

00663

2  
2e



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Contaduría y Administración  
División de Estudios de Posgrado  
Maestría en Contaduría**

**MODELOS FINANCIEROS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES  
APLICABLES A SIMULACION Y TEORIA DE JUEGOS PARA UNA  
EFECTIVA TOMA DE DECISIONES EN EMPRESAS COMERCIALES.**

**T E S I S**

**Que para obtener el grado de  
MAESTRO EN CONTADURIA**

**p r e s e n t a**

**LUIS ALFREDO MUÑOZ MORAN**



**México, D. F.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**1987**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

## I N D I C E

### I. INVESTIGACION DE OPERACIONES 1

#### Introducción

I.1. Antecedentes de la Investigación de Operaciones	3
I.2. Naturaleza de la Investigación de Operaciones	9
I.3. El porqué de la Investigación de Operaciones	11
I.4. Proceso de la Investigación de Operaciones	13
I.5. Conceptos Generales de la Investigación de Operaciones	17
I.6. Características Esenciales de la Investigación de Operaciones	20
I.7. La Investigación de Operaciones y la Computadora	25
I.8. Presente y Futuro de la Investigación de Operaciones	26
I.9. Breve Historia del Desarrollo de la Investigación de Operaciones en México	32
I.10. Algunas Aplicaciones Específicas en México	35
I.11. Aplicaciones Generales de la Investigación de Operaciones	37

#### Resumen

### II. MODELOS 55

#### Introducción

II.1. Qué se Entiende por Modelos	56
II.2. Principales Clasificaciones de los Modelos	56
II.3. Principales Aspectos para la Formulación y Diseño de un Modelo	60

II.4.	Elementos Básicos para la Construcción de un Modelo.	68
II.5.	Disponibilidad de la Información en la Construcción de Modelos	71
II.6.	Principales Patrones a Tener en Cuenta para la Elaboración de Modelos	73

Resumen

### III. MODELOS MATEMATICOS 83

Introducción

III.1.	Qué son los Modelos Matemáticos	84
III.2.	Principales Componentes de un Modelo Matemático	84
III.3.	Clasificación de los Modelos Matemáticos	85
III.4.	Aspectos Importantes que se Deben Tener en Cuenta para la Construcción de Modelos Matemáticos	95
III.5.	Posibles Soluciones a Partir de la Construcción de un Modelo	98
III.6.	Validez del Modelo y sus Posibles Soluciones	100
III.7.	Establecimiento de Controles	103
III.8.	Utilización de las Soluciones	106
III.9.	Ventajas en la Utilización de Modelos Matemáticos	108
III.10.	Desventajas en la Utilización de Modelos Matemáticos	111

Resumen

### IV. MODELOS MATEMATICOS-FINANCIEROS 117

Introducción

IV.1.	Qué debemos entender por Modelos Matemático-Financieros	118
-------	---	-----

IV.2.	Principales Clasificaciones de los Modelos Financieros	118
IV.3.	Principales características de un Modelo Financiero	127
IV.4.	Análisis de Sensibilidad de los Principales Tipos de Modelos	130
	Resumen	
V.	SIMULACION MONTE CARLO	145
	Introducción	
V.1.	Concepto de Simulación en Sentido General	146
V.2.	Definiciones de Simulación en Sentido General	146
V.3.	Concepto de Simulación Monte Carlo	148
V.4.	Pasos a Seguir en la Simulación Monte Carlo	149
V.5.	Cuándo Usar Simulación Monte Carlo	154
V.6.	Ventajas en el Uso de la Simulación Monte Carlo	158
V.7.	Desventajas en el Uso de la Simulación Monte Carlo	162
V.8.	Principales Usos de la Simulación Monte Carlo	164
V.9.	Aplicaciones Principales de la Simulación Monte Carlo	167
V.10.	Simulación Financiera	185
	Resumen	
	Apéndice	205

## VI. TEORIA DE JUEGOS

243

### Introducción

VI.1.	Antecedentes de la Teoría de Juegos	244
VI.2.	Concepto General de Teoría de Juegos	245
VI.3.	Algunas Definiciones de Teoría de Juegos	246
VI.4.	Principales Conceptos de la Teoría de Juegos	247
VI.5.	Clasificación de los Juegos	250
VI.6.	Principales Usos de la Teoría de Juegos	252
VI.7.	Ventajas en el Uso de la Teoría de Juegos	254
VI.8.	Desventajas en el Uso de la Teoría de Juegos	256
VI.9.	Elementos Fundamentales de la Teoría de Juegos	258
VI.10.	Clases de Juegos	259
VI.11.	Algunas Aplicaciones Potenciales de la Teoría de Juegos	268

### Resumen

### Apéndice

282

## INDICE DE GRAFICAS

Gráfica No. 1. :	Metodología y Características de la Definición de Investigación de Operaciones	19
Gráfica No. 2. :	Estructura de Programación	44
Gráfica No. 3. :	Procedimiento para la Aplicación de la Técnica de Reemplazo y Mantenimiento	46
Gráfica No. 4. :	Modelo, en Sentido General.	62
Gráfica No. 5. :	Formulación y Diseño de un Modelo	66
Gráfica No. 6. :	Componentes de la Situación de un Problema	90
Gráfica No. 7. :	Las Ramas de las Matemáticas y los Problemas Financiero-Administrativos	92
Gráfica No. 8. :	Aplicación de un Modelo	98
Gráfica No. 9. :	Simulación de Inventarios	177
Gráfica No. 10. :	Representación Gráfica de Simulación en Teoría de Colas	182
Gráfica No. 11. :	Diagrama de Flujo para Simulación de Colas de Espera en Computadora	208
Gráfica No. 12. :	Diagrama de Flujo para Simulación de Líneas de Espera por Incremento Fijo de Tiempo en BASIC	216
Gráfica No. 13. :	Arbol de decisiones, Caso Práctico	275

**Gráfica No. 14.: Arbol de Decisiones no Secuenciales en BASIC 283**

**Gráfica No.15.: Arbol de Decisiones Secuenciales en BASIC 287**



## INTRODUCCION

El objetivo básico de este trabajo es el de demostrar e incentivar a todos aquellos que de una u otra forma están relacionados con la difícil tarea de tomar decisiones, la verdadera importancia que tiene la Investigación de Operaciones en el logro de los objetivos que toda empresa persigue.

La utilización de la Investigación de Operaciones no es reciente, sabemos que desde muchos años atrás, ha venido siendo empleada por el hombre con el propósito de lograr mejores resultados en todas sus actividades cotidianas. Sin embargo fue apenas durante la segunda guerra mundial cuando tomó verdadera importancia y cuando se reconoció como una disciplina capaz de servir eficazmente a los intereses tanto del sector público como privado. Posteriormente su auge se vio complementado con la aparición de la computadora, haciendo que su utilización se incrementara ya que se desarrollaron grandes actividades que conllevaban enormes cantidades de cálculos y operaciones matemáticas.

La Investigación de Operaciones, es una disciplina que mediante la utilización del método científico, trata de resolver situaciones complejas, que por medio de grupos interdisciplinarios se aboca al estudio y análisis de los sistemas y que mediante el uso de modelos matemáticos trata de proporcionar verdaderos cursos de acción para que las personas que tienen bajo su responsabilidad la toma de decisiones, logran alcanzar lo más concreto posible los objetivos organizacionales.

