Este intercambio es posible porque el lenguaje está diseñado para expresar soluciones a problemas y es totalmente independiente del computador en el que se va a correr.

La utilización de un lenguaje común estandarizado se ha desarrollado en dos formas -primero por el establecimiento -previo de especificaciones y seguido por la evolución de un lenguaje utilizado extensamente a una forma estandarizada.

Los lenguajes de alto nivel representan un paso importante en la transferencia de parte de la función de programación al mismo computador.

El impedimento principal en el uso de un lenguaje de alto nivel es el mayor tiempo de proceso que toman los programas generados por medio de compiladores. Esta diferencia en

tre los programas escritos por las personas y las desarrolladas por los computadores ha disminuído y se ha incrementado la utilización de los lenguajes de alto nivel.

## INTRODUCCION A LOS CONCEPTOS DE SIMULACION

En la edad de las computadoras la simulación ha tenido un desarrollo muy amplio. Recientemente cuando se empezaron a utilizar computadoras electrónicas digitales de gran velocidad para llevar a cabo experimentos de simulación, esta técnica se ha convertido en una opción experimental de la investigación de operaciones.

Antes de pasar a otras consideraciones definamos lo que entenderemos por Simulación:

Simulación es el proceso de designar un modelo a un sistema real y conducir experimentos con este modelo con el objeto de atender el comportamiento del sistema o de evaluar varias estrategias de su operación.

Sin las computadoras sería difícil realizar la simulación y fuera de la simulación por computadora nosotros estaríamos sin una de nuestros más poderosos y versátiles métodos para resolver problemas.

La simulación práctica es de dos tipos

- a) Discreta
- b) Continua

Cada una es propia de servir a procedimientos de modelos conceptuales, cada una es basada en diferentes áreas de las matemáticas, cada una usa sus propios lenguajes de computación y cada una resuelve diferentes tipos de problemas.

La Simulación Discreta básicamente está relacionada con los sistemas de colas en que el cliente llega delante de un servicio fácil, entonces espera en una línea (cola), si los servicios están ocupados, eventualmente recibe el servicio y finalmente la salida es fácil cuando el servicio es completo.

La Simulación Continúa, en contraste, básicamente trata con los sistemas que continuamente cambian con respecto al tiempo y con dimensiones que no están restringidas para enteros.

En muchos casos que han sido analizados por medio de la investigación de operaciones, se han desarrollado modelos matemáticos que representan a los sistemas reales y cuyo enfoque analítico es muy superior al que se utiliza en la simulación. Sin embargo algunos de éstos casos reales son tan complejos que resultaría sumamente difícil o hasta imposible resolverlos analíticamente y es en este tipo de casos donde es posible utilizar la simulación, que aunque algunas veces resulta costosa porque utiliza mucho tiempo de computadora, en ciertos problemas es el único enfoque práctico que se puede aplicar para llegar a una solución.

La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, los cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos, que describen el comportamiento de un sistema en períodos extensos de tiempo real.

Existen otros tipos de simulaciones aparte de las que se hacen en computadora digital.

La simulación se puede hacer no solamente en la computadora digital sino también en la computadora analógica.

La computadora analógica es un aparato electrónico donde se representan las variedades por medio de voltajes que se procesan por dispositivos electrónicos (amplificadores, potenciómetros, resistencias, etc.) que actúan como operadores matemáticos (integradores, sumadores, etc.) y que se conectan entre sí en un panel de alambrado. Un alambrado es un conjunto de cables que se conectan en la computadora analógica y forman un circuito.

Los resultados de la simulación en una computadora analógica son también voltajes que se pueden convertir en imágenes, usando un osciloscopio o un graficador.

Las ventajas de la computadora analógica son que no hay que elaborar ningún programa y los parámetros se pueden variar en el curso de la solución.

Sus desventajas: no es fácil obtener resultados numéricos directos y ninguno con más de cuatro dígitos.

Cuando un usuario desea utilizar mas de una vez un alambrado, tiene que mantener ocupado un panel y los cables usados en el mismo, lo que es ineficiente porque el equipo es costoso.

En la computadora analógica se simulan por lo general sistemas continuos que se refieren a fenómenos físicos (mecánicos, eléctricos, hidráulicos, etc.).

Debido a las desventajas anteriores surgieron los simuladores digitales que son programas en los cuales se simulan, en la computadora digital, sistemas dinámicos que comparten la facilidad de implementación de la analógica sin tener las desventajas de ésta.

Se puede hacer también simulaciones por medio de modelos físicos tales como maquetas, reproducciones a escala del sistema real.

Entre las razones que justifican utilizar la simulación, se pueden mencionar:

a) El alto costo de experimentar en el mundo real.

Si tenemos que probar el comportamiento de las diferentes alternativas haciendo cambios en el sistema real, éste puede resultar gravemente afectado en caso de ser una alternativa económicamente poco conveniente.

b) La complejidad para describir matemáticamente el sistema. En ocasiones los sistemas reales son tan complejos que es prácticamente imposible establecer un modelo matemático -

analítico que represente adecuadamente a la realidad.

- c) La no existencia de solución para el modelo matemático. Otras veces, aunque si es posible expresar matemáticamente las relaciones que representan el sistema real, las ecuaciones que forman el modelo no tienen solución práctica.

#### VENTAJAS DE LA SIMULACION

- 1) Permite hacer una experimentación controlada con:
  - Consideración de muchos factores
  - Manipulación de muchas unidades individuales
  - Disponibilidad de considerar otras políticas alternativas
  - Poca o nula causa de disturbios en el sistema actual
- 2) Herramienta de entrenamiento efectivo
- 3) Proporciona puntos de vista operacionales
- 4) Ayuda a descubrir algoritmos operacionales
- 5) Ayuda a hacer más efectiva la adición media

**DESVENTAJAS**

- 1.- Muy cara por ocupar recursos costosos y escasos (computación, personal especializado).
- 2.- Requiere computadoras rápidas y de alta capacidad
- 3.- Toma mucho tiempo su desarrollo
- 4.- Puede esconder suposiciones críticas
- 5.- Puede requerir demasiados campos de estudio



CAPITULO II

TECNICAS DE SIMULACION

## TECNICAS DE SIMULACION

## GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS

Antes de describir varios métodos para la generación de números aleatorios o pseudoaleatorios, creemos conveniente explicar algunos de los términos en adelante empleados. Además de algunas consideraciones pertinentes.

VARIABLE ALEATORIA: función de valor real obtenida azarosamente, definida en un espacio muestral determinado.

VALOR DE LA VARIABLE ALEATORIA: resultado de un experimento en lo particular.

VALOR UNIFORME DE LA VARIANTE ALEATORIA: valor de la variable aleatoria en un intervalo unitario, o simplemente número aleatorio.

FUNCIÓN DE DENSIDAD: espacio probabilístico de la variable aleatoria.

Podemos sugerir como dos los métodos para producir números aleatorios en computadoras digitales:

Provisión externa, y generación interna de números por una relación de recurrencia.

Provisión externa.

Se conocen como números pseudoaleatorios, a aquellos generados por algunas subrutinas de computadora que aunque se producen a partir de una fórmula totalmente determinística, sus propiedades estadísticas coinciden con las de los números generados por medio de un dispositivo fortuito idealizado que selecciona números de un intervalo unitario de un modo independiente, en donde son igualmente posibles todos los números. Tales números pseudoaleatorios se pueden tratar como si "en realidad lo fueran" a pesar de que no lo son.

Consiste fundamentalmente en acceder tablas de números aleatorios a dispositivos de almacenamiento secundario, donde fueron previamente grabados.

Su principal desventaja consiste en el continuo acceso a las tablas aleatorias, provocando un proceso excesivamente lento.

Como pequeña variante en este método, podemos encontrar situaciones de "reacomodo" (ruleta), y regeneración de los números aleatorios.

Generación Interna por una Relación de Recurrencia.

Este método utilizado actualmente en las computadoras digitales, tiene como fundamento una transformación continua, que es aplicada a un número o números determinados de forma azarosa. Todo el proceso, por tanto, es reproducible-integramente si se conocen las condiciones iniciales del experimento y la relación de recurrencia utilizada. La única y profunda objeción que podemos efectuar al respecto, consiste precisamente en el carácter determinístico del procedimiento siendo que nuestro propósito fundamental es de naturaleza aleatoria. Sin embargo, esta objeción es refutable, solo en el aspecto práctico, si tomamos en cuenta que el conjunto de pruebas estadísticas pueden ser satisfechas de manera total.

En forma más general, la generación de números aleatorios debe consistir de:

- Un proceso que genere números aleatorios o pseudoaleatorios.
- Un proceso que mejore la aleatoriedad de la sucesión
- Un conjunto de pruebas de aleatoriedad de los números

## MÉTODOS DE CONGRUENCIAS

Estos, se basan en una relación de congruencias que se pueden expresar como:

$n_{i+1} \equiv An_i + c \pmod{m}$  Donde  $n_i$ ,  $A$ ,  $c$ , y  $m$  son enteros no negativos. Haciendo variar  $i$ :

$$i=0 \quad n_1 \equiv An_0 + c \pmod{m}$$

$$i=1 \quad n_2 \equiv An_1 + c \pmod{m}$$

$$\delta \quad n_2 \equiv A(An_0 + c \pmod{m}) + c \pmod{m}$$

$$\delta \quad n_i \equiv An_0 + \frac{c(A^i - 1)}{(A - 1)} \pmod{m}$$

Considerando que dos enteros  $a$  y  $b$  son congruentes módulo  $m$ , si la diferencia entre los dos ( $a-b$ ) es un múltiplo entero de  $m$ , lo que también significa que tanto  $a$  como  $b$  dan el mismo residuo al ser divididos entre  $m$ .

Cabe tomar en cuenta, que al usar tal relación de congruencias necesariamente llegaremos a un período  $p$  en el que  $n_i = n_0$ , esto es, la sucesión de números pseudoaleatorios se volverá a repetir.

Existen teoremas que el período  $p$  siempre existe y su valor está relacionado directamente con el de  $n$ . En la práctica, esta objeción se puede superar eligiendo un módulo suficientemente grande.

#### METODO ADITIVO DE CONGRUENCIAS

Este método utiliza la relación de congruencias:

$$N(i + 1) \equiv N_i + N(i - k) \pmod{m}$$

que presupone la existencia de  $K$  valores iniciales.

Este proceso ha podido ser utilizado en varias computadoras, incluyendo modificaciones que consideran dígitos binarios, tal como la fórmula recurrente:

$$N_j^b \equiv (N(j - 1) + N(j - k)) \pmod{2^b}$$

siendo  $b$  el número de términos binarios, con  $k$  números aleatorios fijos.

Las pruebas de estadística nos indican que para toda  $k$  mayor a 16, la generación aleatoria es aceptable.

Desafortunadamente, no existen criterios fijos que nos indiquen en que situaciones emplearemos o no una fórmula recurrente determinada, debido principalmente a que la rapidez y eficiencia del método, están muy relacionados con el tipo de máquina, y aún la codificación de programas que se utilice.

## METODO MULTIPLICATIVO DE CONGRUENCIAS

Utiliza la relación de congruencias:

$$N(i + 1) \equiv ANi \pmod{m}$$

se ha comprobado, que aún en la ausencia del entero  $c$  de la fórmula original, el método multiplicativo genera números aleatorios con distribución uniforme y no correlacionados.

Es posible, si se observa la relación, que la imposición de condiciones iniciales nos identifique con mayor claridad el período  $p$  que habrá de contener el experimento.

En casi todas las versiones de programación, encontramos que el método multiplicativo emplean el módulo  $n$  como  $n = g^e$ , donde  $g$  representa el sistema numérico interno de la computadora ( $g=2$  binario,  $g=8$  octal...), y  $e$  el número de dígitos por palabra.

Siendo  $n = g^e$ , el módulo se obtiene truncando solo los dígitos  $e$  de bajo orden, y el número aleatorio implica el solo movimiento del punto decimal (o binario) a la izquierda del número. El período máximo que se puede obtener es  $p = 2^{b-2}$  donde  $b$  es el número de bits en una palabra de computadora.

Un procedimiento multiplicativo común para generar números pseudoaleatorios, se resume como:

- 1.- No=cualquier número impar
- 2.-  $A=8t+3$ , siendo t cualquier entero positivo
- 3.- Se efectúa ANo, de donde los bits de bajo orden representan N1.
- 4.- Se calcula  $r_i = \frac{N_1}{2^b}$  que obtiene la variable aleatoria en el intervalo unitario.
- 5.- Se repite el paso 3 para no=n1 y así sucesivamente.

Ejemplo:

- 1.- Se escoge No=7 ó No=0111
- 2.- Si t=1,  $a=8(1)+3=11$  ó 5,  $a=0101$
- 3.- A No= (0101) (0111)=00100011,  $N_1=0011$ (bits de bajo orden)
- 4.-  $r_1 = \frac{3}{16} = .1875$
- 5.-  $AN_1 = (0101) (0011) = 00001111$ ,  $N_2 = 1111$
- 6.-  $r_2 = \frac{15}{16} = .9375$

Este método proporciona como principal ventaja el incremento en la velocidad de cálculo, ya que solo se requiere tomar el producto de dos números, con una capacidad de memoria mínima utilizada, Sin embargo, y precisamente por la facilidad del procedimiento, el método multiplicativo presenta ciertos problemas referentes al multiplicador a, cuando este es invariablemente una constante, e inadecuado cuando se consideran correlaciones de segundo orden.

## METODO MIXTO DE CONGRUENCIAS

Este método, cuya fórmula general fué presentada al inicio de este tema, permite que a través de una buena selección de  $a$  y  $c$  se generen secuencias que cubren los  $m$  números posibles de la relación, donde  $a$  debe cumplir:

$$a \equiv 1 \pmod{4}$$

lo cual se logra con  $a = 2^k + 1$  para  $k \geq 2$

ésto, por otro lado, no es suficiente para suponer que las secuencias generadas serán satisfactorias enteramente. En la práctica, no se ha demostrado, aún con la inclusión de la constante aditiva  $c$ , una verdadera ventaja estadística o computacional del método mixto que nos imponga su elección al método multiplicativo de congruencias. Se observa que no se determina la validéz de la sucesión generada por este método, aunque ciertos valores de la constante aditiva tienden a mejorar las propiedades estadísticas de dichas sucesiones.

## PRUEBAS ESTADISTICAS PARA LOS NUMEROS PSEUDOALEATORIOS

Las siguientes pruebas estadísticas se consideran entre las más importantes y se mencionarán solo brevemente:



La Prueba de Frecuencia: es utilizada esta prueba, cuando se desea comprobar la uniformidad de una sucesión de  $N$  números pseudoaleatorios generados consecutivamente.

La estadística:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^x \left( \frac{f_j}{N} - \frac{1}{x} \right)^2$$

Tiene aproximadamente una distribución Ji cuadrada, con  $x-1$  grados de libertad para una sucesión de números aleatorios verdaderos, y si  $f_j$  denota el número aleatorio generado.

Pruebas de Series: se emplean para comprobar el grado de aleatoriedad de los números generados, comúnmente tomados en parejas. Esta prueba permite también la inclusión de la estadística Ji cuadrada.

Pruebas de Corridas: con esta prueba, se comprueba la naturaleza de aleatoriedad oscilante de las sucesiones. Utiliza sucesiones binarias en las que se efectúan corridas de ceros y unos, determinando las ocurrencias prácticas con sus correspondientes ocurrencias teóricas.

De nuevo, el criterio Ji cuadrada permite establecer la confiabilidad de la prueba.

Prueba de Distancia: pretende verificar la aleatoriedad de los dígitos de cada sucesión de números aleatorios.

## GENERACION DE LAS VARIABLES ESTOCASTICAS

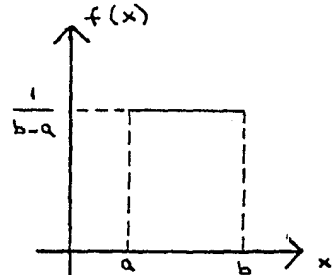
Esta parte pretende reconocer las principales distribuciones de probabilidad, así como la generación de valores de variables aleatorias con distribuciones empíricas, cuando intentamos encontrar la solución de problemas estocásticas.

Es importante notar, que una vez que se determina un proceso estocástico que satisfaga las condiciones matemáticas requeridas para ciertos problemas, el comportamiento del modelo queda plenamente definido. Tal es el caso de situaciones relacionadas con fenómenos de espera, o la solución de ecuaciones de diferencias de orden superior.

No obstante la existencia de procedimientos analíticos, se ha venido prefiriendo por experimentos de simulación, con el uso de algoritmos y rutinas que determinan, de forma eficiente y clara, las soluciones que analíticamente también se obtendrían. Estos métodos tienen en la actualidad, especial importancia en el área industrial, en donde comúnmente requerimos de soluciones a fenómenos de orden estocástico, como pueden ser los tiempos de proceso ente líneas de producción, o fallas de maquinaria y su repercusión en esa industria.

## DISTRIBUCIONES CONTINUAS

La distribución uniforme: la forma más simple de densidad de probabilidad es sin duda la distribución uniforme, la cual se puede expresar como:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a < x < b \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$


Con una función de distribución acumulativa  $F(x)$ , para la variable aleatoria  $X$  uniformemente distribuida:

$$F(x) = \int_a^x f(t) dt \quad \dots \text{función de distribución acumulativa}$$

$$\text{ó } F(x) = \int_a^x \frac{1}{b-a} dt = \frac{x-a}{b-a}$$

$$\text{donde } 0 \leq F(x) \leq 1$$

$$\text{siendo el valor esperado, } E(x) = \int_a^b x f(x) dx$$

$$\text{ó } E(x) = \int_a^b x \frac{1}{b-a} dx$$

$$E(x) = \frac{b+a}{2}$$

$$\text{y variancia } V(x) = \int_a^b f(x) (x-E(x))^2 dx$$

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$$

Normalmente en esta distribución conoceremos la media y la variancia de la estadística por generar, en cuyo caso conoceremos a y b por las ecuaciones:

$$a = E(x) - \sqrt{3 V(x)}$$

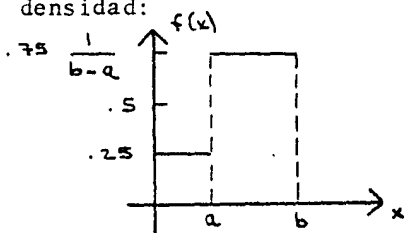
$$b = 2E(x) - a$$

Donde  $E(x)$  y  $V(x)$  son valores conocidos.

Generalizando, y puesto que  $F(x)$  se define en un intervalo unitario  $(0,1)$ , podemos generar números aleatorios haciendo  $F(x)=r$ . Por tanto, para cualquier valor de  $r$  encontraremos su respectivo valor en  $x$ , esto es:

$$X_i = F^{-1}(r_i)$$

Ejemplo: obtener la gráfica  $x, F(x)$  para la función de densidad:

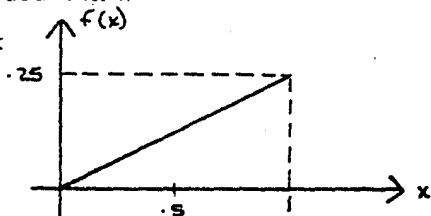


$$f(x) = \begin{cases} .25 & \text{para } 0 \leq x < 1 \\ .75 & \text{para } 1 \leq x \leq 2 \end{cases}$$

Entonces:

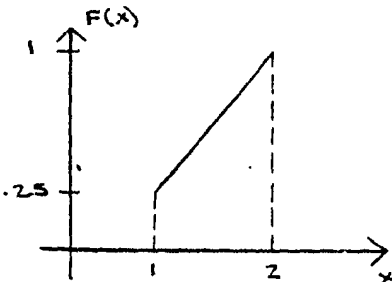
$$F(x) = \int_0^x f(t) dt \quad \text{para } 0 \leq x < 1$$

$$\int_0^x .25 dt = .25x$$



$$y \quad F(x) = .25 + \int_1^x f(t) dt \quad \text{para } 1 \leq x \leq 2$$

$$\int_1^x .75 dt = .75x - .75$$



Si  $F(x)=r$

Entonces  $x=4r$  con  $0 \leq r < .25$

$$\text{y } x=4r + \frac{2}{3} \text{ con } .25 \leq r \leq 1$$

Generando un valor  $X_i=4r_i$  cuando  $r_i$  sea menor que .25 y un valor  $x_i = \frac{4}{3} r_i + \frac{2}{3}$  si  $r$  mayor o igual a .25 así,  $r_i$  se observa fácilmente, es el número aleatorio que se pudo generar con las técnicas antes mencionadas.

Para la distribución uniforme, y puesto que

$$r=F(x) = \frac{x-a}{b-a}$$

Entonces  $x=(b-a) r+a$   $0 \leq r \leq 1$

Donde  $r$  es el número aleatorio en el intervalo unitario

Se observa pues, que dando un intervalo  $b-a$ , la simulación de la distribución uniforme se logra solo a través de una instrucción en computadora.

## DISTRIBUCION EXPONENCIAL

Decimos que una variable aleatoria tiene distribución exponencial si cumple con una función de densidad;

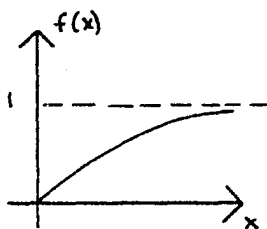
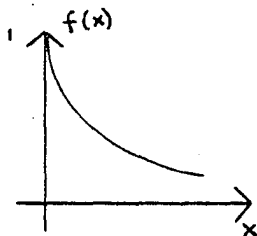
$$f(x) = \alpha e^{-\alpha x} \quad \text{con } \alpha > 0 \text{ y } x \geq 0$$

Obteniendo una función acumulativa

$$F(x) = \int_0^x \alpha e^{-\alpha t} dt = 1 - e^{-\alpha x}$$

Con valor esperado  $E(x) = \int_0^{\infty} x \alpha e^{-\alpha x} dx = \frac{1}{\alpha}$

Y variancia:  $V(x) = \int_0^{\infty} (x-1)^2 \alpha e^{-\alpha x} dx = \frac{1}{\alpha^2}$



Sin otro fundamento científico que la observación, se ha podido notar que muchos fenómenos de espera, pueden ser representados con distribución exponencial, éste es, fenómenos que están representados en el dominio del tiempo, tales como la llegada de productos a colas de espera, pedidos en la fábrica, aterrizaje de aviones, etc.

Para la generación de variables aleatorias con distribución exponencial, y puesto que  $F(x)$  es una función explícita,

y  $F(x)=1-F(x)$  (por simetría);

$$r=e^{-\alpha x}$$

$$\text{ó } x=-\left(\frac{1}{\alpha}\right) \log r=-E(x)\log r$$

Así, solo necesitaremos el valor del número aleatorio  $r$ , y el valor esperado  $E(x)$  para el cálculo de  $x$ , donde éste puede tomar solo magnitudes no negativas.