La Investigación de Operaciones nos brinda todo un conjunto de técnicas especializadas como recursos para solucionar en lo posible, las distintas situaciones complejas que a diario

se presentan en el difícil mundo de los negocios modernos. Presenta técnicas que nos ayudan a enfrentar situaciones tanto determinísticas como aquellas que son resultado del continuo cambio ambiental, como son los probabilísticos, problemas estos que son los que comunmente enfrentan hoy en día los directores empresariales.

El presente trabajo comprende las siguientes secciones:

- El primer capítulo contiene los aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta cuando se vaya a implantar la Investigación de Operaciones dentro de una empresa. Contiene además de sus antecedentes históricos, el proceso de aplicación, sus características esenciales, algunos conceptos, las principales causas que conllevan a la implantación de las diferentes técnicas que la conforman, así como las principales aplicaciones que se pueden realizar. Básicamente nos indica lo que es en sí la Investigación de Operaciones y para que nos puede servir.
  
- En los capítulos II, III y IV, se presentan todos los aspectos relacionados con los modelos; modelos en sentido general, modelos matemáticos, objeto fundamental de la Investigación Operacional para su aplicación y los modelos financieros. Aquí se ponen de manifiesto las variadas clases de modelos de todo tipo, los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta para su elaboración, las ventajas y desventajas en el uso y que necesariamente deben tenerse en cuenta al momento de tratar de implementarlos; también el correspondiente análisis de sensibilidad, aspecto considerado de mucha importancia para efectos de validar tanto variables de actuación, resultados alcanzados por los modelos, los cursos de acción a tomar y los modelos mismos.

Resumiendo tenemos que las anteriores secciones nos revelan lo que en si son los modelos, para que sirven, cómo los estructuramos y qué resultados sacamos de ellos.

- En los capítulos restantes o sean el V y el VI, se presentan específicamente dos técnicas que conforman parte del conjunto que maneja la Investigación de Operaciones. Estas dos técnicas están encaminadas a demostrar el camino, la importancia de su utilización en apoyo de quienes toman decisiones en condiciones de riesgo e incertidumbre, es decir que son modelos que trabajan con probabilidades a través de distribuciones dadas y con variables aleatorias.

En estos dos últimos capítulos se ponen de manifiesto la importancia, las características relevantes, las ventajas y desventajas, los principales usos tanto de la Simulación Monte Carlo como de la Teoría de juegos. Asimismo se presentan casos prácticos en sentido manual, como por computadora utilizando lenguaje BASIC. Sin embargo es conveniente aclarar que se tratan casos prácticos bastante sencillos, pero de lo que se trata es de demostrar la verdadera utilidad de su aplicación, ya que estas técnicas se utilizan en situaciones bastante complejas.

Es pues, el contenido básico del presente trabajo, que en resumen comprende desde los antecedentes de la Investigación de Operaciones, pasando por los modelos matemáticos, herramienta útil en el proceso de su aplicación hasta llegar a las aplicaciones técnicas por computadora, todo esto encaminado a resaltar la importancia de ésta disciplina en actividades financieras tan cambiantes como la naturaleza y los momentos de situación en que vivimos actualmente.

## CAPITULO I

### INVESTIGACION DE OPERACIONES

Resulta difícil establecer con exactitud los inicios de la Investigación de Operaciones, los precursores de las ciencias, Arquímedes en sus obras militares, algunos científicos que servían a Napoleón y ciertamente algunas estrategias de la primera guerra mundial, fueron los primeros que efectuaron trabajos y ensayos empleando lo que hoy en día se conoce como Investigación de Operaciones.

Sin embargo, no es sino hasta la Segunda Guerra Mundial cuando se desarrolla plenamente en el campo militar, cuando el Gobierno Británico en 1937; llamó a sus asesores científicos para que apoyaran sus estructuras militares disponiendo mejor los escasos recursos a las diversas operaciones de tipo militar, ayuda que fué fundamental para lograr las victorias en las batallas de Inglaterra, la campaña de las Islas del Pacífico, la batalla del Atlántico Norte y otras. Es pues, hasta esa época cuando se reconoce a la Investigación de Operaciones como una disciplina científica aparte.

En los Estados Unidos la investigación en el campo militar aumentó al terminar la guerra, la industria y el gobierno experimentaron el mismo estímulo que en la Gran Bretaña y sólo fué hasta 1950 cuando la Investigación de Operaciones comenzó a ser tomada en serio por la industria norteamericana.

Posteriormente, la aplicación de esta disciplina aumentó considerablemente y en especial en el campo empresarial, ante la necesidad de alcanzar una mayor productividad y mayores utilidades, y fué así como los Estados Unidos iniciaron una segunda revolución industrial de automatización cuando las computadoras electrónicas hicieron su aparición en el gobierno

y en la industria. Por consiguiente con el advenimiento de la computadora aunado al desarrollo de los métodos de Investigación de Operaciones se propició la unión del ejecutivo con el científico en una actividad que cada día crece con mayor rapidez.

Actualmente las posibilidades de aplicación son de muy variadas formas y en gran parte destinadas a soportar la toma de decisiones óptimas en sistemas y operaciones determinísticas y probabilísticas que se originan en la vida real y en la modelación de los mismos. Estas aplicaciones se llevan a cabo en el sector Gobierno, las Finanzas, la Economía, la Administración, la Contaduría, Ingeniería, en las Ciencias Naturales y Sociales, y en los negocios en general en donde su característica es la asignación óptima de recursos limitados

Asimismo en la actualidad la Investigación de Operaciones ha sido adoptada por las instituciones educativas como parte de los programas de enseñanza superior.

Tal como se ha expuesto hasta el momento, su aplicación es muy diversa y tal como todas las ciencias, la Investigación de Operaciones utiliza el método científico en la resolución y estudio de situaciones y sistemas. Es por esto que se define como una disciplina que utiliza el método científico por medio de grupos interdisciplinarios para la solución de problemas y para la toma de decisiones tendientes a mejorar un sistema en el logro de un objetivo global.

La mayoría de situaciones conflictivas que pueden resolverse por medio de la Investigación de Operaciones, por lo general se refieren a aspectos particulares de una problemática más amplia. Es bien sabido que estos tipos de problemas son multifacéticos y contemplan muchas veces aspectos intangibles muy

difíciles, sino imposibles de calificarse.

Para esto, en innumerables ocasiones son las técnicas y los modelos matemáticos que nos proporciona esta disciplina, los que nos facilitan una conceptualización adecuada de la realidad en la que están ubicados los problemas complejos.

Para terminar, se puede decir que existe una necesidad imperiosa de que la Investigación de Operaciones en general, se extienda hacia el enfoque de sistemas y al análisis, estructurar y resolver todo tipo de situaciones que influyan en el normal desempeño de las ocupaciones de organizaciones de cualquier índole; esto con el objeto de que las técnicas, modelos matemáticos y metodología de la Investigación de Operaciones se puedan ubicar adecuadamente en la identificación, análisis, estructuración y solución de problemas complejos y multifacéticos que las sociedades tecnológicas y las entidades actuales en general los tengan que afrontar.

#### I.1. Antecedentes de la Investigación de Operaciones.

Es probable que se pudieran describir elementos de la Investigación de Operaciones en las obras militares de Arquímedes y de algunos de los científicos que servían al Napoleón y ciertamente en los de la primera guerra mundial.

En Inglaterra, ya en el año de 1914 se publicaban trabajos sobre las relaciones teóricas existentes entre el logro de la victoria y la superioridad en las fuerzas armadas y el poder del fuego. En los Estados Unidos, durante la primera guerra mundial se le dió a Thomas Edison la tarea de describir cuales maniobras de los buques mercantes serían más efectivas para minimizar la pérdida de buques por encuentros con submarinos enemigos.