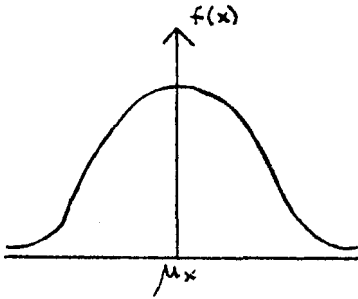
Es por demás, pues, señalar la facilidad con la que se genera esta distribución, aunque con la pequeña desventaja de que el cálculo en computadora digital de logaritmos, lleva consigo una expansión de serie de potencia (o cualquier otro método de aproximación) para cada valor aleatorio  $r$ .

#### DISTRIBUCION NORMAL

Ya que esta distribución es la más conocida y la literatura existente abunda en su descripción formal, nos limitaremos a exponer los conceptos más importantes y su generación-práctica en la computadora.

La distribución normal presenta una función de densidad:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma_x^2}}$$



cuando  $x$  viene expresada en unidades de desviación

$$z = \frac{(x - \mu)}{\sigma}$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} z^2}$$

Pudiéndose convertir a la forma estándar con la sustitución:

$$z = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$$

Donde  $\mu_x = E(x)$

y  $\sigma_x = \sqrt{V(x)}$

En realidad y llendo más a fondo, esta distribución está fundamentada en el teorema del límite central, que postula "la distribución de probabilidad que se genera al efectuar la suma de  $N$  valores, de variable aleatoria  $X$ , independientes pero similarmente distribuidos, con medias respectivas  $\mu$  y variancias  $\sigma^2$ , se aproxima asintóticamente a una distribución normal, a medida que  $N$  tiende a infinito". De esta manera, la interpretación del teorema del límite central, permite una justificación a la evidencia empírica, que comúnmente aparece en problemas de investigación. Por otro lado, la distribución normal así planteada, facilita la aproximación a muchas otras de las estadísticas moderna: Poisson, -



Binomial Ji cuadrada, t y F.

A continuación se expone el algoritmo clásico para la generación de esta distribución:

$$X = \sqrt{-2 \ln r_1} \cos(2\pi r_2)$$

Donde  $r_1$  y  $r_2$  son dos valores de variable aleatoria en el intervalo unitario (número aleatorio o pseudoaleatorios).

La ecuación proporcionada puede ser ajustada a una media  $\bar{x}'$  y a una desviación  $\sigma'$  mediante la fórmula:

$$x' = \sigma' x + \bar{x}'$$

#### DISTRIBUCION LOGARITMICA

Si el logaritmo de una variable aleatoria tiene distribución normal, entonces la variable aleatoria tendrá una distribución logarítmica normal.

Esta distribución se genera en procesos azarosos que se presentan un conjunto de eventos pequeños e independientes.

Entre los fenómenos que se genera la distribución logarítmica podemos mencionar: análisis de rendimientos y ganancias, análisis de ventas, etc.

El logaritmo natural de la variable aleatoria  $X$  tiene una función de densidad  $f(y)$ :

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right]$$

con un valor esperado  $E(x) = \exp\left(\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}\right)$

y una variancia  $V(x) = E(x)^2 \left( \exp(\sigma_y^2) - 1 \right)$

de donde:  $x = \exp(\mu_y + \sigma_y z)$

si  $z = \frac{\log x - \mu_y}{\sigma_y}$  y  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  son obtenidas de las ecuaciones del valor esperado y la variancia

## DISTRIBUCIONES DISCRETAS DE PROBABILIDAD

### LA DISTRIBUCION GEOMETRICA

Entre las distribuciones discretas de probabilidad seguramente la geométrica se ha considerado a través del tiempo (Bernoulli, siglo XVII) como una de las más comunes en fenómenos estocásticos.

Su distribución de probabilidad está definida por:

$$f(x) = pq^x \quad x = 0, 1, 2 \dots$$

si  $p$  denota la probabilidad de éxito y  $q$  (ó  $1-p$ ) la de fracaso en un experimento dado con  $F(x) = \sum_{x=0}^x pq^x$   $X = 0, 1, 2 \dots x$   
 y  $E(x) = \frac{q}{p}$ ,  $V(x) = \frac{q^2}{p^2}$  ó  $\frac{E(X)}{p}$

Puesto que  $p \leq F(x) \leq 1$

y  $1 - F(x) = q^{x+1}$

Resulta  $r=q^x$ , quedando  $x = \frac{\log r}{\log q}$

Esta distribución, presenta especial utilidad en áreas de control de calidad, y en general en asuntos que involu- - cran modelos econométricos.

#### DISTRIBUCION BINOMIAL

Si  $p$  es la probabilidad de ocurrencia de un suceso, en tonces la probabilidad de que el suceso se presente  $x$  veces en  $N$  ensayos está dada por:

$$f(x) = \frac{N!}{x! (N-x)!} p^x q^{N-x} \quad \text{con } E(x) = np \text{ y } V(x) = npq$$

Esta distribución se presenta comunmente como solución a problemas estadísticos de cualquier índole. En la práctica, es posible experimentar  $N$  ensayos independientes de Bernoulli para el diseño de una población de  $N$  elementos de distribución binomial, por lo que en algunos casos ( $N$  pequeño), se recomienda efectuar una programación orientada a distribuciones geométricas siguiendo el método de rechazos. Este método utiliza el criterio:

$$\begin{array}{ll} X_i = X(i-1) + 1 & \text{Si } r_i \leq p \\ \text{ó } X_i = X(i-1) & \text{Si } r_i > p \end{array}$$

## DISTRIBUCION DE POISSON

Esta distribución (Poisson, siglo XIX) es especialmente común cuando se trata con eventos aislados en un intervalo continuo de tiempo.

Con  $N$  ensayos independientes, con una probabilidad  $P$  pequeña, y en tanto  $N$  tiende a infinito, la probabilidad de  $X$  ocurrencias está descrita por:

$$f(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2 \dots$$

siendo  $\lambda$  el valor esperado y la variancia, cuando se satisface  $\lambda = NP$  de manera consistente, al igual que en la distribución binomial

En ciertos casos ( $N$  grande,  $P$  pequeña), y tratando con distribución binomial, observamos que los valores generados se acercan a aquéllos en distribuciones de Poisson, lo cual nos induce a establecer relaciones entre ambas.

## CADENAS DISCRETAS DE MARKOV

Si consideramos que cualquier suceso de un proceso cualquiera puede ser distinguido en un estado de tiempo particular, podemos establecer un arreglo matricial, conocido como matriz de transición o de estados, cuya concepción general

se reconoce como proceso o cadena de Markov. Para un instante de tiempo, el sistema se encontrará necesariamente en uno de los M estados diferentes, según la tabla:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1M} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2M} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ P_{M1} & P_{M2} & & P_{MM} \end{bmatrix}$$

En donde

$$\sum_{j=1}^M P_{ij} = 1 \quad i = 1, 2 \dots M$$

Estos modelos han sido usados con éxito en la solución de problemas de fenómenos de espera, y para simular procesos de inventarios y mercadotecnia.

## FENOMENOS DE ESPERA

### COLAS:

No es necesaria una definición explícita de cola. Cualquier lector estará familiarizado con este término si consideramos que es un fenómeno de la vida diaria, y que puede ser traducido tan solo como "esperar servicio".

Simples líneas de espera pueden ser fácilmente analizadas matemáticamente, pero situaciones de colas complejas podrían necesitar de un análisis tan difícil que la simulación en computadora se impone como la mejor opción en el problema.

Específicamente la simulación, nos podría proporcionar información de tipo predictivo si manipulamos arbitrariamente los elementos que intervienen en un fenómeno como éste.

Podemos establecer ciertos principios que nos ayudarán en el estudio de una cola:

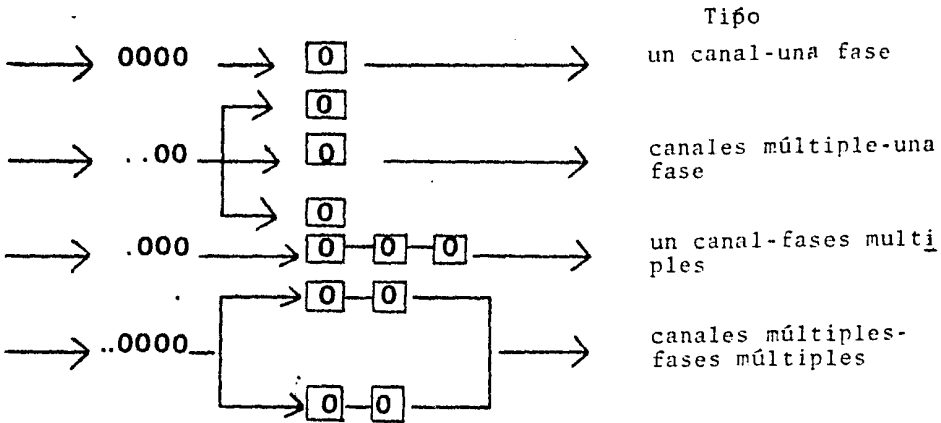
- 1.- La formación de una cola se produce cuando un servicio requerido está siendo ocupado. &
- 2.- Todas las colas están constituidas de 4 componentes básicos: arribo de requerimientos, intervalos entre arribos, número de unidades de servicio, tiempo del servicio.
- 3.- La capacidad del sistema excede la demanda (si no, las colas teóricamente crecerían al infinito).
- 4.- Los intervalos entre llegadas son aleatorios.

Podemos decir que existen clasificaciones de colas relacionadas tanto por los canales, como por las fases en el proceso.

Así tenemos el siguiente diagrama:

& También puede estar descompuesto y existir cola, pero ésto requiere de un estudio por aparte (pérdidas, tiempo promedio de reestablecimiento, etc.)

Llegadas cola estación(es) de servicio



Comúnmente en la presencia de una fase, éstos procesos presentan una distribución de Poisson, con los parámetros:

Tiempo medio de llegada  $\lambda$

Tiempo medio de servicio  $\mu$

Intervalo medio de llegada  $\frac{1}{\lambda}$

Tiempo medio de servicio  $\frac{1}{\mu}$

Tamaño promedio de la cola  $\frac{\lambda^2}{\mu^2 - \lambda\mu}$  para un solo canal

Para canales múltiples

$$\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{s+1}}{(s-1)! \left(s - \frac{\lambda}{\mu}\right)^2} \times \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu s}\right)}}$$

Con un criterio económico, los fenómenos de espera están caracterizados como un problema de costos, que se refle-

ja principalmente en costos de espera y tiempo de ocio.

Los costos por espera, por ejemplo, están relacionados por pérdidas de clientes, o costos de almacenamiento y deterioro de productos. Los tiempos de ocio, con un costo de no productividad, lo que supone un desperdicio del recurso productivo.

Seguramente que la nueva era de microcomputadoras, se presenta como un tiempo de nuevos caminos, no solo como una solución a problemas de colas o inventarios y su simulación, sino por la abundancia de paquetes orientados a simulaciones económicas y financieras contenidas como parte de éstos sistemas personales. Por ejemplo micro-dynamo para Apple II e IBMPC; SIMAN, lenguaje de simulación digital para IBM PC, MICRONET lenguaje de simulación discreta para una variedad de computadoras personales, ACES lenguaje de simulación continua para APPLE II, y SIMSCRIPT para IBM PC.



## CAPITULO III

## DESARROLLO DE SISTEMAS DE SIMULACION

## DESARROLLO DE SISTEMAS DE SIMULACION

## INTRODUCCION:

Es nuestro propósito en este capítulo establecer algunas - consideraciones acerca de una metodología que nos acerque a un experimento de simulación, así como hacer el planteamiento de - algunos de los problemas más frecuentes del diseño experimental.

Ya que las actividades en las que se ha optado por una simulación se han extendido a un gran número de disciplinas, hemos elegido por orientarnos hacia una visión de modelos económicos, teniendo en cuenta que aquéllos aspectos clave desarrollados, sean aplicables en cierta medida a cualquier tipo de simulación.

Se ha dividido el capítulo en dos secciones: la primera - pretende establecer las tareas y procedimientos requeridos para la realización de un experimento de simulación, la segunda referente a cuestiones del diseño experimental, incluidos algunos - posibles errores y otras contingencias.

## PLANEACION DE LOS EXPERIMENTOS DE SIMULACION

Naylor ha propuesto nueve pasos para la planeación de experimentos de simulación, sin embargo, algunos otros autores han considerado otros esquemas tomando en cuenta el sistema propuesto, así como el grado de sofisticación que se desee implementar.

Esta metodología, por otro lado, puede ser dividida en segmentos para cada tarea, generando cada uno de éstos, salidas y/o documentos que serán la entrada para un nuevo segmento o tarea a realizar.

Estas tareas son:

- 1.- Revisión y formulación del problema
- 2.- Recolección, procesamiento y clasificación de datos
- 3.- Formulación de un modelo matemático
- 4.- Estimación de los parámetros de las características operacionales a partir de los datos reales
- 5.- Evaluación del modelo y de los parámetros estimados
- 6.- Formulación de un programa para la computadora
- 7.- Validación
- 8.- Diseño de los experimentos de simulación.
- 9.- Análisis de los datos simulados

Seguramente cualquier metodología de este tipo resulta sumamente arbitraria en su naturaleza y la posibilidad de juzgarla solo existe en un plano meramente pragmático. Sin embargo, para nuestros propósitos, hemos considerado que este esquema nos proporciona cierta racionalidad en el proceso de planeación aunque no necesariamente tomadas siempre las tareas en este orden.

Como ya se mencionó, cada una de estas tareas aquí señaladas puede ser divididas para su mejor comprensión y aprovechamiento en segmentos que por sí mismos constituyen una etapa por desarrollar. Por ejemplo el punto 6, formulación de un programa para la computadora, supone de la realización de segmentos como: evaluación de paquetes y sistemas ya disponibles en el mercado, estudio y entrenamiento en el lenguaje o paquete elegido, elaboración de documentos previos a la realización del programa (diagrama de bloques, diagramas de flujo, structure - - - charts, etc), codificación, compilación y corrida preliminar del programa.

No es nuestra intención formalizar demasiado en estos aspectos a sabiendas que estos criterios tienen infinidad de variantes, relacionadas ellas con los modos de trabajar, estándares elegidos, y sobre todo el medio ambiente en el que se desarrolle el experimento. Por ello, nos limitaremos a la explicación de cada una de las tareas, entendidas como antes básicas por elaborar e implementar.

Como parte final de cada tarea, mencionaremos en terminos-generales cual deberá ser la salida a generar.

## REVISION Y FORMULACION DEL PROBLEMA

Como en cualquier otra área de investigación científica, la realización de un experimento de simulación debe comenzar con una determinación clara del estado actual del sistema y una declaración explícita de los objetivos que se pretendan alcanzar.

En esta tarea deberemos, además, analizar si verdaderamente se impone la alternativa de simular y si las condiciones del medio ambiente cumplen con ciertos requisitos de índole técnica y funcional, pues resultaría muy poco beneficio (desde el punto de vista recursos), realizar experimentos que empleen las técnicas de simulación solo por la simulación misma.

Los objetivos de la investigación toman generalmente la forma de: preguntas que deben ser contestadas, hipótesis por probar, y efectos por estimarse.

Es necesario decir que especificar solo las preguntas a contestar, no es suficiente en esta primera tarea; se requiere también la identificación de criterios objetivos para evaluar las posibles respuestas a estas preguntas. Por ejemplo,

si queremos responder a la pregunta de cual es el procedimiento optimo para tal o cual sistema de producción, deberemos previamente determinar que es lo que consideramos óptimo. Solo establecidos estos principios podremos esperar resultados significativos de la simulación.

En el caso de probar una o más hipótesis relativas al comportamiento del sistema bajo estudio, es necesario asegurar que las hipótesis se han planteado explícitamente, así como los criterios bajo los que se procederá a su aceptación o rechazo. Este punto es de especial importancia dentro de la práctica, pues frecuentemente se aceptan o rechazan hipótesis bajo diferentes puntos de vista, no estrictamente apegados a una norma o estándar previamente elegido.

Si por otro lado, nuestros propósitos están orientados a la observación del sistema cuando modificamos ciertas variables o parámetros, o efectuamos simples cambios en las características operacionales, es necesario que especifiquemos nuestros requerimientos en términos de precisión estadística.

Como conclusión en esta primera tarea, podemos decir que es la primera e indispensable etapa que se debe efectuar en todo experimento de simulación con dos decisiones fundamentales: decisión de objetivos, y decisión de criterios.

Como salida fundamental, tendremos por tanto, un sistema - conceptualizado a desarrollar, así como aquéllos criterios bajo los que decidiremos si habremos o no de encontrar soluciones admisibles.

## RECOLECCION, PROCESAMIENTO Y CLASIFICACION DE DATOS

Por recolección entenderemos aquél proceso de captación de hechos disponibles, los cuales son de importancia para la elaboración del modelo. Las fuentes de datos para simular negocios- o sistemas económicos pueden llegar a ser muy numerosas y comprenden: cuestionarios, reportes de campos, muestras, experimentos físicos, ó cualquier otro procedimiento tal que nos proporcione información pertinente al conocimiento del sistema. En algunos casos ciertos datos deben ser tomados en cuenta aún antes del proceso de formulación del problema, pero indiscutiblemente que este es el tiempo adecuado para la recolección de información que nos ayude a observar un panorama íntegro del sistema, incluyendo la secuencia descriptiva del proceso en términos de funcionalidad.

Una primera ventaja de realizar la recolección de datos en este orden, consiste en que una vez reducidos éstos a una forma significativa, pueden sugerir hipótesis de cierta validéz, exactamente antes que la formación del modelo matemático.

Los segmentos de procesamiento y clasificación de datos - son a menudo realizados en forma simultánea, y tienen como primer objetivo la reducción a un sistema final de información que sirva para estimar los parámetros de las características de operación referentes a las variables endógenas, exógenas, y de estado del sistema. Cabe considerar que sin tales datos sería imposible probar la validez de un modelo para la simulación.

Es preciso hacer notar, también, que algunos experimentos se realizan con datos tales, que son representativos de todas - las posibilidades dentro de un modelo. En estos casos algunos - aspectos como integridad y clasificación de información son considerados con una metodología diferente, pues necesariamente seguiremos un proceso interactivo, en donde la etapa final del experimento es la conversión (datos antiguos a datos nuevos). Este es el caso de investigaciones desarrolladas en grandes períodos de tiempo, y que formarán parte en sistemas operantes de manera rutinaria. Y en donde se hace especialmente difícil trabajar con toda la información durante el proceso de experimentación.

Podemos, si deseamos establecer procesos paralelos, introducir información a la computadora, clasificándola, procesándola de tal forma que su inclusión representa ya en cierta medida - una concepción prematura del modelo.



Esta tarea deberá dejar como salida una visión de los datos como una entidad dinámica, así como todos aquellos documentos y/o cintas magnéticas (u otros elementos del almacenamiento secundario) que han sido considerados como relevantes dentro del sistema.

#### FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO

En la formulación de modelos matemáticos de sistemas económicos, o de cualquier sistema en general, parece encontrarse un común denominador: la carencia de una metodología y aún la falta de fundamentos científicos que nos auxiliem en la elaboración de este modelo.

Con la ayuda de técnicas como la econometría, la estadística matemática, la teoría de la probabilidad, el álgebra matricial, las ecuaciones en diferencias y la programación matemática, la tarea de construir un modelo para un sistema en particular, es más análoga al trabajo de un artista que a una ciencia, considerando que el proceso de observar el sistema en la realidad, formular una o más hipótesis relativas a su funcionamiento, y reducir éstas a un nivel de abstracción que describan su comportamiento, de ningún modo constituye un proceso directo.

Sin embargo, es posible establecer ciertos puntos relacionados a algunas dificultades más o menos comunes en situaciones

reales, o elementos básicos, productos de la experiencia que sí constituyen normas básicas para esta tarea.

Una de las primeras consideraciones reside en la elección de las variables que deben ser incluidas en el modelo. En el caso de las variables endógenas o de salida, no se encuentra gran dificultad, ya que éstas fueron previamente establecidas en los objetivos y formulación del problema. La verdadera complicación reside en la elección de las variables exógenas, algunas de las cuales pudieran ser estocásticas.

Otro elemento importante, consiste en el grado de exactitud predictiva del modelo, que sin lugar a dudas se encuentra directamente relacionado con el tiempo de máquina por utilizar en el experimento.

En una situación como esta, habremos de recurrir a la estadística, cuyas técnicas nos ayudarán en un análisis de variancia. Entre las técnicas para la reducción de variancia se encuentran: el muestreo por importancia, la utilización de valores esperados, la correlación y la regresión, el muestreo sistemático, y el muestreo estratificado.

Como un aspecto más general dentro de la formulación del modelo, si éste constituye parte de un experimento de altas dimensiones; habremos de considerar el tipo de diseño que se implementará: diseño generalizado o diseño modular.

El primero, tradicionalmente elegido, intenta describir de una manera secuencial el funcionamiento de un sistema integrado como una sola unidad. Su principal desventaja, reside en la imposibilidad de desarrollar de una forma práctica, cada uno de los campos y ciencias que estén relacionados con el experimento. Inclusive, en un plano conceptual, la magnitud de ciertos proyectos impide la elaboración de un modelo determinado, visto éste como una sola unidad cuyos elementos interactúan de forma compleja.

Es por ésto que aún en proyectos de menores proporciones, se ha venido optando por un desarrollo modular o de bloques, cuya idea reside en la segmentación de todo un sistema a niveles tales que cada segmento sea manejable y realizable.

Esta nueva visión, permite que cada una de las tareas por efectuar, incluyendo la elaboración del programa para la computadora, pueda ser tomada como un problema menor.

## ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE LAS CARACTERISTICAS OPERACIONALES A PARTIR DE LOS DATOS REALES

Como segmento preliminar a esta tarea, se deberá de considerar un conocimiento amplio, cuando menos de técnicas ordinarias de estimación por mínimos cuadrados y de algunos procedimientos relativos a pruebas estadísticas. Sin embargo, si se desea resolver cierto tipo de problemas específicos como el de las variables rezagadas, autocorrelación y otros, es necesario conocer a fondo algunas metodologías y técnicas propuestas por la econometría, teniendo en cuenta que esta disciplina implica el estudio de la teoría económica, matemáticas, estadística matemática, contabilidad social y métodos de reconocimiento y análisis empírico.

Entre los métodos importantes de estimación econométrica descritos por GOLDBERGER Y HOHNSON y que se comparan sobre la base de sus propiedades estadísticas y de computación, se encuentran:

### 1.- METODOS DE UNA SOLA ECUACION

Mínimos cuadrados ordinarios

Mínimos cuadrados indirectos

Ecuación única por información limitada

Mínimos cuadrados de dos etapas

## 2.- METODOS DE ECUACIONES SIMULTANEAS

Máxima probabilidad con información completa

Mínimos cuadrados de tres etapas

Es pues claro que la estimación de los parámetros de los modelos económicos se encuentran particularmente dentro del dominio de la econometría, aunque Goldberger afirma al respecto que los métodos racionales de medición de las relaciones económicas deben basarse también en una especificación de los mecanismos probabilísticos del sistema, lo cual sin duda puede ser referido por todos aquéllos criterios de decisión que ya han sido mencionados en la primera tarea de esta metodología.

Como resultado o salida de esta fase deberemos tener de manera concreta todos aquéllos parámetros que intervienen de una manera significativa dentro del sistema a simular y que han quedado comprendidos en el modelo anteriormente establecido.

### EVALUACION DEL MODELO Y DE LOS PARAMETROS ESTIMADOS

Esta tarea tendrá como finalidad principal efectuar un juicio de valor acerca de la capacidad de nuestro modelo y constituye solo la primera etapa de prueba de la simulación, previa a las corridas reales de la computadora. Como se observa, nuestro interés residirá en probar las imposiciones o entradas que

se deberán programar posteriormente.

En una tarea posterior, se considerará la validéz de los datos de salida generados por el modelo, en cuyo caso, buscaremos comparar los resultados obtenidos, con los datos históricos del sistema simulado, para así tener en cuenta la capacidad predictiva del modelo.

Si nos encontramos en el caso de que las características operacionales toman la forma de distribuciones de probabilidad, será necesario recurrir a pruebas de bondad de ajuste que determinen el grado de aproximación a una distribución hipotética de probabilidad, de datos obtenidos del contorno real del sistema en experimentación. Desearemos también probar la importancia estadística de nuestras estimaciones de los valores esperados, variaciones, y otros parámetros de estas distribuciones de probabilidad. Estas pruebas podrían comprender:

#### 1.- PRUEBAS A LAS MEDIDAS

- a. Pruebas de muestra relativas a las medidas
- b. Diferencias entre medidas

#### 2.- PRUEBAS REFERENTES A LAS VARIANCIAS

- a. Pruebas de la  $\chi^2$  cuadrada
- b. Pruebas F

### 3.- PRUEBAS BASADAS SOBRE EL CONTEO DE LOS DATOS

- a. Prueba referente a las proporciones
- b. Diferencias entre K proporciones
- c. Tabla de contingencia
- d. Pruebas de bondad de ajuste

### 4.- PRUEBAS NO PARAMETRICAS

- a. La prueba del signo
- b. Pruebas basadas en sumas de rangos
- c. La prueba de la mediana
- d. La prueba U
- e. Pruebas de corridas
- f. Pruebas de correlación en serie

También desearemos aplicar pruebas que nos permitirán detectar las violaciones en las suposiciones fundamentales de nuestros modelos econométricos, éstas podrían comprender las pruebas para:

- 1.- Errores en las variables
- 2.- Coliearidad múltiple
- 3.- Heterosedasticidad
- 4.- Autocorrelación
- 5.- Identificación

Hasta esta tarea, por tanto, debemos de tener como salida una concepción tal del sistema por simular, que todas las posibles preguntas relacionadas con la veracidad de nuestras estimaciones respecto al modelo, pueden ser contestadas de una manera afirmativa.

#### FORMULACION DE UN PROGRAMA PARA LA COMPUTADORA

Existen numerosas recomendaciones acerca de la solución de esta tarea, incluyendo la elaboración de documentos y reportes que nos ayuden en la mejor estructuración en el diseño.

Sin embargo, nosotros pondremos mayor atención a tres actividades de importancia dentro de la programación para simulación: el programa de computadora, los datos de entrada y la generación de datos.

Para la primera actividad, consideraremos varios segmentos por desarrollar: elaboración de documentos conceptuales, planeamiento y elección del lenguaje o paquete por utilizar, y compilación y corrida del programa preliminar.

En lo referente a los datos de entrada, y puesto que los experimentos de simulación tienen una naturaleza dinámica, es necesario establecer los valores iniciales de las variables y parámetros del sistema. Esta dificultad de proponer el estado



presente del sistema (punto particular en el tiempo), puede haber sido planteada en los inicios del proyecto, pero en la mayoría de los casos es posible obtener soluciones aceptables en esta tarea a través de métodos de prueba y error. Este segundo punto es esencial en consideraciones futuras, pues el fundamento para la correcta apreciación de los resultados finales.

No hablaremos en este momento, de las ventajas y facilidades que nos ofrecen los paquetes referentes a simulación, baste menciónar por ahora su efectividad, en el trato de técnicas numéricas para la generación de datos.

Si se presupone que alguna de las variables exógenas incluidas en el modelo es una variable estocástica con una cierta distribución de probabilidad, tendremos adicionalmente, un proceso aleatorio de selección a partir de una distribución dada de probabilidad, de tal manera que la repetición de este proceso origine una distribución de los valores muestreados correspondiente a la distribución de la variable de interés. En capítulos anteriores se ha tratado ya acerca de algunas subrutinas empleadas en la generación de números pseudoaleatorios.

Como salida de esta tarea, deberemos de tener un programa de computadora perfectamente adecuado a todas aquéllas consideraciones pertinentes al modelo elaborado, teniendo en cuenta en el diseño, posibles cambios en la estructura y en la cuantificación de las variables incluidas en el modelo.

## VALIDACION

El problema de la validación implica un gran número de complejidades, tanto en el plano práctico, como en el teórico y estadístico. En realidad podemos afirmar que parte de un problema más general consistente en la misma palabra validéz: ¿Qué significa validar?, ¿qué criterios se utilizan para validar una hipótesis?. En general, los autores coinciden en dos métodos - apropiados para la validación del modelo de simulación: Comparación con los datos históricos del sistema, y exactitud de modelo en términos de su comportamiento en períodos posteriores. - Aún así el problema general persiste, pues las palabras comparación y exactitud solo se pueden determinar en un plano meramente subjetivo, o en el mejor de los casos en una estandarización para determinados sistemas.

Esta tarea aunque no genera una salida sustancial para la siguiente etapa, nos impone condiciones o límites que habrán de ser tomados en cuenta en el diseño experimental.

## DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS DE SIMULACION

Por ser de especial importancia esta tarea será tratada detalladamente en el siguiente inciso de este capítulo. Menciona-

remos solo lo que BALINTFY identifica como las dos metas más importantes dentro del diseño experimental: selección de los niveles de los factores y las combinaciones de niveles, y el orden de los experimentos.

#### ANALISIS DE LOS DATOS SIMULADOS

En cualquier experimento se debe considerar algún tipo de procedimiento que nos permita efectuar un análisis una vez que hemos obtenido el conjunto de datos finales de éste. Las mismas técnicas dentro del campo del diseño experimental tienen en cuenta la aplicación de dos métodos utilizados dentro del análisis de datos: análisis de regresión, y análisis de varianza. El primero, orientado en la presencia de factores cualitativos, y el segundo para una evaluación de datos usando las propiedades numéricas de los niveles de los factores cuantitativos.

Si quisieramos segmentar esta tarea para su mejor desarrollo, podríamos considerar:

- 1.- Recolección y procesamiento de los datos simulados
- 2.- Cálculo de la estadística de los primeros
- 3.- Interpretación de los resultados

Seguramente a estas alturas, y si hemos conservado una me-

todoología, no encontraremos ninguna objeción en obtener conclusiones contundentes del experimento, tomando en cuenta que esta tarea tan solo representa una nueva entrada al proceso interactivo de la simulación.

## DISEÑO EXPERIMENTAL

Consideraremos dos los procesos fundamentales de un experimento relacionado con la simulación en computadora: explorar y describir la superficie de respuesta en algún área de interés especial, y mejorar la respuesta sobre alguna región de operabilidad del sistema.

Para entender ésto más claramente, debemos definir lo que comprenderemos por factor y respuesta, dos de las expresiones más comúnmente utilizadas dentro del diseño experimental. En términos matemáticos, el factor correspondería a aquéllas variables denominadas como independientes, y que en un sistema económico serán casi siempre variables exógenas o normativas. La respuesta, será por necesidad una variable endógena (o de salida) y se considerará como una función de la variable exógena o por alguna propiedad de su distribución de probabilidad.

Existen además, una serie de atributos aplicables en lo referente al factor: así, se habla de factor controlado si el ex-

perimentador selecciona a propósito sus niveles, factor observado si sus niveles se miden u observan y se registran como parte de los datos, cuantitativo cuando los niveles son números (de otra manera son cualitativos), fijo si se incluyen todos los niveles de interés (de otra forma será aleatorio). Estos atributos deberán ser tomados en cuenta a través de todo el diseño experimental, de otra forma es común tener contradicciones a lo largo de la investigación.

Los siguientes párrafos nos introducirán en los problemas más frecuentes en el diseño. Trataremos de identificar posibles soluciones.

#### EL PROBLEMA DEL TAMAÑO

Este problema, también común en experimentos reales, es vislumbrado fácilmente si consideramos un ejemplo en una fábrica X, en donde se tengan Y políticas de empleo, Z planes de mercadotecnia, W políticas de inventario, U políticas de sustitución de equipos, y V productos nuevos. Se requerirá un total de :  $Y \times Z \times W \times U \times V$  combinaciones posibles, en donde cada variable es el número de niveles que tiene este factor.

No es difícil apreciar que en éstas, y otras condiciones de mayor número de factores o niveles, el diseño puede necesi-

tar de tantas localidades que sea prácticamente imposible el manejo en una computadora. Si a ésto, añadimos un proceso de investigación para cada una de las combinaciones de los factores, no encontraremos solución a este problema.

Al respecto, podemos mencionar que se han desarrollado diseños conocidos como factoriales fraccionales, los cuales requieren solo una fracción de las pruebas necesarias para un diseño factorial completo. Estos, están orientados hacia la búsqueda de aquéllas variables que causan una mayor variación en la respuesta (cuadrados latinos y cuadrados grecolatinos). No intentaremos ahondar demasiado en este tema, sino establecer las dificultades y características típicas de estos procedimientos:

- Efectos de interacción: un efecto principal se confunde con uno o más efectos de interacción de alto orden.
- Adición de efectos: se observa el efecto, pero no se determina si es principal o alguna combinación aditiva de efectos.
- Estimaciones confusas: si existen efectos cuadráticos o cúbicos, se confunden las estimaciones de la media y los efectos principales.
- Confusión en los parámetros estimados en modelos ajustados.

Si tuvieramos que definir el común denominador de estos diseños, la mayoría de los autores así lo señalan, se tendría que decir que son confusos, principalmente por la responsabilidad de llevar a cabo suposiciones, las cuales comunmente derivan en colclusiones contradictorias, con el desperdicio de recursos que ésto trae consigo.

Por otro lado, se han desarrollado experimentos dirigidos sobre la base de una acumulación de información, existiendo la posibilidad de usar métodos secuenciales de diseño lo que nos conduce a un ahorro significativo del tamaño de la muestra. Estos métodos sirven especialmente cuando no se ha establecido la longitud de la muestra y se determinará en el transcurso del experimento. Así también tenemos diseños apropiados en los casos de exploración de una superficie de respuesta en particular, cuya ventaja reside, en comparación con diseños factoriales, en la reducción en el tamaño del experimento, sin reducción correspondiente en la longitud de información requerida. Este experimento, al igual que muchos otros, utiliza el análisis de variancia como técnica para el análisis de datos.

#### EL PROBLEMA DE LA CONVERGENCIA ESTOCASTICA

Por convergencia estocástica entenderemos la aproximación-

de los promedios de la muestra, conforme se aumenta el tamaño de ésta, al promedio real de la población que se está muestreando. Su principal problema reside en la lentitud de convergencia.

Una medida de fluctuación aleatoria inherente en una cantidad probabilística es su desviación estándar. Si tenemos  $T$  como una desviación estándar de una observación, la del promedio de  $n$  observaciones será  $T/\sqrt{n}$ , obteniendo que si quisiéramos reducir el error aleatorio a la mitad, es necesario cuadruplicar el tamaño  $n$  de la muestra.

Si consideramos que la información acerca de promedios en una población por experimentar, es un requerimiento bastante común en la simulación en computadora digital, llegaremos a la conclusión que necesitaremos de un método o procedimiento que nos ayude a minimizar el error sin necesidad de aumentar el tamaño de la muestra.

En ciertos experimentos, por ejemplo, es posible considerar la introducción de factores tales como bloques o variables concomitantes que no tengan ningún significado en especial para el investigador, teniendo conocimiento que no podemos incluir un solo factor, aparte de los ya descritos en el modelo, que no ocasionen un efecto contenido dentro de la especificación probabilística de las entradas exógenas.



HAMMERSLEY y HANDESCONB han desarrollado al respecto, - un tratado sobre las técnicas, conocidas como tipo monte carlo, cuyo objetivo es la reducción del error aleatorio a través del conocimiento que se tenga sobre la estructura del modelo, y de la observación de las propiedades de los valores que se usan como entrada.

#### EL PROBLEMA DE LAS RESPUESTAS MÚLTIPLES

Este problema, frecuente en la simulación con sistemas-económicos, es originado cuando se desean observar múltiples variables de respuesta en un sistema dado.

Las técnicas del diseño experimental para erradicar este problema prácticamente son nulas, y en general existen solo consejos y recomendaciones de índole práctico: trátense tantos experimentos como respuestas a observar, cada uno de los cuales contendrá una salida.

Así mismo, podemos sumar las respuestas y tratarlas como una sola.

Tal vez, y como primer intento por resolver este problema, G. Fromm ha vislumbrado soluciones técnicas en la experimentación de simulación de políticas, a través del empleo de la teoría de utilidad y con el modelo de BROOKINGS.

## EL PROBLEMA DEL MOTIVO

En general, solo son dos los motivos experimentales: encontrar alguna combinación de nivel que optimice un procedimiento en particular, y solamente determinar las relaciones existentes entre los elementos del sistema (exploración-general).

No hemos mencionado la palabra "problema", y es que ciertamente consideramos que las cuestiones referentes a objetivos y definiciones originales han quedado cubiertas de una manera total en la metodología establecida en principio. Balintfy, sin embargo recalca la importancia de una determinación clara en la selección del diseño que satisfaga íntegramente las metas del experimentador.

Y es que, en principio, tendremos que distinguir el motivo de la simulación y la distinción de los factores: cualitativos y cuantitativos. En la presencia de factores cuantitativos la misma superficie de respuesta nos conduce rápidamente a la combinación óptima de los niveles de los factores a través de muestreos sistemáticos, entre los que se encuentran: el de un solo factor, el de análisis marginal y el de ascenso rápido.

Cuando el motivo es el de exploración, es difícil identificar la mejor combinación de los niveles, ya que generalmente los objetivos esenciales son solo la comprensión y el conocimiento profundo del sistema en cuestión.

No está por demás mencionar que todo lo referente al diseño experimental, es quizá la parte que mayormente interviene en investigaciones infructuosas. Seguramente que existe muchísimo por desarrollar en esta área, debido principalmente a la carencia de una metodología que nos oriente en la solución a problemas de índole práctico. Concretamente: qué hacer con gran cantidad de factores?, es posible incluir solo algunos sin desvirtuar conclusiones?, podemos converger rápidamente?, es posible obtener respuestas múltiples en este método?, por último, diremos solo que un gran número de publicaciones científicas dedican ya artículos relacionados con soluciones alternativas a estos problemas, con la pequeña desventaja que hacen alusión a modelos muy específicos y en contornos de cualidades especiales.

A continuación, y relacionado también con el diseño experimental, haremos una breve revisión del análisis de datos.

## ANALISIS DE DATOS

Dos son los métodos considerados clásicos dentro del análisis de datos: el análisis de variancia y el de regresión, siendo el primero el apropiado según la mayoría de las técnicas de diseño experimental.

La primera pregunta que debe contestar un análisis de variancia, sin duda se refiere a la existencia de una relación entre un efecto cualquiera y una respuesta considerada. Lo más sencillo en estos casos, y en la presencia de solo dos factores, se acostumbra representar el experimento a través de una simple tabla.

Tomemos como ejemplo tres estaciones de servicio: A, B, y C, atendidas por tres personas diferentes: D, E, y F, quedando la tabla:

Atención	Estaciones de Servicio		
D			
E			
F			
	A	B	C

Quisieramos obtener cierta información acerca de la optimización en el servicio a los clientes, y si verdaderamente ésta se desprende de una relación entre esos factores.

El primer experimento interesante es el cálculo de los valores para cada casillero a través de una muestra tomada de la población real. Ya que nuestras conclusiones estarán en función de este cálculo, resulta por demás recalcar la importancia de nuestra selección azarosa. Probablemente un proyecto de especial interés sería la observación, en primera instancia, de las medias para cada coordenada. Dada la naturaleza aleatoria del procedimiento, no consideraremos a priori conclusiones del experimento y se deberá de continuar con la aplicación de criterios (de orden formal y/o estadísticos) que validarán nuestras hipótesis preliminares: si hemos de inferir la similitud entre las medias, esto solo se logrará adecuadamente con un análisis de varianza.

Sin embargo, no nos bastará saber si la totalidad de los factores afectan o no a la respuesta, tendremos que medir los cambios que los factores, en lo particular, introducen en la respuesta. Así, conoceremos si en conjunto, las estaciones de servicio (estación A por ejemplo), difieren significativamente en sus medias, obteniendo como conclusión que el manejo del punto óptimo depende en cierta medida de

la estación utilizada. En cambio, analizaremos las medias - para cada empleado (independientemente de la estación), obteniendo conclusiones de la eficiencia para éste.

Nos interesará también conocer todas las combinaciones posibles entre los factores y cómo afectan éstas en la respuesta (factores de interacción).

La teoría estadística clásica, por otro lado, excluye el análisis de varianza para datos autocorrelacionados, es decir, los componentes del experimento no están distribuidos de forma independiente. El análisis espectral, que analiza procesos físicos que dependen del tiempo es considerado en estos casos como la mejor solución. Conforme el análisis de datos se vuelve más complejo, necesariamente requeriremos de algunos otros parámetros relacionados con su espacio temporal y que no pueden ser estudiados con un análisis de varianza simple.

## CAPITULO IV

### LENGUAJES DE SIMULACION

## LENGUAJES DE SIMULACION

Cualquier historia de simulacion digital de sistemas discretos debe ser primordialmente una historia del desarrollo de lenguajes de simulación.

Cuando las primeras computadoras digitales fueron instaladas, los programas de simulación discreta eran codificados en lenguaje de máquina o en lenguaje ensamblador. La programación de una computadora para ejercitar un modelo de simulación tomaba mucho tiempo, la corrección de programas era muy difícil, y tan solo pequeños cambios en el modelo, seguido requerían un esfuerzo mayor en programación. Aún cuando los lenguajes de alto nivel como FORTRAN y ALGOL fueron puestos en uso, todavía era un trabajo de programación laborioso llevar a cabo una simulación. Una de las principales dificultades era el problema de comunicación entre la persona que dirigía el estado de simulación y la persona que hacía la programación.

Para aminorar algunas de estas dificultades, se desarrollaron programas especiales llamados simuladores para ciertas aplicaciones como simulación de control de inventario y de departamentos de producción. Cada uno de estos simuladores proporcionaba un lenguaje de programación especial para ayudar al usuario a describir su problema particular; este -



lenguaje empleaba palabras y expresiones convenientes. Estos simuladores no tuvieron mucho éxito debido a su escasa flexibilidad para satisfacer las necesidades de diversos usuarios.

La siguiente etapa fue el desarrollo de algunos lenguajes de simulación que podían usarse para simular cualquier sistema discreto. Los objetivos de estos lenguajes indujeron los siguientes:

- 1) Proveer el control y ordenamiento de escritos automáticamente
- 2) Proveer una estructura general o una base conceptual para construir modelos de simulación
- 3) Proveer un medio rápido para convertir un modelo de simulación a un programa de computadora, y hacer cambios en el programa
- 4) Proveer facilidades para impartir condiciones iniciales, controlar simulaciones y facilitar resultados en una forma apropiada

Entre los primeros lenguajes de simulación se encuentran MONTECODE y GSP (General Simulación Program) diseñados en Inglaterra en 1959 y 1960, respectivamente. Ninguno de estos lenguajes tuvo mucha aceptación debido a que sus tra-

ductores fueron escritos en lenguaje de ensamblador para máquinas de poco uso.

El primer lenguaje de simulación discreta que fue ampliamente aceptado fue GPSS (General Purpose Systems Simulator), diseñado por Geoffrey Gordon para las computadoras IBM 704, 709 y 7090. Otros de los primeros lenguajes de simulación discreta son SIMSCRIPT, GSL, GASP, SIMPAC y GOL.

Estos lenguajes difieren bastante a otros en la facilidad con que un programador inexperto puede usarlos, y en el método de construcción. GPSS, por ejemplo, es uno de los lenguajes más fáciles de aprender. SIMSCRIPT permite mucha más flexibilidad que GPSS en el diseño del modelo de simulación, pero requiere más conocimiento en programación.

Algunos lenguajes, como GPSS, se procesaban de una manera interpretativa. Otros, como SIMSCRIPT y CSL, tenían un traductor que convertía el programa fuente a FORTRAN, el cual era entonces compilado para producir el programa objeto. GA es un lenguaje tipo ALGOL cuyo compilador traduce el programa fuente a un lenguaje intermedio que se ejecuta de una manera interpretativa.

Al anunciarse la segunda generación de computadoras, se desarrolló una nueva serie de lenguajes de simulación. Algunos de éstos eran versiones refinadas y mejoradas de progra-

mas en existencia, mientras que otros eran completamente nuevos en concepto.

SIMSCRIPT 1.5 y después II. Estas dos últimas versio--nes se traducen directamente a lenguaje de ensamblador. SI-MULA es una extensión de ALGOL que utiliza el concepto de -procesos que operan casi en paralelo con respecto al tiempo del sistema, así como procesamiento general de listas.

IBM ha producido tres versiones nuevas de GPSS: GPSS II, GPSS III y GPSS/360. La mayoría de los otros fabricantes de computadoras también proporcionan GPSS en una forma que es -razonablemente compatible con la producida por IBM.

Las primeras computadoras de la primera generación te--nían que ser codificadas en lenguaje de máquina. Poco tiem-po después se empezaron a usar lenguajes de ensamblador. Muchos de los primeros sistemas de computación salieron de proyectos universitarios de investigación respaldados por orga-nizaciones gubernamentales, militares y de investigación. Por ejemplo: ENIAC en la Universidad de Penssylvania, - -EDSAC en la Universidad de Cambridge en Inglaterra, CAS en -la Universidad de Princenton, Whirlwnd en MIT y otros. EDSAC fue probablemente la primera computadora en que se al-macenaron programas en una memoria grande.

Muchos de los primeros universitarios se fueron enton--ces a la industria; entre ellos estaba el grupo que fundó lo

que ahora es UNIVAC y que produjo en 1951 la primera computadora grande comercial, la UNIVAC I. Poco tiempo mas tarde - PBM produjo su serie 700 de computadoras, RCA, Burroughs, - Raytheon y Honey Well fueron algunas de las compañías que en traron también a la carrera comercial. .

A principios de la década de 1950 se hizo un gran es- - fuerzo para construir los primeros lenguajes de segundo ni- - vel. Los lenguajes FLOWNATIC de UNIVAC y Speedcode para la IBM 701 señalaron el camino. En 1954, IBM inició un proyec- to que dió fruto al lenguaje FORTRAN (Fórmula Transtation) I y al primer compilador FORTRAN (para la IBM 704) en 1957. Es te acontecimiento es probablemente el mas impresionante en - la industria de la programación automática. FORTAN II siguió al poco tiempo, e IBM surgió a la cabeza de todos sus compe- tidores. Ha estado en esa posición desde entonces. En se- - guida, FORTRAN IV fue diseñado, para llegar a ser finalmente el lenguaje de mayor popularidad en el mundo actual.