En lugar de arriesgar buques en una acción bélica real, éste aplicó como solución un "tablero táctico de juego". En la misma época, a fines de la década de 1910, un ingeniero danés A. K. Erlang de la compañía de teléfonos de Copenhage, estaba realizando experimentos sobre la fluctuación de la demanda de servicios telefónicos con equipo de marcado automático. Su trabajo sirvió de fundamento a los modelos matemáticos que actualmente se emplean en la teoría de las líneas de espera.

Por lo general se piensa que la Investigación de Operaciones es de origen reciente; sin embargo, ésta se remonta a muchos años atrás. El hombre en todos los diferentes ámbitos de su actividad, siempre ha procurado lograr resultados óptimos.

Resulta difícil determinar la fecha exacta en que se inicia la Investigación de Operaciones, los precursores de la ciencia fueron los primeros que efectuaron trabajos que en la actualidad se consideran como la Investigación de Operaciones.

A principios de nuestro siglo, se manifestó un creciente interés en problemas cuya solución requerían utilizar varias disciplinas tales como la Economía, la Estadística, la Lógica, Las Matemáticas y otras; sin embargo, la falta de equipo apropiado como lo son las computadoras electrónicas, impidieron conjugarlas en una sola. Por consiguiente, sólo fué hasta la segunda guerra mundial cuando comenzó a reconocerse a la Investigación de Operaciones como una disciplina científica aparte.

reconocimiento de la Investigación de Operaciones en el campo militar.

Fué en 1937 cuando el gobierno Británico pidió a sus científicos que ayudaran a los militares a utilizar los equipos de radar de nueva creación para detectar los aviones enemigos. Este grupo, al que se consideraba el núcleo del primer equipo de Investigación de Operaciones, extendió en forma uniforme su foco de actividades más allá del problema del radar y de su integración con los observadores de tierra. Este llamado a los científicos se hizo principalmente como ayuda a los comandantes de campo para que resolvieran sus problemas tácticos y estratégicos, ansiosos de evitar la pérdida y desperdicios de sus recursos de guerra. Es por esto que se le da a la segunda guerra mundial el punto de partida de este proceso científico, como consecuencia de la necesidad de asignar correctamente los recursos escasos a las diversas operaciones militares y a las actividades dentro de cada operación de una manera efectiva. Según se afirma, sus esfuerzos influyeron para ganar las batallas de Inglaterra la campaña de las islas del Pacífico, la batalla del Atlántico Norte y así sucesivamente.

Entre las principales actividades realizadas por el grupo de científicos, integrado por biólogos, físicos, estadígrafos, matemáticos y psicólogos, mediante la utilización de la Investigación de Operaciones durante la guerra están: la determinación del tamaño óptimo de una caravana para minimizar las pérdidas por ataques submarinos, la determinación del color de los aviones para minimizar la detección por submarinos o maximizar el número de submarinos hundidos, la determinación de la mejor manera de desplazar las unidades de radar para maximizar el cubrimiento potencial contra posibles ataques del enemigo. Algunos estudios realizados por los americanos comprendían la solución de problemas logísticos, la invención



de nuevos patrones de vuelo, la plenación de colocación de minas marinas y la utilización efectiva de equipo electrónico, etc.

Resulta claro que sus primeras aplicaciones fueron todas bélicas, o parte del esfuerzo bélico, tales como la programación de vuelos de bombardeo con el propósito de obtener la máxima destrucción, la determinación de la forma más adecuada de navegación de los transportes marinos para reducir al mínimo los riesgos de ser torpedeados, etc.

#### La Investigación de Operaciones en las empresas.

· Cuando terminó la segunda guerra mundial, los nuevos tipos de problemas de administración creados por la nacionalización de la industria y la necesidad de reconstruir grandes secciones de las instalaciones industriales de la nación, requirieron de un nuevo enfoque en la Gran Bretaña, los consultores en Administración que nunca habían sido populares tuvieron la oportunidad de entrar al juego, porque los Administradores Británicos deseaban intentar un nuevo método para mejorar la productividad y las utilidades la Investigación Operacional. Es difícil nombrar un tipo de industria en la que no se aplique la Investigación de Operaciones. En la Gran Bretaña la Investigación de Operaciones ha alcanzado un sitio muy estable, en las empresas y en el gobierno para la resolución de problemas difíciles y complejos.

En los Estados Unidos la investigación militar aumentó al terminar la guerra, esto ocasionó que las personas dedicadas a la Investigación de Operaciones permanecieran en las áreas militares. La industria y el gobierno experimentaron el mismo estímulo que en la Gran Bretaña. Inicialmente la industria y el gobierno se mostraron indiferentes a esta disciplina.

No fué sino hasta 1950 cuando la Investigación de Operaciones comenzó a ser tomada en serio por la industria norteamericana.

Los Estados Unidos iniciaron una segunda revolución industrial de automatización cuando las computadoras electrónicas hicieron su aparición en el gobierno y en la industria. El personal adiestrado en investigaciones operacionales que había pasado una década en la Investigación de Operaciones orientadas a lo militar, adoptó la computadora como herramienta esencial. El advenimiento de la computadora aunado al desarrollo de los métodos de Investigación de Operaciones propició la unión del ejecutivo con el científico en una actividad que crece cada día con mayor rapidez.

Durante la década de los cincuenta, la programación lineal dio a la Investigación de Operaciones industrial un impulso muy importante. Esta técnica que es básicamente la aplicación del álgebra lineal a la asignación de recursos, tuvo muchas aplicaciones en la industria. Muchas técnicas como el PERT y simulación son muy utilizadas en nuestros días; la probabilidad y la estadística que son fundamentales para cualquier trabajo de Investigación de Operaciones, introdujeron las nociones de límites de confianza y de probabilidad de ocurrencia en vez de los promedios simples.

Posteriormente, las instituciones educativas de los Estados Unidos y del Reino Unido han adoptado a la Investigación de Operaciones como parte de los programas de enseñanza superior.

Es posible identificar por lo menos otros dos factores que contribuyeron significativamente al rápido crecimiento de la investigación de Operaciones durante este período. Uno fué el progreso sustancial que se logra al desarrollar y mejorar las técnicas disponibles de la Investigación de Operaciones.

Un ejemplo es el método simplex para resolver problemas de programación lineal que fué desarrollado en 1947 por el matemático americano Jorger Dantzing.

Muchas de las herramientas convencionales de la Investigación de Operaciones, tales como la programación lineal, la programación dinámica, la teoría de inventarios y la teoría de colas estaban relativamente bien desarrolladas antes de finalizar los años cincuenta.

Un segundo factor en el progreso impresionante, fué el desarrollo paralelo del computador digital. Este le proporcionó al tomador de decisiones tremenda capacidad en la velocidad de cómputo, almacenamiento y retiro de información. Sinó fuera por el computador digital la Investigación de Operaciones con sus problemas de cómputo en gran escala no hubiera crecido al nivel de hoy en día.

Desde el advenimiento de la computadora, el mundo de los negocios e industrial ha tenido un notable crecimiento en la magnitud y complejidad de las organizaciones, los pequeños talleres de artesanos de la antigüedad se han desarrollado hasta llegar a las corporaciones de miles de millones de dólares de la actualidad. Una parte integral de este revolucionario cambio ha sido un tremendo incremento en la división de la mano de obra y la segmentación de las responsabilidades de administración en estas organizaciones. Los resultados han sido espectaculares, sin embargo junto con sus bendiciones esta especialización creciente ha creado nuevos problemas, problemas que todavía se están presentando en muchas organizaciones. Uno de los problemas que a menudo se presentan es el conflicto de metas y objetivos por cada uno de los subsistemas que conforman y van en detrimento del sistema como un todo organizacional.