Al mismo tiempo que se acababa de diseñar el lenguaje - FORTRAN, la organización europea GAMM (Asociación de Mecáni- ca y Matemáticas Aplicadas) y la Association For Computing - Machinery en los Estados Unidos apoyados por muchos grupos, - formaron un grupo internacional para diseñar un lenguaje con orientación científica e independiente de computadora. Des-

pués de un informe preliminar en 1958, el grupo publicó en 1960 el famoso reporte sobre el lenguaje ALGOL (ALGO Rithmic Language) 60, el cual fue revisado en 1962. El ALGOL 60 revisado fue el segundo lenguaje de programación de mayor importancia, y los esfuerzos de sus diseñadores dieron por resultados formalismos necesarios para lenguajes de programación. A fines de 1968, se propuso un nuevo ALGOL, ALGOL 68. Es significativamente diferente a ALGOLES diferentes, e incluye más facilidades y nuevos conceptos en lenguajes de programación.

Con el respaldo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, representantes de usuarios, fabricantes y Gobierno iniciaron en 1959 el diseño de un lenguaje orientado a negocios, que era muy necesario. El resultado fue COBOL - - - (COmmon Business Oriented Language), presentado en 1961. Al principio hubo cierta resistencia de los fabricantes de computadoras para construir compiladores COBOL; pero hoy en día COBOL es el mas popular de los lenguajes con orientación a negocios.

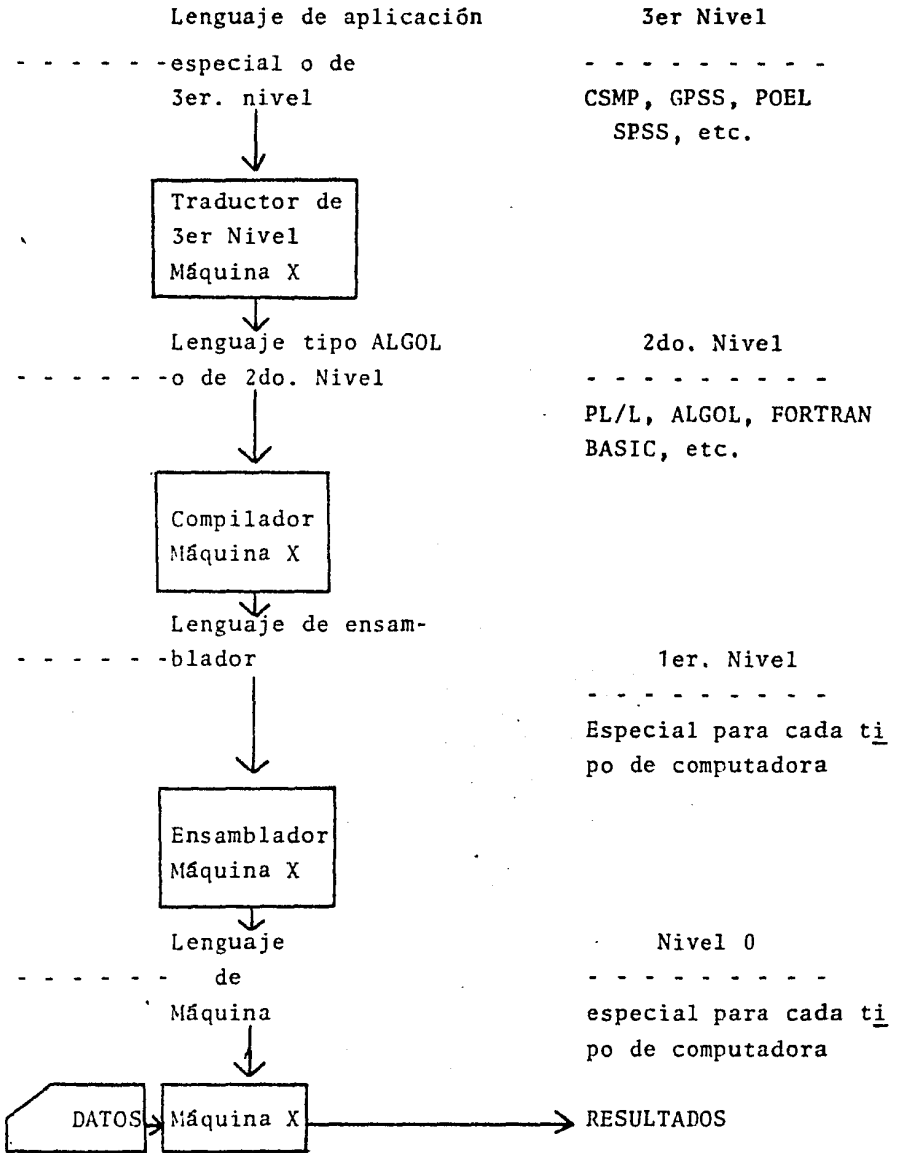
En 1964, IBM (SHARE) empezaron a diseñar un nuevo lenguaje más capaz que FORTRAN IV, que podía hacer esencialmente todo lo que ALGOL y COBOL podían hacer, y aún más. En 1965, IBM especificó su nuevo lenguaje, PL/1 (Programming language 1) y un año después introdujo los compiladores PL/1

con su nueva línea de computadoras 360.

Hay otros lenguajes tipo ALGOL que se han elaborado, pero son por lo general versiones del primer ALGOL (por ejemp. NELIAC, JOVIAL) ó el resultado de proyectos universitarios.

Poco después que se publicaron los primeros lenguajes de segundo nivel, los primeros lenguajes de tercer nivel empezaron a aparecer, la mayoría como resultado de los esfuerzos de grupos de investigación y de proyectos universitarios. Los primeros fueron lenguajes de simulación analógica a fines de la década de 1950 cuyo objetivo principal era simular operaciones de computadoras analógicas ó de resolver ecuaciones diferenciales ordinarias. Años mas tarde, se empezaron a introducir los lenguajes de tercer nivel al mercado comercial.

En años recientes, se han desarrollado lenguajes de alto nivel que operan en un modo "en-línea" (llamado también modo "interactivo, conversacional ó de tiempo compartido") en las computadoras modernas. La distinguida característica de tales sistemas de obtener resultados casi inmediatamente, en lugar de tener que esperar durante varias horas ó días como es el caso en operación por "tandas", es de mucha importancia.



PROCESO DE TRADUCCION COMUN

Muchos de los lenguajes "en-línea" son esencialmente versiones de algún lenguaje tradicional de operación en "tanda" pero con facilidades adicionales, poderosas para uso interactivo.

#### LENGUAJES NO ORIENTADOS Ò DE PROPOSITO GENERAL

Como ya se mencionó, la simulación se refiere a la representación de un sistema y de su comportamiento por medio de un modelo y tiene por objeto la predicción del comportamiento o respuesta a una cierta excitación. Si se simula el comportamiento de un sistema con un diseño propuesto, es posible determinar si satisface o no los requisitos de funcionamiento.

Si no los satisface es factible cambiar los parámetros del diseño en la simulación para alcanzar la meta deseada.

Se pueden hacer los modelos para los sistemas estocásticos y discretos de dos maneras:

Modelo "Por evento": el sistema es observado como procede de un evento a otro hasta que se completa la secuencia de eventos.

Modelo "por tiempo": El sistema es observado como cambia a través del tiempo. Su estado es actualizado en momentos fijos de tiempo hasta que llega el límite de tiempo que completa la simulación.



Los pasos a seguir para formular un programa de computadora para experimentar con el modelo de simulación pueden ser:

- 1) Hacer diagrama de flujo y otros documentos analogos
- 2) Codificar su lenguaje de computadora, ya sea de propósitos generales (FORTRAN, BASIC, ALGOL, COBOL, etc.) o especiales de simulación (GPSS, GASP, DYNAMO, etc.)
- 3) Utilizar técnicas de búsqueda de errores
- 4) Asignar valores a los datos de entrada y condiciones iniciales para empezar a simular
- 5) Generar datos con técnicas de generación
- 6) Formato de reportes de salida

El diagrama de flujo describirá la secuencia lógica de los sucesos que se van a desarrollar mediante al computadora, al generar las trayectorias de tiempo de las variables endógenas del modelo.

Una desventaja notable de los lenguajes de propósito general con los lenguajes de simulación es la inferioridad de sus técnicas de comprobación de errores.

Por otro lado si utilizamos un lenguaje de propósito general se tendrá una cantidad mínima de restricciones en el -

formato de los reportes de salida, sin embargo, si se emplea un lenguaje especial para simulación, entonces será necesario apegarse a los requisitos del formato de salida del lenguaje.

Desde el punto de vista del usuario, las principales ventajas de lenguajes de alto nivel sobre lenguajes de ensamblador y de máquina son:

- 1) Son más fáciles de aprender porque son más parecidos al lenguaje humano que al de máquina. No tiene uno que preocuparse de idiosincrasias de equipo como en lenguajes de ensamblador y de máquina, y están más orientados a resolver problemas.
- 2) Los programas son más fáciles de codificar. Además es más fácil leer, entender, modificar y corregir programas escritos en tales lenguajes. Debido a la producción de una-a- muchas instrucciones, se tienen que escribir menos instrucciones en lenguajes altos que en bajos para llevar a cabo una computación dada.
- 3) Los programas de lenguaje de nivel alto son, por lo general, independientes de máquina, y por consiguiente no están limitados a un sólo tipo de computadora. Tales programas pueden ser procesados por cualquier máquina con un compilador similar para el lenguaje. Esto es una ventaja

muy importante y quiere decir que dichos programas se pueden utilizar en diferentes centros de computación independientemente del equipo, evitando así la posible duplicación de costosos esfuerzos.

Algunas desventajas se adquieren cuando un programa se escribe en lenguaje de alto nivel.

- 1) Tiene que ser traducido o compilado por un traductor al lenguaje de máquina, así es que se paga un precio en tiempo de máquina.
- 2) El código objeto, generado por un compilador, puede ser ineficiente comparado con un programa equivalente escrito en lenguaje de ensamblador por un programador ó el código de segundo nivel, generado por un traductor, puede ser ineficiente comparado con un programa escrito en el lenguaje de segundo nivel por un programador.
- 3) Si el traductor no provee diagnósticos apropiados para corregir programas, es posible que el usuario tenga que gastar un tiempo razonable tratando de corregir el programa al nivel de lenguaje de ensamblador.

No obstante las desventajas, los lenguajes de alto nivel se han justificado; sus ventajas sobrepasan sus desventa

jas por mucho, el resultado es una reducción en el tiempo total de solución de problemas.

Así el reciente desarrollo de sistemas interactivos que permiten al usuario introducir instrucciones en línea en la computadora para que las ejecute inmediatamente, las nuevas facilidades gráficas en algunos de estos sistemas y la futura disponibilidad de comunicación-voz con la computadora, indican la tendencia de poner al hombre lejos del nivel bajo de la máquina y de llevar el poderío de la máquina al nivel del hombre.

Desde el desenvolvimiento de FORTRAN, muchos lenguajes de programación se han diseñado y desarrollado en la industria, instituciones de investigación y universidades. Sammet reportó, en 1970, ciento treinta y ocho lenguajes de segundo y tercer niveles en los Estados Unidos. Se debe añadir a éstos un número de otros lenguajes generalmente de tipo especial, cuya disponibilidad está restringida por intereses comerciales en algunas instituciones. Además, se han diseñado varios lenguajes en países europeos y soviéticos. El trabajo por Sammet es una de las mejores referencias sobre la historia y fundamentos de lenguajes de alto nivel en los Estados Unidos hasta principios de 1968.

En 1970, de las 82,000 instalaciones de computadoras en

todo el mundo, aproximadamente 70,000 de ellas usaban maquinaria hecha por empresas estadounidenses. Dado que la mayoría de las computadoras rara vez se instalan sin algún traductor o compilador, los lenguajes de alto nivel producidos por empresas de Estados Unidos forman la gran mayoría de los lenguajes disponibles en el mundo. Por consiguiente, la mayoría de los lenguajes de alto nivel incluyen formas del lenguaje inglés.

Al nivel de lenguaje de programación se pueden distinguir dos áreas de aplicación muy amplias: aplicaciones científicas y aplicaciones de negocios o de procedimiento de datos. FORTRAN y ALGOL han sido diseñados como científicos, mientras que PL/1 para ambas áreas. Sin embargo, los lenguajes se han usado algunas veces en áreas hacia las cuales no fueron orientadas originalmente.

En los últimos años con la venida de tiempo compartido y de consolas en línea, han surgido un gran número de lenguajes interactivos. Los usuarios de computadoras ya no están limitados al uso tradicional en tanda.

Algunos de los nuevos sistemas ahora proporcionan versiones en línea de ALGOL, COBOL y FORTRAN IV. Muchos de los lenguajes interactivos son esencialmente una versión de algún lenguaje tradicional en tanda, con facilidades adicionales para operación interactiva. El lenguaje de tiempo compar

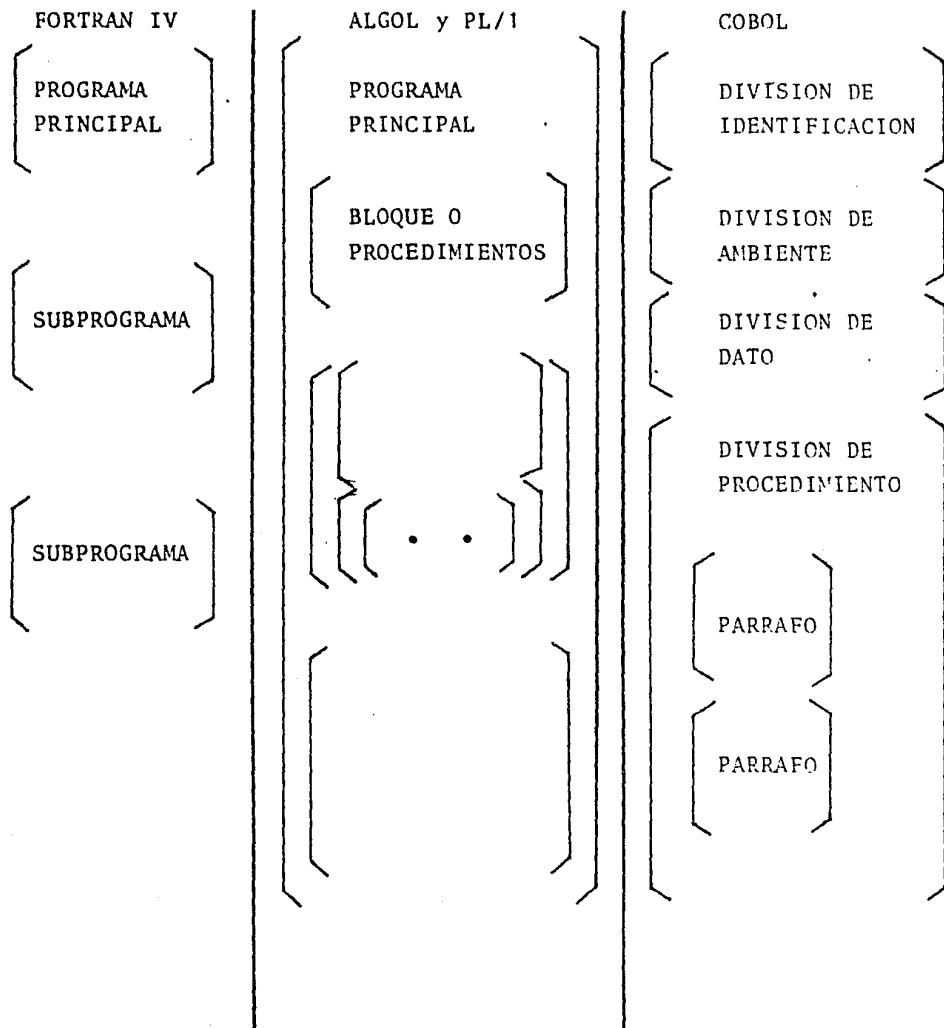
tido BASIC es uno de los mas populares y es esencialmente una porción de ALGOL con poderosas facilidades para interactuar; otros lenguajes que operan en un medio de tiempo compartido son el del sistema JOSS (uno de los primeros, utilizado por primera vez a mediados de la década de 1960), DIALOG y APL/360.

Practicamente todas las computadoras de aplicación general medianas y grandes son acompañadas por compiladores FORTRAN, ALGOL y COBOL. La mayoría de las minicomputadoras cuenta con un compilador FORTRAN, mientras que unas pocas tienen compiladores ALGOL y COBOL. Las computadoras medianas y de gran escala también proveen muchos de los lenguajes de tercer nivel así como operación en línea. Inclusive, algunas de las pequeñas máquinas cuentan con algún lenguaje conversacional hasta versiones de FORTRAN en línea.

Hoy en día, con los costos de Software y hardware, la selección del mejor lenguaje para una aplicación dada es un tema crítico de pesos y centavos.

La pregunta clave es: ¿Cuál es el mejor lenguaje para cierta aplicación? No hay metodología que guíe a la respuesta, sin embargo se debe considerar varios factores importantes para hacer una selección apropiada:

## ESTRUCTURAS DE PROGRAMAS EN FORTRAN, ALGOL, PL/1 y COBOL



- 1) Las características funcionales o no-técnicas del lenguaje y su traductor- - aspectos primordialmente económico, político y de tipo administrativo.
- 2) Las características técnicas del lenguaje - aspectos relacionados con las especificaciones y detalles del lenguaje; por ejemplo, la sintáxis o gramática de las instrucciones, el formato físico para introducir el programa, etc.

#### LENGUAJES ORIENTADOS DE SIMULACION

Para la simulación de un sistema existen dos alternativas: la primera enfocada a la realización de un programa en un lenguaje de propósito general, con lo cual se puede tener una mayor flexibilidad, debido a los siguientes puntos:

- 1.- Diseño y formulación de modelos matemáticos especiales.
- 2.- Tipo y formato de los reportes que se generan en forma no estandarizada
- 3.- La clase de experimentos de simulación que se realizan con el modelo

La segunda alternativa es utilizar paquetes de simulación precisamente desarrollados que persiguen los siguientes



objetivos:

- 1.- Producir una estructura generalizada para el diseño de modelos
- 2.- Proporcionar una forma rápida para la conversión de un modelo a un programa
- 3.- Flexibilidad en los posibles cambios del modelo de simulación.

A continuación mencionaremos algunos paquetes conocidos y algunos detalles generales de funcionamiento:

G.P.S.S

Es un lenguaje de simulación que fue creado con la finalidad de manejar eventos en forma interactiva.

En este tipo de lenguaje se pueden describir los sistemas de forma muy amplia y se tiene una mayor capacidad de control en el flujo de elementos directos en el modelo.

ESTRUCTURAS DEL G.P.S.S

El G.P.S.S. se maneja a base de bloques. Los bloques son una acción específica que representa al sistema.

Dentro del sistema existen ciertas entidades denomina--

das transacciones. Dichas transacciones se reflejan en el movimiento de bloque a bloque en el tiempo marcado por el proceso de simulación.

#### TIEMPO DURACION

El programa calculará un tiempo de acción o duración para cada transacción que entra en un bloque, con lo cual la transacción deberá permanecer en el bloque durante este intervalo, antes de utilizar un cambio hacia otro bloque.

#### ENTIDADES G.P.S.S.

- 1.- Dinámicas
- 2.- De Equipo
- 3.- Estadísticas
- 4.- Operacionales

1.- Las entidades dinámicas son las transacciones, son los elementos que recorren los bloques del modelo.

2.- Las entidades de equipo son usadas por las transacciones. Se dividen en:

Instalaciones

Almacenamiento

Interceptor lógico

Las instalaciones pueden ser usadas por una transacción, los datos que pueden obtener son:

- Tiempo y porcentaje de uso
- Tiempo máximo y promedio de ocupación
- Números de transacciones

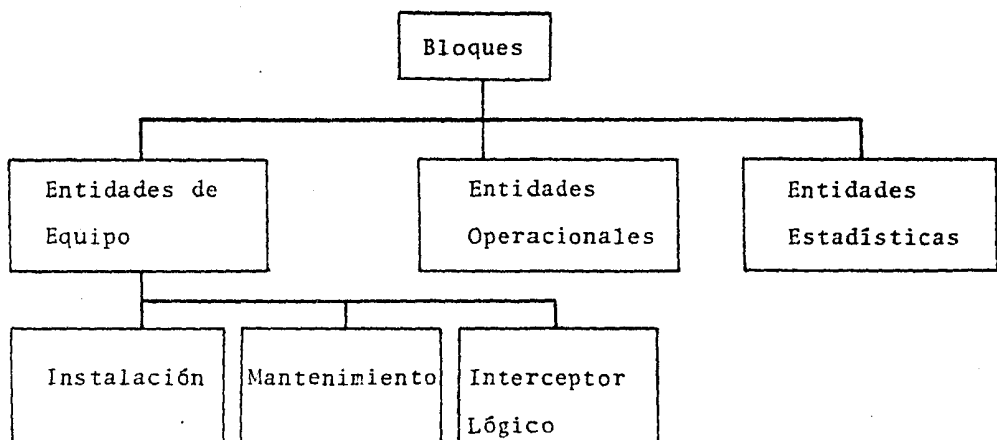
El almacenamiento puede tener diferentes transacciones a la vez. Los datos que se pueden obtener son:

- Porcentaje y tiempo de uso
- Tiempo medio de uso

En las entidades estadísticas actualizan la información de salida de todos los equipos.

Las entidades operacionales tienen como funciones:

- Crear o destruir transacciones
- Alterar atributos del Sistema
- Modificar el flujo de transacciones
- Retrazar la transacción de un bloque por tiempo indefinido.



BLOQUES UTILIZADOS EN EL MODELO

## PROPIEDAD DE LAS TRANSACCIONES

Las transacciones tienen dos atributos

- a) Prioridad
- b) Parámetros

a) A cada transacción se le asigna una prioridad, dicha prioridad está compuesta de 8 niveles.

La prioridad puede resolver la competencia de varias transacciones al ocupar un bloque.

b) Los parámetros son números enteros positivos que se asocian a cada transacción, las formas de los parámetros son:

1.- Direccionamiento indirecto: Cuando se define un bloque es necesario suministrar algunos factores como la media, el número de equipo, etc. En algunos casos no es necesario definir dichos factores ya que a través del direccionamiento indirecto es posible asignar el factor faltante.

2.- Variable Entrada: los parámetros pueden ser una variable que llame a la función de bloque.

## DYNAMO

Dynamo es un paquete de simulación en el cual se pueden realizar simulaciones de Sistemas Económicos a gran escala, los cuales se describen por medio de modelos econométricos.

Fue desarrollado principalmente en el Instituto Tecnológico de Massachussetts.

Dynamo fue diseñado en forma similar a fortran con el objeto de escribir diagramas de flujo para Sistemas Económicos e Industriales elaborando una serie de símbolos y cifras especiales.