Un problema relacionado es que, a medida que se incrementa la complejidad y especialización de una organización, se vuelve cada vez más difícil asignar los recursos disponibles a sus diversas actividades de manera que sea lo más efectivo para la organización como un todo.

Estos tipos de problemas y la necesidad de hallar la mejor manera de resolverlos, dió lugar al medio necesario para que surgiera la Investigación de Operaciones.

Así, el término de Investigación de Operaciones, como es utilizado, abarca todos los problemas financiero-administrativos que se pueden resolver tanto por los métodos y técnicas de Investigación de Operaciones como también por el análisis de decisión.

## I.2. Naturaleza de la Investigación de Operaciones.

Una de las formas más razonables para poder entender la naturaleza de la Investigación de Operaciones es observando la definición, la cual se dice que la Investigación de Operaciones se considera como el método científico aplicado a la solución de problemas y a la toma de decisiones por la gerencia.

El enfoque de Investigación de Operaciones debe abarcar entre otros los siguientes aspectos:

- Elaboración de un modelo matemático que comprenda las relaciones de los elementos esenciales del problema real el cual es inherentemente complejo e incierto, que permita la obtención de soluciones óptimas encaminadas a alcanzar los objetivos previamente determinados por quienes toman las deci-

siones.

- Examen y análisis de dichas relaciones secuenciales, las cuales son el resultado de la realización de una decisión, para posteriormente comparar dichas acciones o resultados alcanzados con los objetivos globales de la organización.

- Desarrollar una técnica específica, como por ejemplo simulación de problemas, el cual comprenda preferentemente teorías matemáticas, para tratar de alcanzar un valor maximizante o minimizante y que redunde en beneficio de quien toma decisiones y del alcance de los objetivos.

La Investigación de Operaciones se aplica tanto para problemas tácticos como estratégicos de las entidades. Como ya se sabe los problemas tácticos tienen que ver con las operaciones diarias de una organización: como ejemplos de este tipo de problemas tenemos: la programación de la producción y el control de inventarios; el balance de líneas de ensamble, el mantenimiento y reparaciones, planes, inspección para el control de calidad y el número de estaciones que comprende una cola, etc. Los problemas estratégicos tiene la característica de ser a largo plazo y en forma más global dentro de las organizaciones, entre los principales problemas tenemos el desarrollo de un programa a largo plazo para la expansión de la planta, la selección de sitios para una planta, la determinación de posturas estratégicas para valuación, asignación de recursos para exploración del espacio, desarrollo de programas para ayudar al necesitado, incremento de la educación de minorías en desventajas y la promoción del desarrollo urbano, entre otras.

Por consiguiente ya tenemos lo que significa esta disciplina, que debe comprender la estructura que ataca los problemas

y las partes en donde la Investigación de Operaciones actúa o se pueda aplicar.

### 1.3. El por qué de la Investigación de Operaciones.

En la actualidad, tanto las estructuras organizacionales, como las decisiones que se tienen que tomar, se ven seriamente afectadas por el continuo cambio a que están sometidas, es por esto que para alcanzar los objetivos que se proponen quienes tienen bajo su cargo dicha toma de decisiones, se ven en la necesidad de utilizar las diferentes técnicas operacionales en cada campo, donde cada una de estas tenga su aplicación específica.

Las técnicas que se desarrollan dentro de la Investigación de Operaciones facilitan mejores cursos de acción para mejorar toma de decisiones, por cuanto los niveles gerenciales cada día se enfrentan a problemas cada vez más cambiantes, complejos e inciertos que requieren de un mayor estudio, pensamiento y análisis en su afán de alcanzar los objetivos globales.

Los gerentes buscan la adopción de un verdadero curso de acción que esté directamente relacionado con la realidad de los problemas, entre muchos posibles cursos de acción disponibles los cuales están sometidos a la incertidumbre sobre el futuro y en donde resulta imposible determinar las consecuencias, de las decisiones que se han elegido; por consiguiente la Investigación de Operaciones mediante el uso de modelos matemáticos en su mayoría, presenta alternativas de acción más apegadas a la realidad mediante el uso de muchos posibles resultados.

La necesidad y la justificación del porqué en el uso de varias técnicas de Investigación de Operaciones, entre otras:

están las siguientes causas;

- La inconsistencia dentro de las organizaciones en cuanto a valores, metas, objetivos, las actitudes de riesgo y la discrepancia entre las creencias y el conocimiento de la situación por parte de los responsables de elaborar y tomar decisiones.

- La limitación de los recursos disponibles con los cuales se busca alcanzar una mayor maximización de resultados, el desconocimiento de la capacidad verdadera de la organización, al igual que la capacidad de las gentes que intervienen en ella.

- La complejidad en el proceso de toma de decisiones ocasionada por las siguientes causas entre otras:

- Una multiplicidad de metas y objetivos que se pretende lograr.

- Una variada gama de posibilidades sobre las cuales se deben seleccionar las más óptimas.

- Una multiplicidad de eventos y posibles estados que pueden ocurrir.

- Las posibles y múltiples consecuencias que se pueden presentar como resultado de la toma de una acción que pueda generarse en un conjunto de eventos.

- Las diferentes estructuras que deben tener en cuenta o construir los individuos de las organizaciones.

- Los conflictos que puedan ocasionar las decisiones tomadas por varios tomadores de decisión.

Por lo tanto, las relaciones que manifiestan los modelos que utiliza la Investigación de Operaciones deben en lo posible ser visibles y cuantificables, con el propósito de que omitan mayores complejidades e incertidumbre en el proceso de toma de decisiones.

Es también conveniente examinar y analizar un problema complejo, si los conceptos, herramientas y técnicas de Investigación de Operaciones se utilizan para descomponer el problema en sus elementos más simples. Una vez que se realiza esto, los elementos pueden agregarse o sintetizarse. Esto ayuda a una visión global y ayuda a su resolución. Esta sintetización de los segmentos que conforman una organización afectada por la toma de una decisión la realiza la Investigación de Operaciones mediante el uso de modelos de preferencia simbólico matemáticos.

#### I.4. El proceso de la Investigación de Operaciones.

La Investigación de Operaciones como su nombre lo indica, implica una investigación acerca de las operaciones. Esto dice algo tanto del procedimiento como del área de aplicación. Por lo tanto, se sabe que la Investigación de Operaciones se aplica a problemas que tienen que ver con la conducción y coordinación de los recursos, operaciones o transacciones dentro de una entidad ya sea dedicada a los negocios y comercio, la industria, la milicia, el gobierno y en general las dependencias civiles, etc.

El punto de partida de la Investigación de Operaciones y su punto de vista es el método científico. En particular



su proceso propio comprende los siguientes aspectos que serán revisados en forma detallada, por cuanto más adelante cuando se toque lo referente a modelos se analizarán un poco más.

El proceso de la Investigación de Operaciones comprende los siguientes cinco pasos principales:

- Formulación y definición del problema.
- Construcción de un modelo.
- Solución del modelo.
- Validación del modelo.
- Implementación de los resultados.

#### I.4.1. Formulación y definición del problema

Esta primera etapa del proceso debe comprender por lo menos los siguientes aspectos:

- Una descripción precisa de las metas y objetivos que se pretenden alcanzar.

- La identificación precisa de las variables de decisión controlables y no controlables del sistema bajo estudio.

- Determinación previa de las principales variables que componen la estructura básica del proceso.

Cuando se define el sistema debe tenerse mucho cuidado de no ir a suboptimizarlo, esto significa que se alcancen metas que redunden en beneficio únicamente de una parte del sistema y que a su vez vaya en perjuicio del total de la organización. Se deben tener muy en cuenta al mismo tiempo, todas las posibles alternativas de acción y decisión para no ir

a producir una solución inadecuada.

#### I.4.2. Construcción del modelo.

Aquí se presenta el análisis y descripción detallada del proceso. Se debe en lo posible elaborar un modelo que verdaderamente represente el sistema que se está estudiando. Este modelo debe comprender relaciones cuantitativas tanto para la función objetivo como para las relaciones que representan las ecuaciones o inecuaciones en términos de variables de decisión. Debe proporcionar y utilizar estimaciones que reflejen los parámetros de medición, los cuales pueden ser obtenidos con datos históricos o subjetivos o estimados en forma más concreta y específica por medio de mecanismos estadísticos.

Estos modelos y las relaciones implícitas en él, deben estar enmarcados en un periodo de tiempo determinado, para el cual se desea resolver el problema en cuestión; asimismo, se debe determinar si el sistema a estudiar y el sistema a aplicar va a ser probabilístico o determinístico.

El tipo de modelo que se construya depende de la complejidad y la posibilidad de encontrar una solución de las relaciones matemáticas que se manejen, por lo tanto podrán ser modelos matemáticos dependiendo de la técnica que se utilice o el sistema a estudiar. Esto quiere decir que será de simulación o heurístico según sea el caso.

#### I.4.3. Solución a partir de un modelo.

Una vez construido el modelo en donde se detallen los parámetros con datos históricos, tecnológicos o prácticos, el encargado de operar dicho modelo, deriva de él una solución que por el estilo del modelo que aquí se trata deberá ser matemático. Las técnicas matemáticas más usuales son las

que comunmente se concen como optimizantes y en donde la más utilizada es la programación lineal.

Por otro lado, si las relaciones matemáticas del modelo son muy complejas para poder llevar a cabo una solución analítica operacionable, entonces el método de simulación puede ser el que se ajuste a estas situaciones. Un punto que debe tenerse muy en cuenta es que, cuando se utilizan modelos heurísticos o de simulación, no debe tratar de buscarse soluciones óptimas, sino que debe buscarse una sucesión de posibles soluciones encaminadas a servir de apoyo a la búsqueda de un determinado curso de acción que se conocen como satisfactores de las necesidades del problema.

Otro punto muy importante en la solución del modelo es la realización del análisis de sensibilidad, o sea, la determinación del funcionamiento del sistema que se está operando, el cual debe estar sujeto y adaptable a cambios en las condiciones y en los parámetros del sistema. Básicamente se refiere a que muchas veces los datos de entrada no son precisos o estables ocasionando que la estructura que se obtiene no sea o no siga siendo válida. Este análisis de sensibilidad forma parte esencial en el proceso de la modelación y debe prestarsele la atención debida.

#### I.4.4. Validación del modelo.

En la etapa de validación se busca que el modelo sea capaz de predecir confiablemente el comportamiento del sistema. También comprende la prueba de las relaciones estructurales, así como también las hipótesis que se utilicen para probar el comportamiento de las variables y los posibles resultados con lo cual se prueba la validez total del modelo.

Un método común para probar la validez de un modelo, consiste en comparar el funcionamiento con datos históricos disponibles en el momento de revisar el sistema actual. El modelo será válido si con los mismos datos de entrada puede llegar a representar el mismo comportamiento pasado del sistema.

Por lo tanto el modelo debe ser susceptible a los continuos cambios a fin de conservar la validez del mismo.

#### I.4.5. Implementación de resultados.

La implementación y estructuración, realmente empieza desde el mismo momento cuando empieza el estudio de Investigación de Operaciones. Cabe destacar la importancia que tiene el hecho de que los gerentes quienes tendrán que actuar con base en los resultados que se obtengan, analicen el problema con el propósito de que conozcan lo suficientemente posible el mecanismo del modelo.

Cuando el modelo es utilizado más de una vez en el análisis de problemas de decisión, este modelo debe revisarse continuamente y cada vez que se vaya a emplear para que se tengan en cuenta los diferentes aspectos del problema y de la información en particular de cada situación a resolver. Como consecuencia de la utilización de los modelos en forma repetida se debe detectar la necesidad de la revisión en la documentación y la actualización de los planes del modelo y sus relaciones estructurales básicas.

#### I.5. Conceptos generales de Investigación de Operaciones

Debido a que resulta muy difícil dar una definición precisa de lo que verdaderamente es la Investigación de Operaciones, se procede a delimitar las principales características y la

metodología que comprende el enfoque en su parte fundamental.

Este análisis o esquematización de la Investigación de Operaciones se hace no solo con el propósito de simplificar su conocimiento e identificación, sino de evitar entrar en definiciones que muchas veces resultan tan extensas que pierden su significado, su claridad y su exactitud.

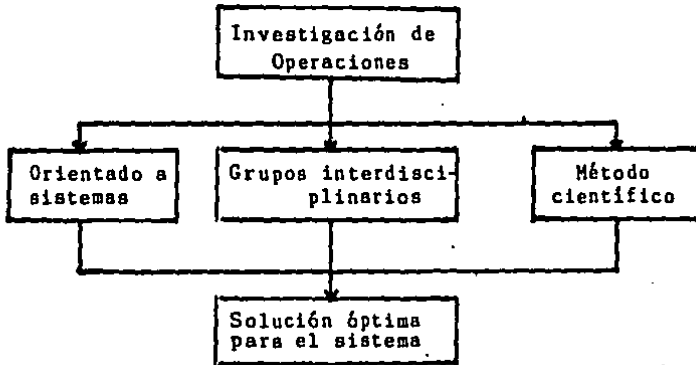
Por lo tanto este enfoque comprende:

- La aplicación del método científico.
- El uso de grupos interdisciplinarios.
- Se usa para resolver problemas de control de sistemas organizados hombre-máquina, obteniendo soluciones óptimas que cumplan con los objetivos de las organizaciones como un todo.

Como consecuencia de este análisis se obtienen las siguientes características esenciales de la Investigación de Operaciones:

- Se orienta hacia sistemas y organizaciones hombre-máquina.
- La utilización de grupos interdisciplinarios.
- Aplicación del método científico a problemas de control administrativo.

Estas características esenciales de la definición de lo que en sí es la Investigación de Operaciones, quedan enmarcadas en el siguiente esquema que nos proporciona Humberto Benet, en su obra "Principios de Investigación de Operaciones".



Gráfica No. 1\*. Metodología y características de la definición de Investigación de Operaciones.

A continuación presentamos algunas definiciones de algunos autores conocidos en el estudio de esta disciplina.

Según "Thierauff-Grose" en su libro "Introducción a la Investigación de Operaciones" define a la Investigación de Operaciones así: en función a las características inherentes a esta disciplina; la Investigación de Operaciones utiliza el método planeado y el equipo interdisciplinario para representar relaciones funcionales complejas como los modelos matemáticos, con objeto de proporcionar bases cuantitativas para la toma de decisiones y para descubrir nuevos problemas en el análisis cuantitativo.

\* Figura que proporciona Benet Humberto "Principios de Investigación de Operaciones", Herrero Hermanos Editores.