Dynamo utiliza dos tipos distintos de instrucciones, ecuaciones y direcciones para obtener soluciones numéricas del grupo de ecuaciones diferenciales y en diferencias que describen el sistema.

Las componentes básicas de Dynamo son similares a las de fortran ya que incluyen:

- 1.- Variables
- 2.- Constantes
- 3.- Subíndices
- 4.- Ecuaciones
- 5.- Funciones

Las variables se subdividen a su vez en niveles auxilia

res, índices, variables suplementarias, postulados alfanuméricos y valores iniciales.

Las principales funciones de Dynamo son:

- 1.- Valores variables uniformes
- 2.- Valores variables normales
- 3.- Retrasos de tercer orden
- 4.- Funciones de paso
- 5.- Funciones de desecación o sesgo
- 6.- Prototipos
- 7.- Funciones máxima y mínima
- 8.- Funciones de restricción
- 9.- Funciones de interrupción
- 10.- Tabla
- 11.- Resumen

Las corridas en Dynamo pueden ser divididas en:

- a) Fase de entrada- lectura de especificaciones del modelo.
- b) Fase de Generación - transformación de especificaciones
- c) Fase de Corrida - cálculo de los valores de las variables del modelo, generando los datos de impresión y graficación.

d) Fase Nueva Corrida- modificación de las constantes en preparación de nuevas corridas.

El estado del sistema al principiar la corrida de simulación se especifica mediante los valores iniciales o condiciones originales.

A continuación la computadora determinará los valores de las variables endógenas del sistema al concluir cada intervalo.

Dynamo es un lenguaje de simulación con incremento de tiempo fijo, cada intervalo, posee la misma longitud.

El tiempo se puede adelantar sobre tantos intervalos como se desee.



CAPITULO V

SIMULACION DE UN SISTEMA ECONOMICO

## SIMULACION DE UN SISTEMA ECONOMICO

### MARCO ECONOMICO DE LA EMPRESA

Durante el año 1982, la planta industrial y en general toda la economía mexicana tuvo que afrontar una crisis muy severa.

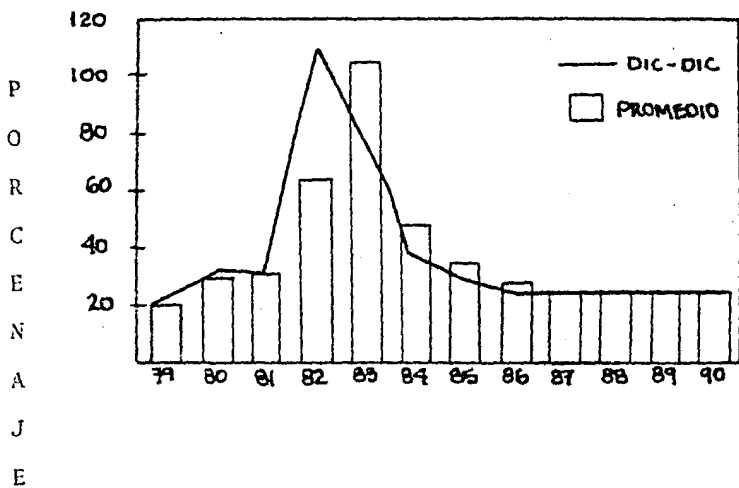
Dado el endeudamiento excesivo con el extranjero y después de la firma con el Fondo Monetaria Internacional la administración pública se veía obligada a contraer el déficit del Producto Interno Bruto de un 16-17 por ciento de 1982 a un 8.5% en 1983 y con la perspectiva de reducirlo de 5.5 a -3.5 para 1984 y 1985.

Para lograr tal objetivo la política de precios y tarifas en bienes y servicios fue modificada, con el propósito de reducir el subsidio implícito en la venta de dichos bienes. De tal forma hubo un alza considerable en el precio de los energéticos, servicios etc.

Al realizarse estas modificaciones el déficit público tuvo cambios favorables, por la contracción del gasto, así como, el aumento de ingresos tributarios.

## INDICE DE PRECIOS

## TASA DE CRECIMIENTO



## POLITICA DE PRECIOS

La política de precios pretendía proteger el poder adquisitivo del consumidor a través del control de precios en productos básicos.

Por el contrario los artículos suntuarios tuvieron un alza elevada al dársele salida a la inflación reprimida. Con ésta se pretendía el funcionamiento adecuado del mercado y establecer condiciones favorables para la producción interna de bienes y servicios.

## POLITICA CAMBIARIA

La principal modificación realizada, fue la reapertura del mercado con un sistema similar al de agosto 1982.

El objetivo de estas modificaciones fue reunificar el mercado manteniendo un tipo de cambio competitivo acorde a las condiciones generales de la economía.

Dada la escasez de divisas, el tipo de cambio libre se ubicó a un nivel superior al vigente en la zona fronteriza con los Estados Unidos.

El tipo de cambio controlado tenía una tasa superior que la requerida para mantener la paridad simple de compra.

Aunque esto permitía un grado de maniobra en el deslizamiento, provocó el alza de los costos de producción agravando la situación financiera de las empresas con deudas en el exterior.

#### CONCLUSION

Es importante mencionar el marco económico en el que se desarrolla la Empresa Isabel, S. A. ya que la misma se vió afectada por las políticas cambiarias y de importación adaptadas por la administración Pública.

A partir de agosto de 1982 las ventas de la Empresa han descendido en forma bastante considerable, el mes más bajo en ventas fue el mes de octubre, pero a principios de 1983 se tuvo una recaída mayor como resultado de la inestabilidad en la Economía Nacional.

## ESTRUCTURA DEL MODELO

La primera fase es un modelo estocástico con el cual se calcula la demanda diaria.

En este primer modelo se usa el método de mínimos cuadrados en el que se trata de obtener los valores de los coeficientes de la función

$$y = f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \dots + a_m x^m$$

de manera que hagan mínima la suma de los cuadrados de los residuos

El valor de esta suma es:  $\sum_{i=1}^n R_i^2 = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 X_i \dots + a_m X_i^m - Y_i)^2$

Se tienen las ventas y el ingreso real, en un lapso de tiempo. Se trata de aproximar un copartamiento a una recta para lo cual se calcula en primera instancia un modelo de primer orden.

De este primer paso se obtiene una desviación standar, y los parámetros del modelo.

En seguida se calcularon los parámetros de un modelo de segundo orden con una variable independiente representada también por el ingreso real.

La comparación de las desviaciones en ambos modelos hace que elijamos aquél de segundo orden.

Después de estos dos pasos se calcula la media y la desviación standar para cada mes, de la diferencia de estos valores del modelo (2o. Orden) y los datos reales,

Se generará un número aleatorio con distribución normal para la media y desviación obtenidas y se considerará un factor de ajuste en el modelo (variable concomitante),

#### PARAMETROS Y VARIABLES

MES: Mes en el cual va a empezar la simulación

INGRESO REAL: Valor del ingreso real dada por el usuario

NUM. REP.: Número de meses ó repeticiones de la simulación

AREA Y AREADATOS: Datos para la simulación de 1 año

DEMANDA TOTAL: Es el valor que genera el programa para el ingreso real

Ao1 : Parámetros modelo primer orden

A 11: Parámetros modelo primer orden

Ao2 : Parámetros modelo segundo orden

A12 : Parámetros modelo segundo orden

A22 : Parámetros modelo segundo orden

DEMANDA (I): Arreglo con 35 valores generados por el modelo de primer orden

DEMANDA A2(I): Arreglo con 35 valores generados para el modelo de segundo orden

DESVIACION: Desviación standar modelo de primer orden

DESVIACION 2: Desviación standar para el modelo de segundo -  
orden

ARRAY INGREAL: Arreglo que contiene los valores de entrada -  
del ingreso real

ARRAY VENTAS: Arreglo que contiene los valores de las ventas  
durante un lapso de tiempo

ARRAY MEDIA: Arreglo que se genera como la media de las dife  
rencias entre el modelo considerada y los valo  
res reales de 1 mes

ARRAY DESVIACION: Arreglo con la desviación standar por mes

VALEATORIA: Variable que dependerá del mes en que se hizo la  
simulación





ATA 70 / PEPL / SEMINARIO UN DISK

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
***ESTE PROGRAMA GENERA INFORMACION DE DEMANDA A PARTIR DE DATOS
TECLEADOS POR EL USUARIO CON BASE A UN MODELO DE PRIMER
O SEGUINDO ORDEN DEPENDIENDO DE LA DESVIACION ESTANDAR.
AL ACABAR DE CORRER, PEDIRA DATOS DE INGRESO REAL Y EFECTUARA
TANTAS DEMANDAS COMO NUMERO DE EXPERIMENTOS SE DISEÑEN.
A CONTINUACION PRESENTARA SI SE RETORNE GRABAR EN DISCO LOS
RESULTADOS DE Y MESES, LO CUAL PERMITIRA PODER CORRER EL
PROGRAMA DE INVENTARIOS Y DIFERIR POSTERIORMENTE UNA SITACORA
CON DATOS SIGNIFICATIVOS PARA LA EMPRESA.

ARREGLOS:
INREAL CONTIENE INFORMACION OBTENIDA DEL BANCO DE
MEXICO Y REPRESENTA EL INGRESO REAL QUE SE
OBTIENE AL DIVIDIR EL PRODUCTO NACIONAL
BRUTO ENTRE EL INDICE DE PRECIOS.
VENTAS CONTIENE LAS VENTAS DE LA EMPRESA EN ESOS
PERIODOS (15 MESES) CON UN DEFASAMIENTO DE
TRES MESES.
ATADATOS DATOS PARA PRUEBA EN DISCO TOMADOS DE LOS
ULTIMOS MESES DEL MODELO.
TODOS LOS DEMAS ARREGLOS SON GENERADOS AL MOMENTO
DE CORRER EL PROGRAMA, Y CONTIENEN INFORMACION
RELATIVA A LA GENERACION DEL MODELO.

PROCEDURAS:
CALCULA OBTIENE MEDIAS Y DESVIACIONES PARA CADA
MES DEL AÑO A PARTIR DE DATOS DE LA EMPRESA.
GENERAR OBTIENE NUMEROS ALATORIOS PARA CADA MES
EN EL PROCESO DE PANTALLA, Y POR DIA EN EL
PROCESO DE EJECUCION EN DISCO.

INSTALACION : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
AUTOR      : JOSE L. RODRIGUEZ GUERRA
            (ANTONIO) TRUJANO RUIZ
            CARLOS LOVE GUESTA
            LUIS FARRERA CARPIZO.

REALIZACION : OCTUBRE DE 1984 .
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

00000200 000:00001C
00000300 000:00001C
00000400 000:00001C
00000500 000:00001C
00000600 000:00001C
00000700 000:00001C
00000800 000:00001C
00000900 000:00001C
00001000 000:00001C
00001100 000:00001C
00001200 000:00001C
00001300 000:00001C
00001400 000:00001C
00001500 000:00001C
00001600 000:00001C
00001700 000:00001C
00001800 000:00001C
00001900 000:00001C
00002000 000:00001C
00002100 000:00001C
00002200 000:00001C
00002300 000:00001C
00002400 000:00001C
00002500 000:00001C
00002600 000:00001C
00002700 000:00001C
00002800 000:00001C
00002900 000:00001C
00003000 000:00001C
00003100 000:00001C
00003200 000:00001C
00003300 000:00001C
00003400 000:00001C
00003500 000:00001C
00003600 000:00001C
00003700 000:00001C
00003800 000:00001C
00003900 000:00001C
00004000 000:00001C
00004100 000:00001C
00004200 000:00001C
00004300 000:00001C

```

BEGIN

INTEGER NU1,REP,1,KL,4U,REP,1,J,K,L,M,N,MES;  
FILE ENT (KIND "RE"ITE);  
SAL (KIND "REMOTE);

ARCHAOTOS (KIND=DISK,MAXRECSIZE=33,BLOCKSIZE=1080,UNITS=1,  
TITLE="MATR/ARCH/TESTS.",PROTECTION=SAVE,  
FLEXIBLE,ARCHSIZE=00);

FORMAT UNO(13,13,17);

LABEL EXIT;  
REAL DL4AND3, SJJXY, TOTALXY, SUMY, SUMXX, SUMY, TOTALXN, SUMXXX, TOTALXXX,  
SUMXXX, TOTALXXX, TOTALXXX, SUMXXY, DET, AUI, A11, TOTALDEMO,  
TOTALDE2, DESVIACION0, A02, A11, A23, DET1, TOTALDE42, TOTALDE2,  
DESVIACION0, U1, U2, VALEATORIA, NORMAL, INGRESOREAL,

ARRAY DEMANDA(17,35), DEMANDA2(0:35), DESVIACION(0:35), ARRING(0:1000),  
MEDIAC(11);  
INTEGER ARRAY ARRDE(0:1000);  
VALUE ARRAY INGRESAL

(00.030,02.153,12.144,12.207,12.738,10.102,07.212,09.241,17.395,  
13.335,10.833,07.303,05.575,07.387,08.233,07.979,11.398,12.275,  
09.393,08.124,07.373,07.394,09.283,05.302,03.037,03.659,03.788,  
02.475,02.25,02.513,12.132,09.692,1.7503,1.8712,1.8348,.73549);

VALUE ARRAY VENTAS;

(03.003,14.213,34.345,25.440,29.260,26.353,26.126,21.952,17.110,  
10.773,14.331,17.221,14.613,23.476,22.069,21.160,26.784,21.485,  
13.979,17.078,11.333,21.316,17.946,23.360,22.521,15.706,20.230,  
23.054,13.063,19.033,07.039,11.181,13.006,1.9368,7.7328,1.7496);

VALUE ARRAY ARRDE(0:1000);

(1.5712,0.3333,0.3143,0.2475,0.2267,0.2513,0.2122,.92692,1.7585,  
1.5712,0.3333,0.3143,0.2475,0.2267,0.2513,0.2122,.92692,1.7585);

00004500 000:0000:0  
H.0000 IS SEGMENT 00G3  
00004600 003:0000:1  
00004700 003:0000:1  
DATA IS 0005 LONG  
00004800 003:0000:1  
DATA IS 0005 LONG  
00004900 003:0000:1  
00005000 003:0000:1  
00005100 003:0000:1  
DATA IS 0005 LONG  
00005200 003:0000:1  
00005300 003:0000:1  
00005400 003:0000:1  
00005500 003:0000:1  
00005600 003:0000:1  
00005700 003:0000:1  
00005800 003:0000:1  
00005900 003:0000:1  
00006000 003:0000:1  
00006100 003:0000:1  
00006200 003:0000:1  
DATA IS 0005 LONG  
00006300 003:0000:1  
00006400 003:0000:1  
00006500 003:0000:1  
00006600 003:0000:1  
DATA IS 0024 LONG  
00006700 003:0000:1  
00006800 003:0000:1  
00006900 003:0000:1  
00007000 003:0000:1  
00007100 003:0000:1  
DATA IS 0024 LONG  
00007200 003:0000:1  
00007300 003:0000:1  
00007400 003:0000:1  
DATA IS 000F LONG



```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
X  PROCEDURE MEDIA Y DESVIACION STAND. X
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

PROCEDURE CALCULA;
FOR K:=0 STEP 1 UNTIL 11 DO BEGIN
  MEDIA[K]:=-( (DEMANDA2[K]-VENTAS[K])+(DEMANDA2[K+12]-
    VENTAS[K+12])+(DEMANDA2[K+24]-VENTAS[K+24]))/3;
  MEDIA[0]:=-( (DEMANDA2[12]-VENTAS[12])+(DEMANDA2[24]-
    VENTAS[24]))/2;
  WRITE(SAL, //, 'MEDIA: ', MEDIA[K]);
  DESVIACION[K]:=((DEMANDA2[K]-VENTAS[K])**2+(DEMANDA2[K+12]-
    VENTAS[K+12])**2+(DEMANDA2[K+24]-VENTAS[K+24])**2
    )/3)**.5;
  DESVIACION[0]:=((DEMANDA2[12]-VENTAS[12])**2+(DEMANDA2[24]-
    VENTAS[24])**2)**.5;
  WRITE(SAL, //, ' DESVIACION: ', DESVIACION[K]);
END;

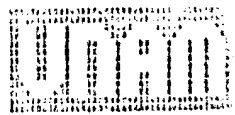
```

2

```

00007600 003:0000:1
00007700 003:0000:1
00007800 003:0000:1
00007900 003:0000:1
00008000 003:0000:1
00008100 003:0000:1
00008200 003:0001:2
00008300 003:0005:2
00008400 003:000A:5
00008500 003:000E:1
00008600 003:0010:1
00008700 003:0016:2
00008800 003:0020:1
00008900 003:0025:2
00009000 003:0028:2
00009100 003:002E:5
00009200 003:002F:5
00009300 003:003C:2
DATA IS 0005 LONG

```



XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
Y PROCEDURE DE GENERACION ALEATORIA Y  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```
PROCEDURE GENERA; BEGIN  
X:=TIME(1);  
U1:=RANDOM(X);  
U2:=RANDOM(X);  
NORMAL:=((-2)*LN((U1+.0000001)**.5)*COS(6.2830*(U2+.0000001)));  
VALEATORIA:=(DESVIACIONES)*NORMAL+MEDIAS; END;  
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
SUMXY:=INGREAL[I]*VENTAS[I];  
TOTALXY:=TOTALXY+SUMXY;  
WRITE(SAL,"LA SUMATORIA XY. >");  
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
SUMX:=SUMX+INGREAL[J];  
WRITE(SAL,"LA SUMATORIA X. >");  
WRITE(SAL,"//,SUMX");  
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
SUMY:=SUMY+VENTAS[K];  
WRITE(SAL,"LA SUMATORIA Y. >");  
WRITE(SAL,"//,SUMY");  
FOR L:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
SUMXX:=INGREAL[L]**2;  
TOTALXX:=TOTALXX+SUMXX;  
WRITE(SAL,"//,TOT ALXX");  
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
SUMXXX:=INGREAL[I]**3;  
TOTALXXX:=TOTALXXX+SUMXXX;  
WRITE(SAL,"//,TOTALXXX");  
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
SUMXXXX:=INGREAL[J]**4;  
TOTALXXXX:=TOTALXXXX+SUMXXXX;  
WRITE(SAL,"//,TOT ALXXXX");  
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
SUMXXY:=(INGREAL[K]**2)*VENTAS[K];  
TOTALXY:=SUMXXY+TOTALXY;  
WRITE(SAL,"//,TOTAL(XY);  
XMODELO DE PRIN.4 ORDEN.  
WRITE(SAL,"*****");  
DET:=(35*TOTALXX)-(SUMX**2);  
AD1:=(SUMY*TOT ALX)-(SUMX*TOTALXY)/DET;  
A11:=(35*TOT ALX)-(SUMX**2)/DET;  
WRITE(SAL,"//,A11");  
WRITE(SAL,"//,AD1");  
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL 35 DO BEGIN  
DETA(AD1E1):=AD1+(A11*INGREAL[I]);  
TOTALDETA:=DETA+DANG(LASASCII)**2;  
WRITE(SAL,"//,DETA");  
DESVIACION:=(TOTALDETA/35)**.5;  
WRITE(SAL,"//,DESVIACION");
```

```
2 00009500 003:0004A12  
00009600 003:0004A12  
00009700 003:0004A12  
00009800 003:0004A12  
00009900 003:0004A12  
00010000 003:0004A12  
2 00010100 003:0004B15  
00010200 003:0004B15  
00010300 003:0004F11  
00010400 003:0004F11  
00010500 003:0004F11  
2 00010600 003:0005F15  
00010700 003:0005F15  
00010800 003:0005F11  
2 00010900 003:0006B13  
00011000 003:0006B15  
00011100 003:0007F12  
2 00011200 003:0007F12  
00011300 003:0007F15  
2 00011400 003:0007F15  
00011500 003:0007F11  
2 00011600 003:0007F11  
00011700 003:0008B12  
2 00011800 003:0008B11  
00011900 003:0008B15  
2 00012000 003:0008B11  
00012100 003:0008B12  
00012200 003:0009B12  
2 00012300 003:0009B15  
00012400 003:0009B14  
00012500 003:0009F10  
2 00012600 003:0009F12  
00012700 003:000A12  
2 00012800 003:000A20  
00012900 003:000A40  
00013000 003:000A52  
2 00013100 003:000A714  
00013200 003:000B012  
2 00013300 003:000B10  
00013400 003:000B10  
00013500 003:000B12  
2 00013600 003:000B012  
00013700 003:000B12  
2 00013800 003:000C10  
00013900 003:000C24  
00014000 003:000C34  
2 00014100 003:000C010  
00014200 003:000C12  
00014300 003:000C12  
00014400 003:000C12  
00014500 003:000C12  
00014600 003:000B12  
00014700 003:000B13  
00014800 003:000B12  
00014900 003:000B11  
00015000 003:000C12  
2 00015100 003:000B12  
00015200 003:000C11  
00015300 003:000F11  
00015400 003:000F11  
00015500 003:000F11  
2 00015600 003:000F11  
00015700 003:000F11
```



R \$ATR/O/PEPE/SEMINARIO

#RUNNING 2123  
LA SUMATORIA XY:  
TOTALXY=5203.50053245  
LA SUMATORIA X:  
SUMX=248.892910001  
LA SUMATORIA Y:  
SUMY=455.9042  
TOTALXX=2379.93381096  
TOTALXXX=26068.3553743  
TOTALXXXX=312182.55418  
TOTALXXY=50960.6282206

\*\*\*\*\*

A01=12.4540589491  
A11=0.88396305376  
DESVIACION0=5.42892928305  
\*\*\*\*\*  
DET1=283491122.891  
A02=7.4460411624  
A12=2.8287508588

A22=-0.129736075933  
DESVIACION2=4.80497365404  
MEDIA01=1.48633765231  
DESVIACION01=6.37013797  
MEDIA11=-1.20938333536  
DESVIACION11=3.48505842185  
MEDIA21=2.03287793871  
DESVIACION21=2.5713955489  
MEDIA31=4.53330847465  
DESVIACION31=6.7864017118  
MEDIA41=5.41808134814  
DESVIACION41=5.5444411585  
MEDIA51=2.46275205682  
DESVIACION51=3.81870615625  
MEDIA61=0.365259173865  
DESVIACION61=4.22705621255  
MEDIA71=-1.38251112269  
DESVIACION71=2.88704701024  
MEDIA81=-2.71485453851  
DESVIACION81=5.14128762955  
MEDIA91=-4.04788764736  
DESVIACION91=5.8569889076  
MEDIA101=-3.87151535484  
DESVIACION101=3.92283333768  
MEDIA111=-2.57701875656  
DESVIACION111=5.46257944842

DAME EL NUMERO DE EXPERIMENTOS --->>

#?