Arthur Clarke, escritor de ciencia ficción definió en alguna ocasión a la Investigación de Operaciones como "el arte de ganar guerras sin realmente pelearlas", y ciertamente este fue uno de los atributos de esta disciplina en la segunda guerra mundial.

Chuechmen, Ackoff y Arnoff, sugirieron la siguiente definición "La Investigación de Operaciones es la aplicación de métodos, técnicas y herramientas científicas a los problemas inherentes a las operaciones de un sistema de manera que proporcione a quienes controlan dicho sistema soluciones óptimas a los problemas".

Según la definición de Varela Enrique Jaime, nos dice que la Investigación de Operaciones, es un enfoque científico interdisciplinario para la solución de problemas que envuelve la interacción compleja, dinámica y subjetivas de hombres, máquinas, métodos y sistemas a los cuales en algunos casos no se les puede proporcionar una solución exacta por medio de los procedimientos matemáticos o por medio de técnicas de ensayo o error. Utilizando modelos matemáticos como un recurso primario y la metodología de la Investigación de Operaciones, es como podemos cuantificar y acortar estos problemas dentro de un marco de restricciones específicas, medidas, objetivos y variables, de tal forma que se busquen controles óptimos de operación, decisiones, niveles y soluciones.

#### I.6. Características esenciales de la Investigación de Operaciones.

Con base en los conceptos generales y en las definiciones de algunos autores sobre Investigación de Operaciones, las principales características inherentes a ésta disciplina son:

- Orientación de sistemas.
- Equipo interdisciplinario.
- El método de la Investigación de Operaciones.

#### 1.6.1. Orientación de sistemas.

Con base en el principio de los sistemas de interactuar como un todo, la orientación de sistemas de la Investigación de Operaciones va básicamente a delucidar sobre el efecto que produce el comportamiento de una parte de un sistema sobre las otras partes integrantes del todo. Cabe destacar que los efectos que puedan influir, no todos son susceptibles de detectarse fácilmente por lo tanto lo que se busca con este enfoque es la búsqueda sistemática de las principales interacciones al momento de evaluar las diferentes relaciones entre variables de cualquier subsistema de una organización.

Este enfoque a los problemas de una organización es diametralmente opuesto a lo que implica reducir la magnitud de un problema. Al contrario de esto, los investigadores de operaciones, casi siempre amplían el concepto inicial del problema que se les presenta, para poder incluir interacciones que no se han tenido en cuenta por parte de los directivos.

Un ejemplo típico sobre el efecto que una parte de la organización pueda tener sobre las otras componentes, se presentan cuando se tiene que decidir el problema de inventario que debe mantener una empresa para poder operar como sistema. Resulta que el stock de existencias y la requisición de inventarios, es diferente tanto en el departamento de producción, como en el de finanzas y en el de personal, cada uno necesitaría un stock de existencias diferente. Por lo tanto las decisiones que se tomen en uno de ellos repercutirá necesariamente en las necesidades particulares de los otros dos, y es ahí



donde el equipo investigador junto con el tomador de decisiones tienen que analizar el que sea más conveniente para los tres departamentos en pró de alcanzar los objetivos generales de toda la organización como un sistema completo.

Sin embargo, esto no implica que el estudio de cada problema deba dar consideración a todos los aspectos de la organización, más bien, los objetivos que se están buscando debenser coherentes con los de la entidad en conjunto.

#### I.6.2. Utilización del método interdisciplinario.

A principios de la utilización de la Investigación de Operaciones como tal, se presentó la escases de científicos como matemáticos, físicos, químicos, ingenieros y especialistas en estadística. Posteriormente los equipos de Investigación de Operaciones se vieron en la necesidad de reclutar personas no por medio de selección adecuada, sino por azar, lo que vino a originar un enfoque forzado a la Investigación de Operaciones y fué hasta entonces cuando se reconoció la verdadera importancia de los grupos interdisciplinarios en la práctica de esta herramienta científica.

Se descubrió que se podía tratar de resolver problemas químicos, físicos, biológicos, psicológicos, sociales y económicos, como si todos estuvieran clasificados naturalmente. Con esto se demuestra que las diversas técnicas ofrecen diferentes maneras de estudiar los problemas.

Cuando los investigadores se enfrentan a un nuevo problema tratan de abstraer la esencia del mismo y de tratar de determinar si el nuevo tipo de problema ya se resolvió con anterioridad.

Si encuentran un problema similar a alguno ya tratado, entonces tratan de adaptar ciertos métodos ya aplicados a otros problemas anteriores en referencia al problema que tienen presente y por resolver en la actualidad.

De esta manera, los distintos miembros, con los antecedentes científicos que tienen, pueden llevar al problema a aproximaciones con las que de otra manera no se podría contar. Así la Investigación de Operaciones aplica este sencillo principio; la gente de diferentes disciplinas pueden llegar a soluciones de naturaleza más específicas con mayor probabilidad de éxito, de la que verdaderamente se podría esperar del mismo número de personas dedicadas a una sola disciplina.

Los matemáticos al observar un problema de Investigación de Operaciones, formularían algún tipo de relaciones matemáticas tratándose de un problema de inventarios, relaciones entre el departamento de producción, el de embarque final. Estas relaciones se pueden llevar directa o indirectamente con factores de tiempo y de cantidad.

Los ingenieros químicos pueden observar el mismo problema y formularlo desde el punto de vista de la teoría del flujo, ya que disponen de métodos de resolución para utilizar este método. Los contadores de costos expresan este problema de inventarios en función de sus costos componentes (directo de material, directo de mano de obra y costo administrativo) y de la forma en que se podría controlar y reducir dichos costos. Cabe destacar que se podrían utilizar otras disciplinas en la resolución del mismo problema. Las circunstancias existentes y las necesidades pertinentes son las que en un determinado momento determinan cuál de los métodos alternativos procedentes de las diversas disciplinas es el más benéfico.

Una de las principales razones de la existencia de los grupos de Investigación de Operaciones es que, estos llevan el conocimiento científico más actualizado referente al análisis de los problemas. Aquí resalta la capacidad para desarrollar nuevos métodos, procedimientos y sistemas más eficaces en la resolución de problemas que aquellas que se tienen a la mano, lo cual es de mucha importancia. Esto tiene su justificación ya que ninguna persona en particular dispone del tiempo suficiente para absorber toda la información científica útil que se obtiene de todas las técnicas que utiliza la Investigación de Operaciones.

El método interdisciplinario tiene otra ventaja más, reconoce que la mayoría de los problemas de las empresas tienen aspectos contables, biológicos, económicos, de ingeniería, matemáticos, físicos, psicológicos y estadísticos. Lógicamente, las fases individuales de un problema se pueden comprender y resolver mejor si los analizan las personas capacitadas en las áreas apropiadas.

### I.6.3. El método de la Investigación de Operaciones.

La investigación al igual que la mayoría de las otras disciplinas, usa el método científico, el cual debe estar constantemente actualizándose a fin de reflejar la necesidad de la resolución de problemas en el medio de los negocios. Una versión actualizada de éste método, a la que se ha llamado método planeado, abarca la elaboración de modelos matemáticos; el uso de las técnicas normales de la Investigación de Operaciones, la adopción de controles apropiados y la explotación de aptitudes de las computadoras.

El método en cuestión, tiene como primera meta el desarrollo y la aplicación de modelos matemáticos y la resolución

de problemas específicos de los negocios. Su enfoque fundamental abarca los pasos expuestos en el aparte anterior que se denominó proceso de la Investigación de Operaciones y que básicamente comprende los siguientes pasos:

- Observación de los problemas o situaciones problema.
- Definición del problema real.
- Selección de la solución óptima.
- Verificación de la solución óptima mediante la implementación.
- Determinación de los controles apropiados.

Fundamentalmente, comprende el desarrollo de modelos en conjunto con las herramientas en uso de la Investigación de Operaciones y la computación.

#### I.7. La Investigación de Operaciones y la computadora.

Sabemos que la Investigación de Operaciones logró su mayor desarrollo desde el advenimiento de las computadoras a partir de la segunda revolución industrial que vivieron los Estados Unidos y que facilitaron enormemente su utilización debido a la cantidad de datos que había que manipular en problemas complejos e inciertos; esto sustenta el decir que la computadora es un factor principal en el desarrollo de la Investigación de Operaciones y su aplicación a través de sus diferentes técnicas que maneja.

Esto parte con base en que la mayoría de las técnicas que conforman la Investigación de Operaciones serían absoluta-

mente inspicables para cualquier problema real sino se cuenta con la ayuda de la computadora moderna para llegar a los cálculos y resultados reales finales.

La mayoría de las aplicaciones de las técnicas de Investigación de Operaciones a problemas a gran escala que requieren solo de unos minutos en una computadora, podría tomar semanas, meses y hasta años para dar los resultados manualmente; pero lo que es aún más significativo, las computadoras tienen fácil acceso a ciertas clases de información de la gerencia, sin la cual muchos proyectos de Investigación de Operaciones carecería de significado. Los profesionales de la Investigación de Operaciones se verían en problemas si se les pidiera enumerar aplicaciones que no dependieran en forma crítica y directa de la computadora para su implementación.

Está fuera de toda clase de discusión que la computadora es una herramienta indispensable y una parte integral de la Investigación de Operaciones y que la metodología de la computadora y la metodología de ésta disciplina se están desarrollando paralelamente.

En la actualidad, la mayoría del personal dedicado a la Investigación de Operaciones, tiene conocimientos sobre computadoras hasta el grado de poder escribir el programa de Investigación Operacional deseado. Parece probable que en la próxima década, desaparecerá la línea divisoria entre la metodología de la computadora y las dos áreas quedarán combinadas en una ciencia para la toma de decisiones más general y completa.

#### 1.8. Presente y futuro de la Investigación de Operaciones.

Al aplicar las técnicas de Investigación de Operaciones en las diferentes empresas, llega un momento en que se presenta

una cierta semejanza en la resolución de variados tipos de problemas mediante el uso de técnicas iguales o la combinación de ellas, como es el caso concreto de la utilización de la programación dinámica, la simulación, la programación lineal. Sin embargo una determinada empresa puede resolver los problemas mediante la utilización de un método concreto, mientras que otra puede necesitar de un enfoque completamente diferente para resolver su problema particular, aquí no importa que enfoque adopte el grupo investigador, ya que existe una dirección básica para la gerencia, para todos los niveles medios a fin de tomar mejores y óptimas decisiones.

El uso cada vez más grande de los métodos cuantitativos básicos en la Investigación de Operaciones está teniendo en la actualidad un efecto dramático sobre la gerencia de los niveles bajo e intermedio. Muchas de las actividades actuales de toma de decisiones de estos niveles gerenciales pueden ser programadas. Las computadoras pueden realizar las operaciones necesarias y posteriormente alimentar a estos niveles con las respuestas y los cursos de acción óptimas.

Una vez que se programan los problemas, la gerencia ya no tiene necesidad de dedicarles mucho tiempo ni consideración para llegar a decisiones sobre los problemas de la firma. Ahora en vez de dedicarse a resolver y tomar decisiones de rutina de un determinado departamento, pueden realizarlas por medio de un sistema computarizado de información a la gerencia. Como resultado de todo esto, la gerencia, de los niveles bajos e intermedios pueden dedicar su tiempo en planear las labores de sus áreas respectivas, adiestrar personal y tal vez por primera ocasión tener los trabajos respectivos bajo control.

El efecto de los métodos cuantitativos sobre la alta gerencia ha sido igualmente dramático. Mientras que las fun-

ciones primarias de los niveles bajo e intermedios de gerencia son la organización, la dirección y el control de las actividades operacionales de la entidad, la preocupación principal de los que ocupan el nivel más alto es la planeación de los objetivos, políticas y procedimientos que proporcionan un marco para guiar a la empresa en un medio totalmente cambiante. La retroalimentación que proporciona la computadora a partir del sistema de información a la gerencia es muy importante porque utiliza la supervisión por excepción. Esto permite a la gerencia revisar y evaluar todas las desviaciones significativas, ya sean favorables o desfavorables respecto al plan de objetivos planeados. Esta información es el medio para formular las planes futuros de la empresa, de ahí su considerable importancia.

El uso de los modelos por computadora, libera así a la gerencia del trabajo de rutina para dejarla concentrar en las labores de dirección general. Sin embargo existe un número creciente de problemas que son demasiado complejos para los métodos cuantitativos actuales ó que cuya solución tome demasiado tiempo. Es por todo esto que se destaca la presencia de la computadora como herramienta útil a la gerencia en su afán de dedicarse a la resolución de los problemas más difíciles

La dinámica del mundo de los negocios en la actualidad y más aún la del futuro, está forzando a las empresas a concentrarse en el proceso de la planeación, en particular la planeación del cambio y la planeación que requiere tal cambio. La dinámica de los productos y más concretamente la vida de éstos, de los mercados, de los procesos industriales, del gobierno y de la sociedad, ocasionarán que las empresas planeen cuidadosamente sus actividades a corto, mediano y a largo plazo. Además la creación de computadoras cada vez más sofisticadas, con su capacidad para crear y manejar enormes cantidades

de datos, la tendencia continua hacia el crecimiento por fusión y adquisición de nuevas empresas y los crecientes problemas que plantean los sindicatos, ponen la imperiosa necesidad de emprender una planeación efectiva.

Será solo mediante el uso de planes óptimos que puedan considerarse todos los factores cambiantes relevantes de los que la empresa pueda lograr mayores beneficios que sus competidores.

La función de planeación es entonces y continuará siendo un candidato lógico para el estudio cuantitativo, en vista de que la Investigación de Operaciones utiliza realmente un enfoque planeado en la resolución de problemas. Existen varios métodos disponibles para una planeación efectiva.

Los cambios de estructura de las organizaciones afectarán a los gerentes del mañana. Esto será muy notable en particular en el área de la gerencia intermedia. Cada vez se vuelve más importante para las firmas hacer sus innovaciones teniendo como foco el mercado. Esto significa que el departamento de mercadotecnia tiene preferencia sobre todas las demás áreas de la empresa. Dicho en otras palabras las empresas deben llevar sus productos concretos y en el tiempo correcto para satisfacer un segmento particular del mercado. Por ejemplo, los embarques directos pueden eliminar la presencia de un gerente a nivel intermedio, ya que tales transacciones pueden manejarse por una computadora.

La dinámica de los negocios va a ocasionar grandes cambios en el nivel alto de la gerencia. Se emplearán muchos especialistas de staff para asesorar a los altos mandos sobre los aspectos más especiales de sus trabajos. La mayoría de estos especialistas tendrán acceso directo a la computadora a través



de terminales de insumo-producto-resultado, que les permitirán utilizar algún modelo matemático para resolver un determinado problema.

El presidente de una firma podrá tener un staff de planeación, un especialista en Investigación de Operaciones, un economista, un especialista en investigación de mercados y un consejero científico.