12

DAME EL INGRESO REAL ---->>

1,23

DAME EL MES DEL CUAL DEBEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>

0

DEMANDATOTAL=16.7730454949

DAME EL INGRESO REAL ---->>

1,23

DAME EL MES DEL CUAL DEBEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>

1

DEMANDATOTAL=8.7161583451

DAME EL INGRESO REAL ---->>

1,23

DAME EL MES DEL CUAL DEBEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>

2

DEMANDATOTAL=17.2100687571

DAME EL INGRESO REAL ---->>

1,23

DAME EL MES DEL CUAL DEBEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>

3

DEMANDATOTAL=15.6384437869

DAME EL INGRESO REAL ---->>

1,23

DAME EL MES DEL CUAL DEBEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>

4

DEMANDATOTAL=8.2338483584

DAME EL INGRESO REAL ---->>

1,23

DAME EL MES DEL CUAL DEBEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>

5

DEMANDATOTAL=17.8789410525

DAME EL INGRESO REAL ---->>

1,23  
DAME EL MES DEL CUAL DESEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>  
6  
DEMANDATOTAL=6.1295680672

DAME EL INGRESO REAL --->>  
1,23  
DAME EL MES DEL CUAL DESEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>  
7  
DEMANDATOTAL=12.4203862186

DAME EL INGRESO REAL --->>  
1,23  
DAME EL MES DEL CUAL DESEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>  
8  
DEMANDATOTAL=6.8465834292

DAME EL INGRESO REAL --->>  
1,23  
DAME EL MES DEL CUAL DESEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>  
9  
DEMANDATOTAL=2.41434774094

DAME EL INGRESO REAL --->>  
1,23  
DAME EL MES DEL CUAL DESEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>  
10  
DEMANDATOTAL=4.07827363734

DAME EL INGRESO REAL --->>  
1,23  
DAME EL MES DEL CUAL DESEAS LA DEMANDA  
(ENE=0,FEB=1,...,DIC=11) --- >>  
11  
DEMANDATOTAL=2.86582378938

QUIERES GRABAR LOS DATOS GENERADOS  
( 1=SI Y 0=NO ) --->>



CUANTOS QUIERES GRABAR --->>

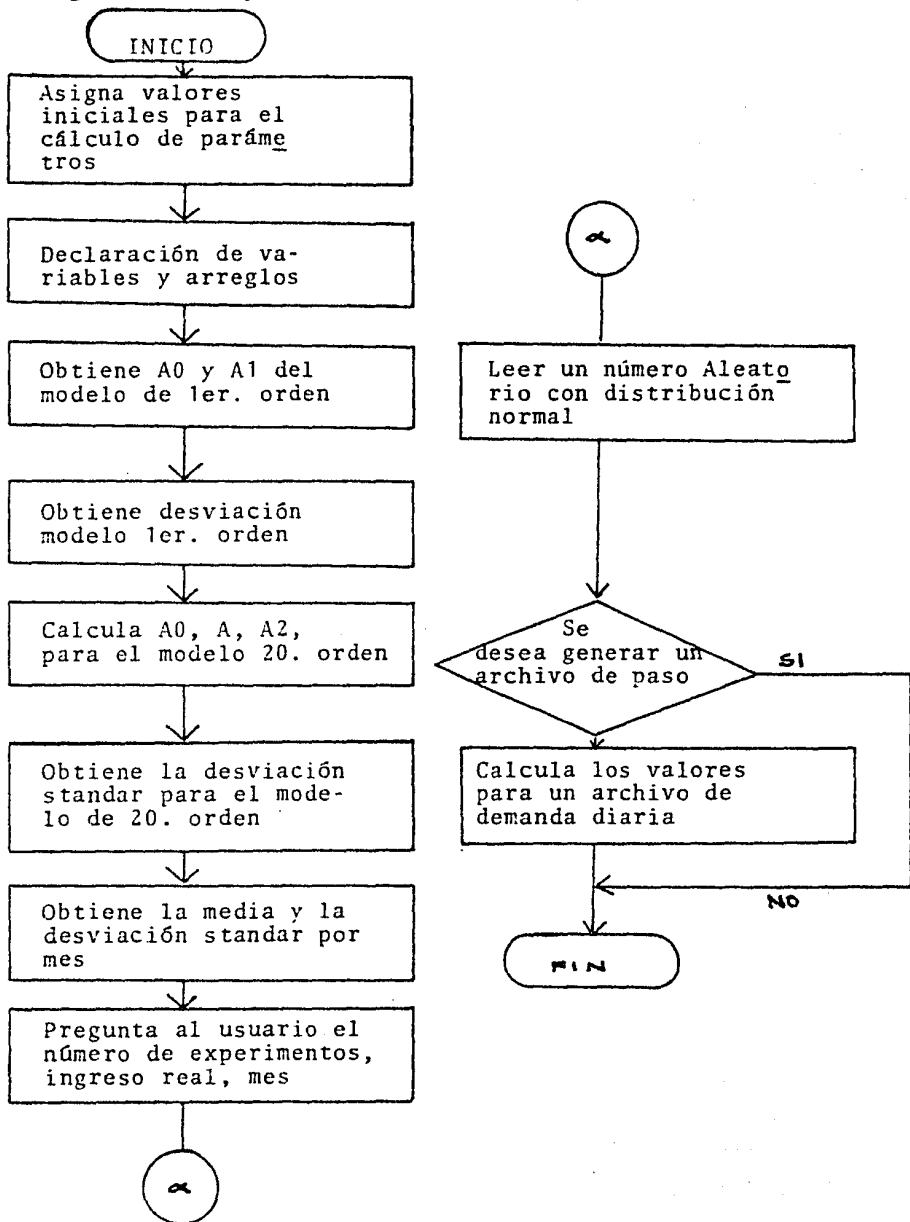
12

\*\*\* FIN DE LA CORRIDA DEL PROGRAMA \*\*\*

#ET=3116.7 PT=3.4 ID=2.0

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

El diagrama de flujo del proceso es el siguiente:



La segunda fase es un sistema de control de la Producción e Inventario.

Para analizar los Sistemas es conveniente inicialmente realizarlo por separado.

Los principales problemas de un Sistema de Producción son la disponibilidad y asignación de recursos, tiempos de procesos, fallas de máquina y fluctuaciones de la demanda.

Las soluciones a los problemas de la planeación deberán de satisfacer esencialmente los siguientes objetivos:

- 1.- Completar a tiempo las órdenes
- 2.- Reducir en lo posible el capital invertido y los costos de operación
- 3.- Distribuir en forma equilibrada las cargas de trabajo entre las instalaciones de producción.

Un sistema de Control de Inventarios tiene por objeto el control de las materias primas como del producto terminado.

El Control de Inventarios pertenece a un grupo de modelos estocásticos. En este tipo de modelos sus características están dadas por una función.

En general los problemas de un Inventario se relacionan con la determinación de las cantidades de pedidos y los puntos de reorden de tal manera que se reduzcan al mínimo los -

siguientes costos:

- 1.- Costos de Sosténimiento
- 2.- Costos de Implantación
- 3.- Costos de falta de Producto

#### DESCRIPCION DEL METODO

A continuación ilustraremos el método utilizado para la simulación de los Sistemas anteriormente escritos.

Se considera un Sistema en el cual la demanda y el tiempo de producción se representan por dos valores estocásticos con distribuciones conocidas.

Cada día se reducirá el nivel de inventarios como resultado de la demanda total en un día.

Cuando el nivel de inventario es menor o igual al punto de reorden ( ROP ), se enviará una orden de producción. El número de unidades del producto ordenado se deberá de sumar al monto del inventario.

-Nuestro Sistema de Inventario se puede describir por -  
las siguientes variables y relaciones.

- a) VARIABLES EXOGENAS - Son las externas al Sistema, algunas de las mismas pueden ser de tipo aleatorio y -  
otras pueden expresarse en la forma de tendencias de tiempo.
- D Demanda diaria en días de producción para el  $i$ -enésimo día,  $i = 1, 2, 3, \dots$
- PLT Tiempo de conducción de la producción en días de  $J$  - enésima por día,  $J = 1, 2, 3, \dots$
- b) PARAMETROS
- C1 Costos de sostenimiento por unidad de tiempo unitario
- C2 Costo de implantación por orden
- C3 Costo de ruptura por unidad de tiempo unitario
- L Constante para mantener el nivel de inventario con una probabilidad de quedarse sin monto alguno
- B1 Nivel de inventario inicial
- IT Período total de tiempo para una corrida de simulación
- c) VARIABLES DE ESTADO
- IND Tiempo de comparación (contador)
- T Tiempo en el que se debe completar una orden de producción

- VI Nivel de inventario
- AD Demanda diaria promedio en días de producción calculada como un promedio móvil de los  $M$  días precedentes
- ALT Tiempo promedio de conducción, calculado como un promedio móvil de las  $N$  ordenes previas
- SDD Desviación standar de la demanda calculada como promedio móvil de los  $M$  días precedentes
- ROP Punta de reorden
- EOQ Orden correspondiente al lote económico
- En el caso de que el modelo no sea para lote económico, las fórmulas para calcular EOQ y POP deberán ser cambiadas para las más indicadas
- El promedio móvil utilizado tiene un rango de tres unidades, el rango no es una cantidad fija dependerá del tipo de Sistema y sus necesidades.
- d) VARIABLES ENDOGENAS - Son aquellas que pertenecen al sistema y actúan dentro del mismo.
- TC1 Costo total de sostenimiento
- TC2 Costo total de implantación
- TC3 Costo total de ruptura

## f) IDENTIDADES

$$AD = \frac{\sum_{i=1}^{J+(M-1)} D}{M} = \frac{\text{Sum } D}{M}$$

$$ALT = \frac{\sum_{i=K}^{K+PLT} N}{N} = \frac{\text{SPLT}}{N}$$

$$SDD = \sqrt{\frac{(\text{SUM } D)^2}{M} - \frac{(\text{SUM } D)^2}{(M)^2}}$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot AD \cdot C2}{C1}} \sqrt{\frac{C1 + C3}{C3}}$$

$$ROP = ALT \cdot Ad + K \cdot \sqrt{ALT} \cdot SDD$$

## DESCRIPCION DEL PROGRAMA

Para la mejor descripción del proceso seguiremos el diagrama de flujo de la figura

Se leen los parámetros C1, C2, C3, K, B1, 1T, al igual que las funciones de densidad de D y PLT.

Se generan M valores para D y N valores para PLT, con ésto se obtendrán los valores para el cálculo de los promedios móviles AD y ALT.

Entonces se fijará el nivel de inventario igual a nivel inicial y se genera la demanda  $D$ .

El nivel del inventario se iguala al nivel inicial y se genera una demanda diaria  $D$  tomando en cuenta el modelo inicial para la generación de la demanda. Se calcula un tiempo de conducción de la producción, demanda promedio, la desviación standar de la demanda, el punto de reorden y el lote económico a ordenarse. Posteriormente si el tiempo  $IND$  es igual al período total del tiempo  $IT$  habrá terminado la simulación y sólo restará imprimir los resultados. En caso que  $IND$  no sea igual a  $IT$  revisamos el parámetro  $IND$  para determinar si ha transcurrido el suficiente tiempo  $T$  para que se complete una orden de producción. Si es así, el nivel del inventario se incrementa en una magnitud similar al punto de reorden, en caso de no haber llenado algún orden el inventario se reduce en la demanda diaria.

Si el nivel de inventario alcanza un nivel negativo se origina una escases en el producto. Cuando se produce una escases se supone una pérdida por completo en las ventas.

Consecuentemente el nivel del inventario se reinstaura a cero, lo que ocurre en  $VI=0$ .



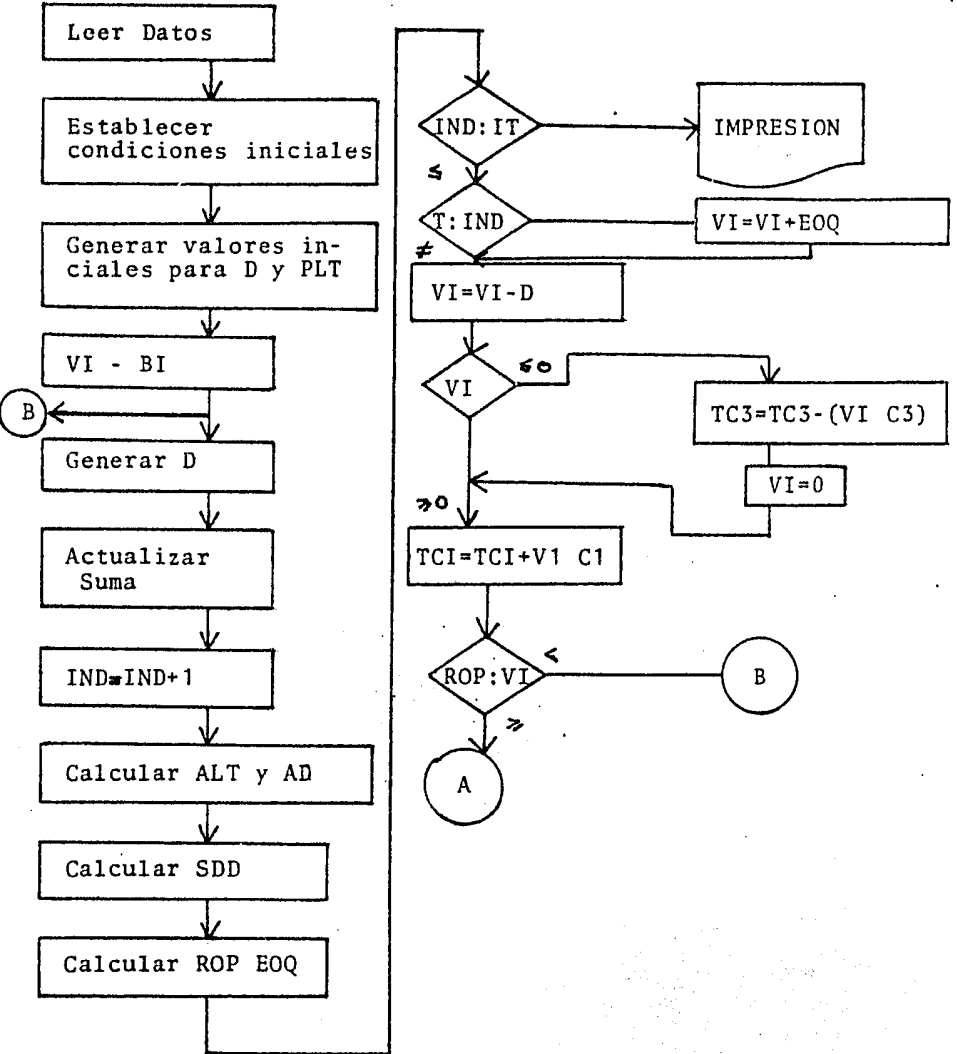
Las cargas totales de sostenimiento se actualizan. Si el nivel inventario no ha descendido al nivel del punto de reorden se genera una demanda diaria repitiendo el procedimiento.

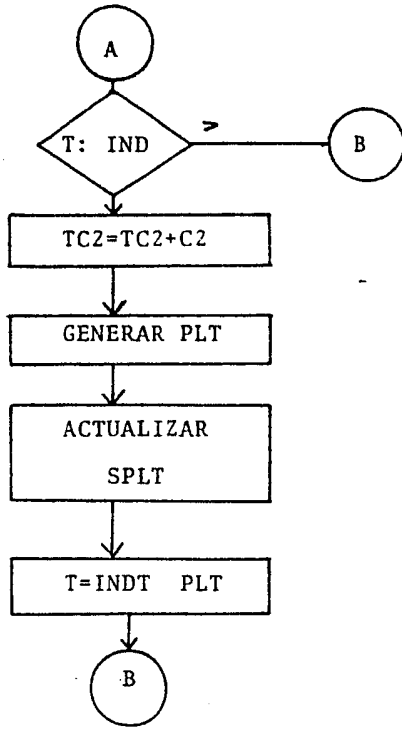
Cuando el nivel del inventario es menor o igual al punto de reorden se comprueba si existe alguna orden de producción sin cubrirse y se genera una nueva demanda.

En caso de no existir alguna orden de producción que no se haya cubierto se coloca una orden de producción en T:IND y se actualizan los costos establecidos.

Enseguida se genera un tiempo total de conducción para esta nueva orden y se actualiza el tiempo total de conducción.

El nuevo tiempo de conducción se suma al tiempo del IND, con lo cual se indica cuando se cubre la nueva orden. A continuación se genera D y por consiguiente una nueva demanda - se explica con un diagrama de flujo el método explicado anteriormente.







(CAE)ATP/0/TQNO/SEMINARIO ON DECAE

000400 IDENTIFICATION DIVISION.

000500  
 000600 PROGRAM-ID. GENERACION DEL SISTEMA DE INVENTARIOS.  
 000700  
 000800 AUTHOR. ANTONIO TREJO RUIZ  
 000900 CARLOS LOVE CUESTA  
 001000 JOSE L. RODRIGUEZ GUERRA  
 001100 LUIS CARRERA CARPIZO.  
 001200  
 001300 INSTALLATION. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.  
 001400  
 001500 DATE-WRITTEN. OCTUBRE DE 1984.  
 001600 DATE-COMPILED. FRIDAY, 12/07/84, 02:23 PM.  
 001700  
 001800 SECURITY. PARA USO EXCLUSIVO DE LA TESIS  
 001900 "\*\*\*\*\*"  
 002000

START OF 0000:0000:0  
 SEGMENT AT (01,002)  
 0002:0000:0  
 0003:0000:0  
 0004:0000:0  
 0005:0000:0  
 0006:0000:0  
 0007:0000:0  
 0008:0000:0  
 0009:0000:0  
 0010:0000:0  
 0011:0000:0  
 0012:0000:0  
 0013:0000:0  
 0014:0000:0  
 0015:0000:0  
 0016:0000:0  
 0017:0000:0  
 0018:0000:0  
 0019:0000:0  
 0020:0000:0

```

002100/*****
002200**
002300**      DECLARACION DE ARCHIVOS      **
002400**
002500*****
002600
002700 ENVIRONMENT DIVISION.
002800 CONFIGURATION SECTION.
002900 SOURCE-COMPUTER. 3-8400.
003000 OBJECT-COMPUTER. 3-8400.
003100
003200 INPUT-OUTPUT SECTION.
003300 FILE-CONTROL.
003400
003500
003600      SELECT ARCH-DATOS
003700
003800
003900
004000      SELECT ENTRADA

```

```

ASSIGN TO DISK
ACCESS MODE IS RANDOM
ACTUAL KEY IS LL-ARCH.

ASSIGN TO READER.

```

```

0072:0000:0
0073:0000:0
0074:0000:0
0075:0000:0
0076:0000:0
0077:0000:0
0078:0000:0
0079:0000:0
0080:0000:0
0081:0000:0
0082:0000:0
0083:0000:0
0084:0000:0
0085:0000:0
0086:0000:0
0087:0000:0
0088:0000:0
0089:0000:0
0090:0000:0
0091:0000:0
0092:0000:0

```



005400/\*\*\*\*\*  
005500\*\*  
005600\*\* REGISTRO DE ENTRADA \*\*  
005700\*\*  
005800\*\*\*\*\*  
005900  
006000 FD IMPRESORA.  
006100  
006200 01 LINEA PIC X(132).

0002:0100:0  
0004:0100:0  
0005:0100:0  
0005:0000:0  
0005:0100:0  
0002:0000:0  
0002:0100:0  
0002:0100:0  
0002:0100:0





















```

037800/*****
037900**
038000**      G R A B A      R E G I S T R O      **
038100**
038200/*****
038300
038400 GRABA-REGISTRO.
038500
038600      MOVE VI TO HI
038700      MOVE EQQ TO LGTE-ECONOMICO
038800      MOVE ALT TO PROM-MOVIL-T-COND
038900      MOVE AD TO PROM-MOVIL-D
039000
039100      WRITE REG-DATOS FROM REG-MAES INVALID KEY
039200      DISPLAY "EKHOP AL GRABAR-REGISTRO"
039300      DISP-AY "-----"
039400      COMPUTE CERD = 1 / CERD.
039500*      ENDWRITE

```

```

0004:01DE:0
0004:01DE:0
0004:01DE:0
0004:01DE:0
0004:01DE:0
0004:01E3:2
0004:01E3:2
0004:01E4:5
0004:01E4:5
0004:01E7:0
0004:01E9:1
0004:01E9:1
0004:01EB:5
0004:01EB:5
0004:01EF:2
0004:01F9:5
0004:01FE:1
0004:01FF:0
DATA SEGMENT J004 IS 02D5 LONG
SEGMENT J014 IS 00D2 LONG
START OF SEGMENT AT (01,00F)
SEGMENT J01F IS 0015 LONG
START OF SEGMENT AT (01,014)
SEGMENT J014 IS 0041 LONG
DATA SEGMENT J011 IS 0019 LONG

```

(CAE)ATR/D/TDND/LISTA/SEMINARIO DN DECAE

000400 IDENTIFICATION DIVISION.

000500  
000600 PROGRAM-ID. LISTA EL ARCHIVO DE DATOS  
000700  
000800 AUTHOR. ANTONIO TREJO RUIZ  
000900 CARLOS LOPEL CUESTA  
001000 JOSE L. RODRIGUEZ GUERRA  
001100 LUIS CARRERA CARPIZO.  
001200  
001300 INSTALLATION. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.  
001400  
001500 DATE-WRITTEN. OLTUBRE DE 1964.  
001600 DATE-COMPILED. FRIDAY, 12/07/64, 02:35 PM.  
001700  
001800 SECURITY. PARA USO EXCLUSIVO DE LA TESIS  
001900 "\*\*\*\*\*"  
002000

0030:0033:0  
START OF STATEMENT AT (01,002)  
0032:0335:0  
0033:0336:0  
0034:0338:0  
0035:0339:0  
0036:0340:0  
0037:0341:0  
0038:0342:0  
0039:0343:0  
0040:0344:0  
0041:0345:0  
0042:0346:0  
0043:0347:0  
0044:0348:0  
0045:0349:0  
0046:0350:0  
0047:0351:0  
0048:0352:0  
0049:0353:0  
0050:0354:0  
0051:0355:0  
0052:0356:0  
0053:0357:0  
0054:0358:0  
0055:0359:0  
0056:0360:0  
0057:0361:0  
0058:0362:0  
0059:0363:0  
0060:0364:0  
0061:0365:0  
0062:0366:0  
0063:0367:0  
0064:0368:0  
0065:0369:0  
0066:0370:0  
0067:0371:0  
0068:0372:0  
0069:0373:0  
0070:0374:0  
0071:0375:0  
0072:0376:0  
0073:0377:0  
0074:0378:0  
0075:0379:0  
0076:0380:0  
0077:0381:0  
0078:0382:0  
0079:0383:0  
0080:0384:0  
0081:0385:0  
0082:0386:0  
0083:0387:0  
0084:0388:0  
0085:0389:0  
0086:0390:0  
0087:0391:0  
0088:0392:0  
0089:0393:0  
0090:0394:0  
0091:0395:0  
0092:0396:0  
0093:0397:0  
0094:0398:0  
0095:0399:0  
0096:0400:0  
0097:0401:0  
0098:0402:0  
0099:0403:0  
0100:0404:0

```

002100/*****
002200**          D E C L A R A C I O N   D E   A R C H I V O S          **
002300**          ****
002400**          ****
002500*****
002600 ENVIRONMENT DIVISION.
002700 CONFIGURATION SECTION.
002800 SOURCE-COMPUTER. 3-6400.
002900 OBJECT-COMPUTER. 3-6800.
003000 SPECIAL-NAMES. CHANNEL 1 IS CANAL1.
003100
003200 INPUT-OUTPUT SECTION.
003300 FILE-CONTROL.
003400
003500
003600          SELECT ARCH-DATOS          ASSIGN TO DISK.
003700
003800          SELECT IMPRESORA          ASSIGN TO PRINTER.
003900

```

```

0000:0000:0
0001:0000:0
0002:0000:0
0003:0000:0
0004:0000:0
0005:0000:0
0006:0000:0
0007:0000:0
0008:0000:0
0009:0000:0
0010:0000:0
0011:0000:0
0012:0000:0
0013:0000:0
0014:0000:0
0015:0000:0
0016:0000:0
0017:0000:0
0018:0000:0
0019:0000:0
0020:0000:0
0021:0000:0
0022:0000:0
0023:0000:0
0024:0000:0
0025:0000:0
0026:0000:0
0027:0000:0
0028:0000:0
0029:0000:0
0030:0000:0
0031:0000:0
0032:0000:0
0033:0000:0
0034:0000:0
0035:0000:0
0036:0000:0
0037:0000:0
0038:0000:0
0039:0000:0

```





















## SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

ORDEN	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL. DE LA DEMANDA	PROM MOVIL. TIEMPO DE CONDUCCION
1	3.66	564	152492	87	569.00	0.50
2	3.66	301	152131	75	474.50	0.50
3	3.66	605	168524	87	401.33	0.50
4	3.66	897	167422	64	302.00	0.50
5	3.66	547	157032	81	500.66	0.50
6	3.66	350	156232	80	401.33	0.50
7	3.66	331	165931	78	465.66	0.50
8	3.66	453	155434	72	302.66	0.50
9	3.66	812	164622	59	261.33	0.50
10	3.66	170	164409	75	424.00	0.50
11	3.66	341	160112	66	320.66	0.50
12	3.66	382	153222	47	170.33	0.50
13	3.66	855	162424	57	242.33	0.50
14	3.66	455	162421	74	414.00	0.50
15	3.66	667	161254	74	424.00	0.50
16	3.66	603	161149	70	324.00	0.50
17	3.66	1102	160042	75	424.00	0.50
18	3.66	627	159420	87	569.00	0.50
19	3.66	524	158926	87	526.33	0.50
20	3.66	675	159223	71	383.66	0.50
21	3.66	362	157854	72	300.00	0.50
22	3.66	290	157544	68	242.33	0.50
23	3.66	552	157012	56	210.66	0.50
24	3.66	291	156721	61	220.66	0.50
25	3.66	792	155922	49	204.00	0.50

## SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
26	3.66	367	155560	69	361.00	0.50
27	3.66	613	154942	71	387.00	0.50
28	3.66	710	154732	64	399.00	0.50
29	3.66	795	153437	75	442.66	0.50
30	3.66	593	152949	81	501.66	0.50
31	3.79	743	152101	79	461.00	0.50
32	3.79	626	151477	77	445.33	0.50
33	3.79	265	151212	79	457.33	0.50
34	3.79	227	150935	62	396.33	0.50
35	3.79	367	150613	45	164.00	0.50
36	3.79	326	150292	51	198.00	0.50
37	3.79	523	149735	55	231.00	0.50
38	3.79	533	149223	61	294.00	0.50
39	3.79	574	148654	68	354.66	0.50
40	3.79	713	147933	70	379.66	0.50
41	3.79	825	147115	75	470.00	0.50
42	3.79	453	146360	82	517.66	0.50
43	3.79	492	145773	94	559.33	0.50
44	3.79	593	145122	77	445.00	0.50
45	3.79	453	144393	63	356.00	0.50
46	3.79	290	144457	63	346.33	0.50
47	3.79	527	143357	57	264.33	0.50
48	3.79	473	143134	62	299.33	0.50
49	3.79	327	142957	75	475.00	0.50
50	3.79	441	142615	65	375.00	0.50

## SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
51	3.79	517	151777	54	754.00	0.50
52	3.79	624	141175	61	752.44	0.50
53	3.79	679	140475	76	477.44	0.50
54	3.79	911	137515	76	474.77	0.50
55	3.79	585	147077	84	520.44	0.50
56	3.79	527	159475	81	400.44	0.50
57	3.79	255	159217	71	371.00	0.50
58	3.79	425	157771	59	769.00	0.50
59	3.79	345	157466	55	777.77	0.50
60	3.79	457	154937	58	757.00	0.50
61	2.43	147	154889	59	760.00	0.50
62	2.43	433	156479	47	202.66	0.50
63	2.43	456	155944	41	125.44	0.50
64	2.43	623	135115	43	200.00	0.50
65	2.43	764	134552	69	761.77	0.50
66	2.43	551	154071	73	464.00	0.50
67	2.43	522	153472	76	470.77	0.50
68	2.43	427	133052	69	757.66	0.50
69	2.43	343	152774	64	714.77	0.50
70	2.43	455	132749	53	258.77	0.50
71	2.43	292	131955	50	760.00	0.50
72	2.43	663	131274	57	760.77	0.50
73	2.43	235	151041	65	717.77	0.50
74	2.43	272	150737	43	200.77	0.50
75	2.43	664	130175	47	160.00	0.50

FECHA 4/DIC/46  
HORA 23:21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Hoja 4

FACULTAD DE INGENIERIA

SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
76	2.48	456	129649	66	312.00	0.50
77	2.48	496	129173	73	277.73	0.50
78	2.48	542	128624	65	317.33	0.50
79	2.48	239	129385	69	249.73	0.50
80	2.48	629	127755	59	267.66	0.50
81	2.48	534	127272	62	280.33	0.50
82	2.48	405	126812	71	287.66	0.50
83	2.48	451	126344	64	297.33	0.50
84	2.48	323	126060	61	284.66	0.50
85	2.48	131	125939	58	259.66	0.50
86	2.48	459	125455	45	153.00	0.50
87	2.48	421	125032	51	195.66	0.50
88	2.48	455	124577	62	202.33	0.50
89	2.48	410	123967	62	202.00	0.50
90	2.48	550	123417	69	155.00	0.50
91	2.27	353	123054	71	196.66	0.50
92	2.27	240	122476	63	199.00	0.50
93	2.27	433	122347	51	197.66	0.50
94	2.27	53	122431	66	125.00	0.50
95	2.27	141	122173	44	144.33	0.50
96	2.27	667	121573	29	66.33	0.50
97	2.27	505	121217	59	260.33	0.50
98	2.27	383	120852	65	274.33	0.50
99	2.27	415	120415	55	270.33	0.50
100	2.27	422	119937	59	267.00	0.50



FECHA 6/DIC/84

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

HOJA 5

HORA 20:21

FACULTAD DE INGENIERIA

SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTIF ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
101	2.27	541	119465	61	281.66	0.50
102	2.27	515	119033	65	273.33	0.50
103	2.27	511	118622	68	261.33	0.50
104	2.27	486	118215	60	274.66	0.50
105	2.27	475	117761	55	270.00	0.50
106	2.27	392	117347	62	203.66	0.50
107	2.27	280	117059	62	200.00	0.50
108	2.27	533	116531	56	224.00	0.50
109	2.27	520	115011	60	222.66	0.50
110	2.27	500	115511	63	352.66	0.50
111	2.27	409	114902	67	240.00	0.50
112	2.27	325	114577	70	260.66	0.50
113	2.27	692	113885	64	211.33	0.50
114	2.27	466	113421	67	230.00	0.50
115	2.27	215	113206	71	280.33	0.50
116	2.27	356	112852	56	226.33	0.50
117	2.27	361	112431	50	190.66	0.50
118	2.27	57	112476	56	220.33	0.50
119	2.27	115	112222	44	140.33	0.50
120	2.27	70	112212	23	62.33	0.50
121	2.51	512	111677	29	61.66	0.50
122	2.51	345	111252	55	222.33	0.50
123	2.51	435	110821	65	220.00	0.50
124	2.51	1072	109751	62	262.00	0.50
125	2.51	510	109121	51	502.66	0.50

1970

FACULTAD DE INGENIERÍA

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

ORDEN	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PPON MOVIL DE LA DEMANDA	PPON MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
126	2.51	434	107413	64	576.66	0.50
127	2.51	405	107277	64	566.00	0.50
128	2.51	365	107012	61	521.33	0.50
129	2.51	512	107473	58	557.00	0.50
130	2.51	421	107172	54	525.66	0.50
131	2.51	275	106975	57	546.33	0.50
132	2.51	18	106875	55	537.33	0.50
133	2.51	753	106132	34	296.00	0.50
134	2.51	514	105619	59	557.00	0.50
135	2.51	531	105037	75	622.33	0.50
136	2.51	496	104675	63	548.33	0.50
137	2.51	372	104211	67	539.33	0.50
138	2.51	613	103413	61	525.33	0.50
139	2.51	443	103175	64	539.33	0.50
140	2.51	284	102821	63	537.00	0.50
141	2.51	461	102430	54	524.33	0.50
142	2.51	320	102110	57	549.33	0.50
143	2.51	271	101932	58	560.33	0.50
144	2.51	324	101515	51	507.00	0.50
145	2.51	282	101225	51	498.33	0.50
146	2.51	522	100704	53	504.33	0.50
147	2.51	495	100229	60	530.33	0.50
148	2.51	592	99627	67	539.00	0.50
149	2.51	482	99114	69	550.00	0.50
150	2.51	471	98667	62	537.00	0.50

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
151	2.12	441	94225	65	320.00	0.50
152	2.12	345	97433	65	304.00	0.50
153	2.12	455	97434	59	261.33	0.50
154	2.12	205	97223	59	266.00	0.50
155	2.12	313	96915	54	220.00	0.50
156	2.12	123	94777	49	174.33	0.50
157	2.12	757	96023	44	149.66	0.50
158	2.12	492	95523	62	205.00	0.50
159	2.12	445	95043	76	416.33	0.50
160	2.12	452	94534	65	325.66	0.50
161	2.12	455	94129	66	314.66	0.50
162	2.12	341	93739	63	304.66	0.50
163	2.12	725	93053	59	265.33	0.50
164	2.12	615	92449	64	355.33	0.50
165	2.12	262	92133	77	445.66	0.50
166	2.12	472	91714	62	292.33	0.50
167	2.12	73	91633	57	244.66	0.50
168	2.12	520	91115	42	193.33	0.50
169	2.12	354	90732	51	100.33	0.50
170	2.12	465	90227	62	201.33	0.50
171	2.12	523	89774	60	273.00	0.50
172	2.12	412	89342	65	322.33	0.50
173	2.12	474	88833	64	311.66	0.50
174	2.12	617	88221	62	205.33	0.50
175	2.12	505	87755	62	263.66	0.50

## SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROBABILIDAD DE LA DEMANDA	PROBABILIDAD TIEMPO DE CONDUCCION
176	2.12	363	47472	71	374.73	0.50
177	2.12	59	47335	67	380.66	0.50
178	2.12	453	46975	63	440.66	0.50
179	2.12	217	46625	67	460.66	0.50
180	2.12	343	46335	56	477.73	0.50
181	0.73	207	46124	67	476.66	0.50
182	0.73	151	45945	67	487.73	0.50
183	0.73	515	45442	67	477.66	0.50
184	0.73	643	44935	56	475.66	0.50
185	0.73	263	44533	71	497.73	0.50
186	0.73	305	44232	63	497.66	0.50
187	0.73	331	43931	59	491.73	0.50
188	0.73	351	43557	54	477.73	0.50
189	0.73	231	43312	55	477.33	0.50
190	0.73	344	42975	59	474.00	0.50
191	0.73	172	42753	59	471.66	0.50
192	0.73	131	42722	45	455.33	0.50
193	0.73	237	42435	33	44.73	0.50
194	0.73	414	42071	67	472.66	0.50
195	0.73	403	41643	53	477.00	0.50
196	0.73	622	41061	60	474.00	0.50
197	0.73	534	40577	67	447.73	0.50
198	0.73	634	39873	71	486.73	0.50
199	0.73	172	39624	72	490.73	0.50
200	0.73	352	39355	60	471.00	0.50

## SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
201	0.93	434	78921	48	172.66	0.50
202	0.93	13	78908	58	257.66	0.50
203	0.93	168	78740	44	149.00	0.50
204	0.93	145	78595	28	60.73	0.50
205	0.93	487	78178	37	104.33	0.50
206	0.93	290	77919	53	210.66	0.50
207	0.93	450	77358	58	259.00	0.50
208	0.93	293	77070	57	246.66	0.50
209	0.93	374	76695	57	249.33	0.50
210	0.93	520	76175	56	234.00	0.50
211	1.76	322	75854	63	299.00	0.50
212	1.76	310	75544	61	290.66	0.50
213	1.76	332	75212	53	210.66	0.50
214	1.76	415	74777	53	214.00	0.50
215	1.76	171	74617	57	249.00	0.50
216	1.76	287	74332	51	197.66	0.50
217	1.76	140	74172	45	155.00	0.50
218	1.76	464	73779	43	147.77	0.50
219	1.76	235	73445	51	201.33	0.50
220	1.76	494	72951	57	249.00	0.50
221	1.76	223	72724	53	230.00	0.50
222	1.76	604	72174	51	229.00	0.50
223	1.76	513	71511	60	275.66	0.50
224	1.76	505	71075	71	405.66	0.50
225	1.76	93	70913	70	372.66	0.50

ORDEN	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
202	1.75	562	70512	51	709.00	0.50
207	1.75	62	70424	45	157.66	0.50
210	1.75	431	70035	43	144.66	0.50
212	1.75	514	69525	44	145.73	0.50
215	1.75	411	69916	44	144.73	0.50
231	1.75	482	68425	70	176.33	0.50
232	1.75	608	47917	69	144.66	0.50
233	1.75	615	57214	69	144.66	0.50
234	1.75	207	65927	73	107.00	0.50
235	1.75	343	65457	60	172.73	0.50
236	1.75	525	64132	49	122.73	0.50
237	1.75	445	65535	62	198.33	0.50
238	1.75	423	65253	65	123.66	0.50
239	1.75	296	64942	62	101.33	0.50
240	1.75	464	44428	54	141.33	0.50
241	1.67	1075	63425	59	153.33	0.50
242	1.67	493	52925	82	513.00	0.50
243	1.67	520	52425	83	424.73	0.50
244	1.67	521	62034	67	119.73	0.50
245	1.67	667	61417	61	180.73	0.50
246	1.67	552	60845	64	120.33	0.50
247	1.67	631	67234	73	106.73	0.50
248	1.67	315	52014	72	104.73	0.50
249	1.67	494	59422	64	115.66	0.50
250	1.67	142	52222	60	120.66	0.50

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
251	1.67	197	57093	53	712.66	0.50
252	1.67	610	59673	39	100.66	0.50
253	1.67	564	57912	59	765.66	0.50
254	1.67	363	57556	72	301.33	0.50
255	1.67	555	57071	64	300.00	0.50
256	1.67	685	56316	63	306.00	0.50
257	1.67	326	55920	74	413.33	0.50
258	1.67	565	55427	67	337.00	0.50
259	1.67	317	55110	62	306.33	0.50
260	1.67	301	54909	62	293.33	0.50
261	1.67	248	54561	97	206.00	0.50
262	1.67	187	54374	49	133.00	0.50
263	1.67	241	54133	44	145.00	0.50
264	1.67	257	53976	43	142.66	0.50
265	1.67	81	53795	47	166.00	0.50
266	1.67	224	53571	39	112.66	0.50
267	1.67	417	53154	36	101.66	0.50
268	1.67	776	52379	53	713.66	0.50
269	1.67	606	51772	72	307.66	0.50
270	1.67	560	51212	79	460.66	0.50
271	1.63	409	50803	72	388.66	0.50
272	1.63	401	50402	65	323.00	0.50
273	1.63	474	49929	60	270.00	0.50
274	1.63	460	49449	62	291.66	0.50
275	1.63	318	49150	64	311.33	0.50

FECHA 6/DIC/66  
HORA 20:21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

PÁG. 12

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
276	1.63	232	49919	59	359.33	0.50
277	1.63	770	49149	49	183.33	0.50
278	1.63	119	49029	65	374.00	0.50
279	1.63	451	47529	62	396.33	0.50
280	1.63	734	46914	50	190.00	0.50
281	1.63	721	46093	73	405.00	0.50
282	1.63	466	45627	81	405.00	0.50
283	1.63	380	45247	72	395.66	0.50
284	1.63	369	44979	61	343.00	0.50
285	1.63	43	44815	57	349.66	0.50
286	1.63	459	44376	42	133.33	0.50
287	1.63	403	43973	47	167.33	0.50
288	1.63	579	43394	61	287.33	0.50
289	1.63	395	42799	66	327.33	0.50
290	1.63	424	42375	72	391.33	0.50
291	1.63	397	41973	67	339.66	0.50
292	1.63	522	41453	60	273.66	0.50
293	1.63	387	41049	65	306.33	0.50
294	1.63	385	40634	63	303.00	0.50
295	1.63	278	40416	59	257.33	0.50
296	1.63	229	40177	54	221.00	0.50
297	1.63	500	39677	47	169.00	0.50
298	1.63	449	39023	55	243.00	0.50
299	1.63	345	38533	71	383.00	0.50
300	1.63	246	39417	65	331.33	0.50



FECHA 4/DIC/34

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

HOJA 17

HORA 20:21

FACULTAD DE INGENIERIA

## SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PRON MOVIL DE LA DEMANDA	PRON MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
301	0.74	232	34275	51	197.00	0.50
302	0.74	376	37829	46	159.73	0.50
303	0.74	474	37355	52	202.66	0.50
304	0.74	555	36873	61	283.33	0.50
305	0.74	615	36195	67	343.00	0.50
306	0.74	339	35867	72	390.00	0.50
307	0.74	465	35331	65	317.66	0.50
308	0.74	301	35033	59	269.00	0.50
309	0.74	76	35034	53	255.66	0.50
310	0.74	54	34953	40	125.66	0.50
311	0.74	46	34974	24	43.33	0.50
312	0.74	233	34655	21	33.33	0.50
313	0.74	83	34593	35	04.66	0.50
314	0.74	354	34277	37	107.00	0.50
315	0.74	371	33859	44	145.66	0.50
316	0.74	536	33323	56	241.66	0.50
317	0.74	435	32895	63	303.00	0.50
318	0.74	463	32337	65	324.73	0.50
319	0.74	287	32123	64	311.00	0.50
320	0.74	331	31747	58	255.00	0.50
321	0.74	250	31537	51	190.73	0.50
322	0.74	606	31275	57	193.66	0.50
323	0.74	630	30915	49	198.73	0.50
324	0.74	92	30734	52	245.73	0.50
325	0.74	451	30255	48	176.73	0.50

ITEM	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROM MOVIL DE LA DEMANDA	PROM MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
320	0.74	145	37041	67	173.73	0.50
327	0.74	446	22536	53	212.00	0.50
328	0.74	412	22155	56	227.00	0.50
329	0.74	505	23541	63	201.00	0.50
330	0.74	316	24226	67	241.73	0.50
331	0.74	156	29023	66	217.00	0.50
332	0.74	39	27041	45	147.73	0.50
333	0.74	136	27045	33	91.66	0.50
334	0.74	485	27357	31	75.00	0.50
335	0.74	150	27213	52	207.00	0.50
336	0.74	390	24927	53	211.66	0.50
337	0.74	500	25223	42	180.00	0.50
338	0.74	183	26027	64	220.00	0.50
339	0.74	360	25427	50	261.00	0.50
340	0.74	390	25227	42	181.00	0.50
341	0.74	510	26727	57	200.00	0.50
342	0.74	543	26227	43	200.00	0.50
343	0.74	272	23957	68	202.66	0.50
344	0.74	190	23740	67	275.66	0.50
345	0.74	120	23660	45	154.73	0.50
346	0.74	418	23222	37	107.73	0.50
347	0.74	165	23055	44	170.73	0.50
348	0.74	63	22923	50	104.66	0.50
349	0.74	537	22455	31	76.73	0.50
350	0.74	212	22257	51	200.00	0.50

## SIMULACION DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE UNA EMPRESA

DIA	INGRESO	DEMANDA	NIVEL INVENTARIO	LOTE ECONOMICO	PROB MOVIL DE LA DEMANDA	PROB MOVIL TIEMPO DE CONDUCCION
351	0.74	474	21759	53	272.00	0.50
352	0.74	456	21775	55	272.22	0.50
353	0.74	229	21077	46	210.44	0.50
354	0.74	463	21612	55	272.73	0.50
355	0.74	227	20745	55	271.00	0.50
356	0.74	427	19954	55	270.44	0.50
357	0.74	333	19620	51	269.00	0.50
358	0.74	613	19272	59	265.00	0.50
359	0.74	265	18944	59	262.00	0.50
360	0.74	15	18931	55	260.00	0.50

CAPITULO VI

SIMULACION FINANCIERA

## PLANEACION FINANCIERA

La explosión del mercado de microcomputadoras debido a su descenso de precio, ha propiciado una gran variedad de aplicaciones para estas máquinas. Una de las mas populares es la simulación financiera de empresas. Esta simulación se ha planteado un modelo dinámico en forma de ecuaciones de diferencia que relaciona las principales variables económicas de la empresa.

El principal objetivo de simular la operación financiera de una empresa es analizar las consecuencias de suponer hipotecas; esto se hace examinando diversos escenarios. Por ejemplo, una empresa supone que sus ventas se le duplican cada año durante los siguientes cinco años. Para los directores de planeación y finanzas es importante saber la influencia que tendrá éste hecho en otras variables de la empresa, particularmente las económicas. Un aumento de ventas implica mayores compras de materia prima, contar con mayores facilidades de fabricación como maquinaria, espacio físico, mayores bodegas, mas equipo de transporte, así como mayor personal. La empresa tiene que planear y decidir si las utilidades justificarían el riesgo y la inversión.

A continuación exponemos un modelo para ilustrar la solución de un problema financiero a través de la simulación.

## A) INGRESOS DE LA EMPRESA

- A1. Los costos de ventas (ev) son iguales al 85% de las ventas (vt) o 90% de los costos de ventas del año anterior: el que resulte mayor.
- A2. La utilidad bruta (ub) es igual a las ventas menos los costos de ventas.
- A3. Los gastos financieros (gf) son iguales al 9% de la deuda (de) (que se va a suponer constante o igual a 10,000,000.00).
- A4. La utilidad antes de impuestos (ua) es igual a la utilidad bruta menos los gastos financieros.
- A5. El impuesto (im) es igual al 48% de la utilidad antes de impuestos.
- A6. La utilidad (un) es igual a la utilidad antes de impuestos menos el impuesto.

## B) BALANCE

- B1. El capital contable (cc) es igual al capital contable del año anterior más la utilidad neta del año en curso.
- B2. El activo circulante (ac) es igual al activo circulante del año anterior más la utilidad neta más el cambio en la deuda (que al suponer la deuda constante es cero).
- B3. El activo total (at) es igual al activo circulante mas el activo fijo (af) (que es constante y suma \$15,000,000.00 por año).
- B4. El pasivo mas capital (pc) es igual a la deuda mas el capital contable.

Puesto lo anterior en términos matemáticos:

$$A1. \quad cv_k = \max(0.85*vt_k, 0.9*cv_{k-1})$$

$$A2. \quad ub_k = vt_k - cv_k$$

$$A3. \quad fg_k = 0.09*de_k$$

$$A4. \quad au_k = ub_k - gf_k$$

$$A5. \quad im_k = 0.48*ua_k$$

$$A6. \quad un_k = ua_k - im_k$$



$$B1. \quad cc_k = cc_{k-1} + un_k$$

$$B2. \quad ac_k = ac_{k-1} + un_k + de_k - de_{k-1}$$

$$B3. \quad at_k = ac_k + af_k$$

$$B4. \quad pc_k = de_k + cc_k$$

## DOCUMENTACION DEL PROGRAMA

## VARIABLES:

- B - Utilidad Bruta.
- I - Gastos Financieros.
- A - Utilidad antes de Impuestos.
- M - Impuestos.
- G - Utilidades Netas.
- C - Costo de Ventas.
- E - Capital Contable.
- L - Activo Circulante.
- H - Activo Total.
- J - Pasivo más Capital.

En la línea 300 se introducen 12 valores. Las ventas para - los años 1982, 1983, 1984, 1985, el activo fijo para los mis - mos años y la deuda para estos.

En la línea 310 se introducen 3 valores, costo de ventas, ca - pital contable y activo circulante para el año 1982.

En la línea 330 se calcula e imprime el valor máximo del 85% de las ventas totales y el 90% de los costos de ventas del - año anterior.

En las líneas 340 y 345 se calculan e imprimen los valores - de utilidad bruta, los gastos financieros, las utilidades an - tes de impuestos, los impuestos y las utilidades netas de - acuerdo a las ecuaciones

A2 a A6.

Dado que para el año 1982  $o=0$  no se va a calcular el capital contable y el activo circulante,

En la línea 350, se imprime el capital contable y activo circulante de acuerdo a las ecuaciones B1 y B2

En la línea 360 se calcula e imprime el activo total y el pasivo más capital de acuerdo a la ecuación B3 y B4

En la línea 370, en preparación para la siguiente iteración se pasan los valores del costo de ventas, capital contable y activo circulante del año en curso a co - rrespondientes variables del año anterior.

## VARIABLES EXOGENAS:

Ventas de los años 1982, 83, 84, y 85.

Activo fijo de los años 1982, 83, 84 y 85.

Deuda de los años 1982, 83, 84 y 85.

Costo de ventas para el año 1982.

Capital contable de el año 1982.

Activo circulante de el año 1982.

## VARIABLE ENDOGENAS:

Costo de ventas para 1983, 84, y 85.

Utilidad Bruta para 1983, 84 y 85.

Gastos financieros 1983, 84 y 85.

Utilidad antes de impuestos para 1983, 84 y 85.

Impuestos para 1983, 84 y 85.

Utilidad neta para 1983, 84 y 85.

Capital contable para 1983, 84 y 85.

Activo circulante para 1983, 84 y 85

Activo total para 1983, 84 y 85.

Pasivo más Capital de 1983, 84 y 85.





EST. VNT.	GT. RRY.	EST. FINZ	GT. INT. IMP.	IMP.	GT. NT.	CAP. CONF.	ACT. CIRC.	ACT. TOTAL.	PA. I CAP.
25.75	30	.9	49.1	23.968	25.832	0.262	0.262	27.262	17.262
26.24	31.25	.9	7.35	3,099	3,822	8.084	8.084	31.094	16.084
29.9	10.9	.9	9.6	5,808	6,992	11.072	11.072	26.072	21.072

## ANALISIS DE RIESGO

Se define el análisis de riesgo como el proceso de obtener distribuciones de probabilidad para alguna medida de merito destinada a una propuesta de inversión. Por lo general, se hacen distribuciones de probabilidad para el valor actual, el valor anual o la tasa de rendimiento de una propuesta de inversión individual. En consecuencia, se requieren distribuciones de probabilidad para variables aleatorias tales como los flujos de efectivo, el horizonte de planificación y la tasa de descuento. Las distribuciones se obtienen analíticamente o mediante simulación.

En una encuesta que se realizó en E. U., se encontró que el 50% de las compañías que respondieron a dicha encuesta usaban análisis de riesgo para la planificación operacional o para la estrategia o para ambas.

## PROBLEMAS DE ANALISIS DE RIESGO

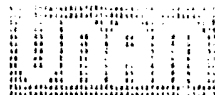
Isabel, S. A., compra una microcomputadora en \$1,000.00 dólares para llevar en ella la contabilidad, inventarios, cuentas por pagar, cuentas por cobrar y nómina de varias empresas pequeñas.

Para poder vender esta microcomputadora a un buen precio al termino del tercer año, las utilidades producidas de ese año deberan ser mayores o iguales a \$500.00 dólares, continuando un cuarto año con la operación. En el caso contrario vendera la máquina en el tercer año.

Lo que queremos saber es si le convendrá a la empresa arriesgarse a operar cuatro años la microcomputadora.

Para resolver este problema haremos un programa de computadora que simule la operación de la empresa en diez periodos de tres o cuatro años.





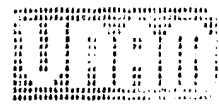
2 \* R15,00ZBNS  
3 \* PROPIEDAD DE ANILISIS DE FIESGO

4 \* 1R10 PRINT\*PROBA\*1SPACE\*(3)\*+GRESOS\*1SPACE\*(3)\*+INEROSOS\*1SPACE\*(4)\*+I-E\*1SPACE\*(1)\*+SALVAMENTO\*1SPACE\*(2)\*+GARANCIA\*  
5 \* PRINT

10 CARND(0) I1=0 I10=0  
20 IF X=1.24 THEN G1=200  
30 IF X=1.25 AND X=1.26 THEN G1=300  
40 IF X=1.15 THEN G1=400  
50 G1=G100  
60 Y=ND(0)

70 IF Y=1.09 THEN G2=300  
80 IF Y=1.10 AND Y=1.09 THEN G2=400  
90 IF Y=1.05 AND Y=1.09 THEN G2=500  
100 IF Y=1.09 THEN G2=600  
110 Z=ND(0)  
120 IF Z=1.19 THEN G3=300  
130 IF Z=1.20 AND Z=1.19 THEN G3=400  
140 IF Z=1.15 AND Z=1.22 THEN G3=500  
150 IF Z=1.10 AND Z=1.20  
160 G3=G300  
170 W=ND(0)  
180 IF W=1.09 THEN G4=300  
190 IF W=1.09 AND W=1.10 THEN G4=400  
200 IF W=1.05 AND W=1.10 THEN G4=500  
210 G4=ND(0)  
220 IF X=1.19 THEN G5=300  
230 IF X=1.2 AND X=1.19 THEN G5=400  
240 IF X=1.15 AND X=1.20 THEN G5=500  
250 IF X=1.10 AND X=1.20  
260 G5=G500





PRUEBA	EGRESOS	INGRESOS	I-E	SALVAMENTO	GANANCIA
1	100	400	300		
	500	1000	500		
	0	1000	1000		
2	500	1000	700	400	2000-
	400	400	0		
	500	500	0		
	400	1000	600		
	500	1000	200	300	700-
3	400	500	100		
	400	750	350		
	700	500	100	400	450
4	300	600	300		
	500	750	250		
	600	1000	400	300	750-
5	300	500	400		
	500	750	250		
	500	1000	400	400	850
6	300	500	200		
	400	750	350		
	700	1000	300	500	550
7	200	600	300		
	500	500	0		
	700	1000	300	500	400
8	300	400	100		
	600	750	150		
	600	500	100	400	150
9	300	600	300		
	500	500	0		
	500	1000	500	400	1000-
10	700	1000	300		
	400	500	100		

## RESULTADOS DEL PROGRAMA DE ANALISIS DE RIESGO

Vemos que en el programa seis de los diez periodos ganó la empresa mas de \$500.00 dólares al finalizar el tercer año por lo que convendrá trabajar cuatro años con ésta microcomputadora y después venderla\*.

\* Las restricciones en tiempo de máquina nos han limitado en la reproducción numerosa del experimento, las conclusiones, por tanto, son de modo meramente especulativo.

## MODELOS FINANCIEROS

Las finanzas es otro campo donde se ha utilizado la simulación recientemente.

A continuación resumiremos cuatro modelos financieros que se han aplicado con gran efectividad.

- La simulación de Clarkson  
para inversiones en fideicomiso.
  
- El modelo Hertz  
para presupuestar capitales bajo riesgo.
  
- El modelo para presupuestar de  
Matlessich.
  
- El modelo financiero de Sun Oil  
Corporate.

## MODELO CLARKSON

Es uno de los primeros modelos que se hicieron en el campo de las finanzas. Consiste en la simulación de las decisiones de un oficial de fidecomiso de un banco.

El modelo simula la selección de políticas de inversión para cuentas particulares, para evaluar las alternativas que presenta el mercado y para seleccionar los valores en cartera requeridos. La información tomada en cuenta en este modelo se refiere a las operaciones de compañías y al valor de mercado de sus acciones, y los informes publicados establecen predicciones sobre el estado de la economía en general y del mercado de las acciones.

## EL MODELO HERTZ

El objetivo del modelo, consiste en la obtención de una distribución de probabilidad del valor actual de un proyecto para construir una nueva planta.

En primer lugar, el encargado de tomar decisiones debe seleccionar las variables que son importantes para el cálculo del valor actual. Para mayor sencillez supongase que selecciona las tres variables siguientes:

- 1- Costo de Operación (co).
- 2- Acciones del Mercado (am).
- 3- Tamaño del Mercado (tm)

A continuación, el encargado de tomar decisiones obtiene estimaciones de estas tres variables.

	Valor Esperado	Desviación Estandar
co	\$ 110,000.00	\$ 11,000.00
am	10%	2%
tm	\$ 2,750.000.00	\$ 250,000.00

El valor actual de la proposición se puede expresar como una función general de la siguiente forma:

$$VA = VA(co, am, tm, \dots) \text{ ----- } 1$$

En donde  $co$ ,  $am$  y  $tm$  tienen un papel principal, pero se ponen los puntos indicando que puede haber otras variables que desempeñen un papel secundario.

Hertz supone también que se conocen las funciones de densidad de probabilidad de  $co$ ,  $am$  y  $tm$ .

A continuación, Hertz propuso que se generaran valores para tres variables aleatorias  $co$ ,  $am$  y  $ta$  por medio de una computadora y estos valores se substituyeran en la ecuación 1 para obtener un valor unico de  $VA$ .

Si éste proceso se repite unas mil veces se puede generar una distribución empírica de  $VA$ .

Se observará que es muy posible que la ecuación 1 no sea lineal en las variables  $co$ ,  $am$  y  $tm$  de donde no es muy probable que la media de la distribución de  $VA$ , tenga el mismo valor de  $VA$  que se obtendría substituyendo simplemente los valores esperados.

Hertz utiliza un índice interno del criterio de rendimiento en su modelo, en lugar del valor actual que se ha empleado aquí; sin embargo, al informarnos sobre los resultados de su ejemplo, observamos una diferencia bastante grande entre el índice calculado con los valores esperados y el índice determinado mediante la simulación.



## EL MODELO MAHESSICH

El modelo Mahessich describe a la compañía en función de un grupo de identidades convencionales de contabilidad. Los datos de entrada a este modelo incluyen las horas normales de trabajo, los índices de costo de operación, las sobretasas, los índices de ventas, los índices de producción, el número de productos, el número de materias primas, el número de departamentos, etc. Al final de cada período el modelo genera una nueva declaración de ingresos, una hoja de balance y un grupo de presupuestos (de ventas, producción, materias primas, mano de obra, gastos generales de fábrica, gastos de operación, efectivo, etc.).

## EL MODELO FINANCIERO DE SUN OIL CORPORATE

El objeto de éste modelo es proporcionarle a la administración un método rápido y seguro para predecir el papel financiero de la compañía basándose en cualquier tipo específico de condiciones anticipadas.

El modelo se utiliza para desarrollar proyecciones revisadas del ingreso neto, el flujo de efectivo y las cuentas de las hojas de balance.

El modelo se utiliza también para planeaciones a largo plazo y para desarrollar presupuestos congruentes con los objetivos corporativos.

El modelo se compone de 1,500 entradas por año e incluye los siguientes tipos de variables:

- 1- Precios del producto y volúmenes.
- 2- Costos de Materias Primas.
- 3- Condiciones económicas generales.
- 4- Inversiones.
- 5- Ingresos de compañías subsidiarias.
- 6- Conceptos de gastos discrecionales.

El modelo genera los siguientes informes de salida:

- 1- Una declaración de Ingresos.
- 2- La planeación de Inversión de Capital.
- 3- Una declaración de recursos y utilización de fondos.
- 4- Una declaración de Ganancias utilizadas y beneficios de accionistas
- 5- Un reporte de impuestos.
- 6- Un análisis del índice de beneficios.
- 7- Un resumen financiero de operación.

Este modelo utiliza un sinnúmero de ecuaciones (más de 2 000) y son agrupadas a través de bloques específicos correspondientes a las operaciones de la compañía.

El tiempo de funcionamiento del modelo se pudo estimar en 13 años-hombre, con un tiempo de implantación y desarrollo de dos años.

## MODELOS CORPORATIVOS

En años recientes, corporaciones americanas han desarrollado nuevos modelos de computadora, los cuales están diseñados a tratar a la compañía no como un conjunto de funciones administrativas, de producción o mercadotecnia, sino como un sistema total de elementos interdependientes. Estos modelos son conocidos como corporativos.

Algunos de estos modelos contemplan la formulación de planes a largo plazo y se componen de submodelos, los cuales establecen las principales funciones operativas de la compañía.

Este tipo de experimentos han colaborado en lo que hoy se conoce como "juegos de gerencia", los que consisten en una serie de participantes encargados de la toma de decisiones dentro de la estructura del sistema que se simula.

Muchos centros de investigación, así como universidades, han optado por un planteamiento inverso de simulación: a través de un modelo establecido de antemano se pretenden identificar los mecanismos principales, tanto internos como externos, que conforman el sistema y que son la base para una decisión efectiva. El estudiante o participante no solo conoce finalmente las consecuencias de una entrada determinada, sino que participa experimentalmente con los mecanismos provistos por el modelo y que son parte importante dentro de la empresa.

## VISICALC

El programa visicalc es una de las mejores herramientas con las que contamos dentro de la simulación financiera.

El programa Visicalc es denominado hojas extendidas - electrónicas. La pantalla de computadora hace las veces de "papel" y el cursor de "lápiz".

El propio programa hace las veces de una calculadora - provista de funciones autonomas incorporadas, capacidad de memoria y obediencia a las órdenes que está provisto que comprenda. Cualquier problema mercantil profesional o de contabilidad casera que pueda resolverse con lápiz, papel y una calculadora, puede tener una solución mas rápida y mas fácil con el empleo de esta clase de programa.

En vez de calcular manualmente una columna o fila de cifras, utilizará una misma orden para realizar la misma cosa con rapidez y sin errores. Lo que es mas importante es que un cambio elemental de una hoja extendida electrónica no significa que tenga que volver a calcular manualmente y a teclear toda la hoja. Por el contrario, el programa se encarga de resolver la anomalía.

Una vez terminada la simulación con este programa es sencillo obtener un informe impreso. Es por eso que este programa es muy usado en la simulación financiera, así como algunos otros con características similares.

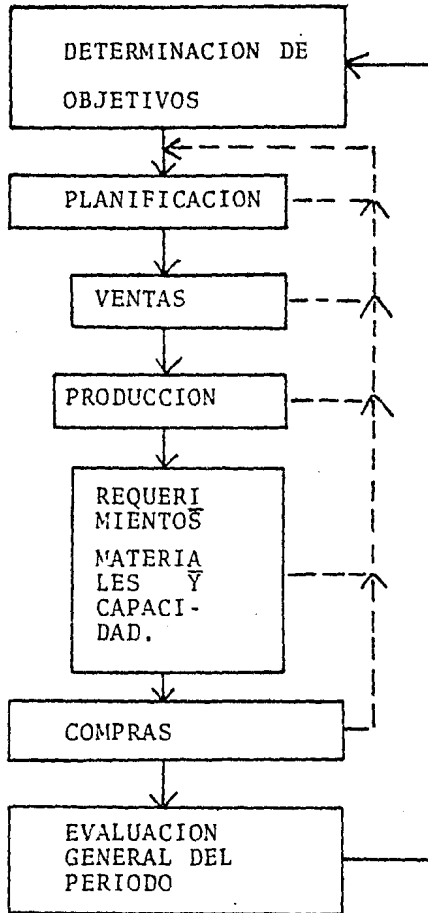
## CONCLUSIONES

Si quisieramos ser objetivos en las conclusiones de - - nuestro trabajo empezaríamos por cuestionarnos: ¿se emplean realmente experimentos de simulación en la actualidad?, ¿son siquiera una alternativa en la toma de decisiones de una empresa determinada?, ¿tienen, a corto y mediano plazo, una repercusión importante en los sistemas gerenciales de información?

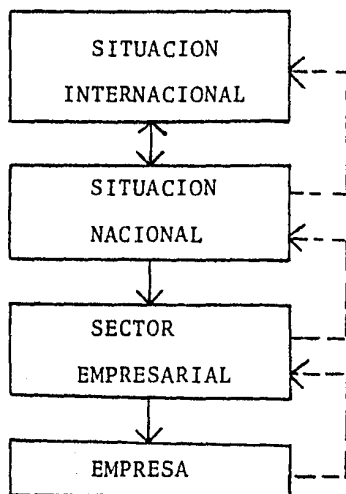
En una visión general podemos afirmar que los métodos y experimentos de simulación en computadoras digitales tienen aún un largo camino por recorrer.

Afortunadamente, con la creciente demanda de microcomputadoras y paquetes de simulación, existe ya la posibilidad de implantar sistemas completos de planeación y retroalimentación conformando lo que se conoce como circuitos cerrados para negocios. Estos circuitos cerrados constan de manera fundamental de una serie de procedimientos que permiten obtener un flujo continuo de información, de donde se deriva, en última instancia, una evaluación de los objetivos perseguidos por una empresa determinada y su consecuente efecto en los niveles operativos.

Podemos esquematizar de manera general el concepto funcional de una empresa.



En un ambiente dinámico en el que vivimos aún podemos -  
situar a la empresa en este esquema:



¿Como interviene la simulación en esto?

Si tomamos en cuenta que en la actualidad uno de los -  
puntos de especial importancia es la planificación, podemos-  
afirmar que los experimentos de simulación no solo represen-  
tan una buena alternativa en la toma de decisiones, sino, en  
muchos casos, la única posibilidad de pronosticar el compor-  
tamiento de un sistema en un entorno tan cambiante.



De este modo podemos mencionar de que manera la simulación proporciona ayuda en aspectos concretos, y cuales sus ventajas contra los métodos tradicionales:

- PRONOSTICO DE VENTAS: si se cuenta con un buen modelo las ventas esperadas calculadas se aproximarán en buena medida a las reales para ese año (o cualquier otro período de tiempo), en contraposición a un incremento fijo porcentual.
  
- FACTORES DE PRODUCCION: simulando la factibilidad de llevar a cabo un plan de ventas determinado, y en su caso, cuales los nuevos recursos (maquinaria, hombres) que lo cumplan.  
Tradicionalmente los incrementos en ventas son reflejados directamente en la adquisición de nuevos equipos y capacidad de planta.
  
- ROTACION DE INVENTARIOS: dadas las repercusiones financieras en el manejo de inventarios, la simulación estimula una alta rotación de inventarios através de un sistema interactivo demanda contra requerimientos a proveedores (crp)

- INFORMACION GERENCIAL: en condiciones especiales la simulación también proporciona la información pertinente para la toma de decisiones a nivel gerencial relacionadas con los niveles de operación de la empresa.

La simulación por otro lado, también tiene sus restricciones:

- EL SOFTWARE requerido para modelos complejos suele ser complicado.

Ya que la simulación es un experimento dinámico el número de corridas, y por tanto el tiempo de máquina y costos de operación, tiende a ser grande.

La naturaleza misma de la simulación es algo difícil de entender, por lo que es común llegar a conclusiones erróneas.

La última, y quizá la mas importante: Los resultados arrojados por un experimento de simulación son solo una herramienta mas en la toma de decisiones de una empresa y de ninguna manera constituyen los parametros ultimos a considerar.

Estos puntos mencionados, y otros presentados en éste - trabajo, nos permiten obtener la conclusión última de nuestra tesis: Los experimentos de simulación en computadoras digitales, sin duda tendran mucho que ver en las soluciones - practicas a los problemas reales dentro del sector empresarial de nuestro tiempo. Sin embargo, los esquemas finales, en lo que a simulación se refiere, tienen y tendrán todavía un desarrollo particularmente importante en los centros de - investigación y de enseñanza.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Thomas H. Naylor. "Experimentos de Simulación en Computadoras con modelos de sistemas economicos".  
Editorial Limusa 1977
- 2.- M. R. Spiegel "Estadística"  
Editorial Mc. Graw-Hill 1970
- 3.- J. S. Cramer "Economía Empírica"  
Fondo de Cultura Económica 1973
- 4.- P. J. Kiviat "Denelopment Of Discrete Digital Simulation Languages"  
Simulation VIII 1967
- 5.- Thomas H. Naylor, Balintfy, Burdick. "Técnicas de simulación en Computadoras"  
Editorial Limusa 1971
- 6.- Luthe Olivera "Métodos Numéricos"  
Editorial Limusa 1978
- 7.- Richard Bronson "Computer Simulation"  
Artículo Revista Byte Marzo 1984
- 8.- E. Hart Rasmussen. "Queve Simulation"  
Artículo Revista Byte Marzo 1984
- 9.- Arturo Trejo Ruiz "Programoteca de Infraestructura para Investigación de operaciones"  
Tesis Profesional. C. U. 1979
- 10.- Informe Anual del Banco de México 1982
- 11.- Diemex - Wharton. "Estudio Econometrico de México"  
Febrero 1983
- 12.- Gordon B Davis "Introducción a los Computadores Electronicos"  
Editorial Continental 1980
- 13.- Burroughs Corporation. "Manual de Introducción y Conceptos Básicos 1974

- 14.- IBM "G.P.S.S. 360 User's Manual" 1979
- 15.- Conacyt "Ciencia y Desarrollo"  
Núm. 54 Enero - Febrero
- 16.- David M. Castlewitz. "Introducción al Visicalc"  
Editorial Osborne/Mc Graw - Hill
- 17.- Marco A. Murray Lasso. "Revista de Computación 1o"  
Mayo 1983
- 18.- White - A Gee - Case. "Técnicas de Análisis Económico  
en Ingeniería"  
Editorial Limusa.