En forma semejante, los ejecutivos de mercado, manufactura, finanzas, ingeniería, investigación y desarrollo y de personal, serán auxiliados por especialistas de staff y se utilizará el conocimiento procedente de muchas disciplinas para resolver problemas complejos de negocios. De ninguna manera estarán limitando los modelos matemáticos por computadora al grupo de Investigación de Operaciones en el futuro. Muchas disciplinas habrán adoptado el método planeado para resolver problemas bien estructurados o deficientemente estructurados, así como problemas de conducta.

Los métodos de Investigación de Operaciones que se desarrollen en el futuro se originarán por la necesidad de resolver problemas particulares. Entre estos estará la elaboración de modelos matemáticos para la empresa completa. Este modelo demostrará las interrelaciones de todas sus partes en una forma más clara que como se han entendido alguna vez. Podrá, por ejemplo, permitir a la gerencia hacer juicios mucho más exactos sobre el valor potencial de una posible adquisición y su efecto resultante sobre la empresa a largo plazo.

Este modelo puede también permitir a la gerencia apreciar con anticipación el probable impacto que tendrán sobre la empresa diversas condiciones externas, como desarrollo de nuevas tecnologías y tomar acciones con base en dicho efecto. Unas

computadoras más nuevas, de conexión en la línea y de tiempo real, con capacidad para almacenamiento masivo, deberán ser capaces de manejar tales modelos matemáticos para la mayoría de las empresas. Es de esperarse que las computadoras del futuro tendrán los implementos para simular un modelo de relación entre proveedor-fabricante-distribuidor-vendedor al menudeo por simple rutina. En consecuencia los modelos a gran escala de Investigación de Operaciones no estarán restringidos a una empresa en cuestión, sino que serán útiles para muchas áreas de actividad de los negocios.

Concluyendo tenemos que, el creciente uso de los métodos cuantitativos, respaldado por el empleo de las computadoras, se considera ahora como un punto de giro de gran importancia en la manera tradicional de concebir las funciones gerenciales. Esta revolución ha dado a la gerencia de todos los niveles, información mejorada para la toma de decisiones, la estructura misma de la empresa se ha cambiado para permitir la utilización óptima de estas técnicas computadas.

Las respuestas, resultados de los métodos, modelos y técnicas de Investigación Operacional han ayudado a liberar a la gerencia haciendo que usen sus energías en el logro de las decisiones claves y trazar planes para el crecimiento del negocio. Ha hecho el control centralizado más eficaz de las corporaciones grandes y complejas.

La información resultante de los métodos cuantitativos ha ayudado y continuará haciéndolo, a la gerencia, a lograr el sentido lógico y correcto de toda la cantidad de cambios que tienen lugar en el mundo real actual y futuro. La administración es ahora, y continuará siendo la mejor labor para clasificar los innumerables cursos de acción, probando sus potenciales relativos de utilidad y reduciendo los riesgos

resultantes.

#### I.9. Breve historia del desarrollo de la Investigación de Operaciones en México.

La planificación tanto del sector público como privado han constituido un proceso que combina, a diferentes tiempos tanto tareas de investigación como de estudios sobre la toma de decisiones trascendentales que deben traducirse en cálculos y especificaciones cualitativas, asimismo, de lograr situaciones destinadas a analizar el cumplimiento de los planes, programas y políticas que previamente se determinan.

En el transcurso de los años los directivos de las entidades públicas y privadas, han debido tomar una infinidad de decisiones algunas de ellas dependientes de condiciones de riesgo, de incertidumbre, de especulación, juicio y experiencia donde invariablemente ha existido el inherente riesgo en la toma de una decisión, la cual no fuere tan buena como una que se tomara posteriormente, la cual estaría basada en investigaciones muchos más profundas.

En México nos encontramos actualmente viviendo un desarrollo que demanda soluciones complejas y por ende decisiones con mayor riesgo. México se ha enfrentado a grandes problemas debido al marcado incremento en su población, trayendo como consecuencia un recíproco aumento en la cantidad de transportes disponibles, en la generación de empleos y servicios y en muchos otros aspectos que han exigido la existencia de los recursos humanos y el desarrollo de nuevas tecnologías adecuadas para poder afrontarlos, buscando con todo esto soluciones eficaces dentro del afrento a estos problemas.

Por otro lado si la Investigación de Operaciones es la

aplicación del método científico para estudiar las operaciones existentes frente a una situación que presente problemas en busca de obtener mejores posibles soluciones u opiniones óptimas, en función de los objetivos perseguidos, podemos ver que el desarrollo de México se presentaba como un vasto campo ideal para introducir las técnicas propias de la Investigación de Operaciones.

Asimismo, se sabe que no todas las técnicas de Investigación de Operaciones se aplicaban en México de una manera conjunta y espontánea, sino que fueron siendo introducidas paulatinamente según las necesidades de aplicación y necesidades propias del país.

Fué la Ingeniería Química la primera especialidad que obtuvo beneficios en la aplicación de técnicas específicas de la Investigación de Operaciones, principalmente en procesos estocásticos y teoría de confiabilidad.

Posteriormente, la Ingeniería Civil aplicó modelos con base en Ruta Crítica y Teoría de Redes.

Una de las técnicas que mayor desenvolvimiento tuvo, fué la programación matemática, teoría ésta de amplia aplicabilidad a problemas de asignación de recursos.

Por otro lado la imperiosa demanda de especialistas en Investigación de Operaciones en las diferentes dependencias gubernamentales y privadas, crea la necesidad de formar especialistas en esta rama; sin embargo hasta hace unos 28 años era prácticamente imposible encontrar materias de esa especialidad en los programas de licenciatura.

El Tecnológico de Monterrey contaba, dentro de su curricu-

lum de carreras de Ingeniería Química, Administración y Mecánico Administrador con materias de Investigación de Operaciones desde 1963.

En la UNAM no fue sino hasta 1967 cuando se creó la especialidad en Ingeniería Industrial, cuando se empezaron a impartir materias correspondientes a esta disciplina.

Actualmente las carreras de Ingeniería Industrial, Actuaría, Administración de Empresas, Contaduría Pública, cuentan en sus planes de estudio con materias de esa especialidad; sin embargo existen otras carreras como la Ingeniería de Sistemas que cuentan con materias afines.

Los estudios de posgrado tienen como objetivo afianzar los conocimientos básicos del área que son superficialmente tratados en las diferentes licenciaturas, y ponen al interesado en contacto con otras realidades y con los nuevos avances metodológicos.

Así fue creada la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en 1957, con el objeto de ofrecer educación superior a los de licenciatura, para que en 1966 se creará la sección de Investigación de Operaciones en el Instituto de Ingeniería. Aquí se empezaron a impartir materias específicas de esta rama, más tarde y debido a la gran demanda de esta especialización se creó la Maestría y Doctorado en Investigación de Operaciones de la UNAM en 1968.

A partir de entonces, tanto con egresados de las instituciones que ofrecían ya estudios de posgrado en esta especialidad y con las personas que lo obtuvieron en el extranjero, se empiezan a crear despachos de consultoría y de aplicación

de las técnicas en todos los sectores.

#### I.10. Algunas aplicaciones específicas en México.

- Distribución de trigo en México (CONASUPO). El problema consiste en transportar el trigo procedente de regiones productoras del país.

Los objetivos perseguidos son: a) satisfacer las demandas mensuales estipuladas en los contratos que tiene CONASUPO con todos los molinos del país; b) Abatir los costos de transporte, para lo cual se usó un modelo de programación lineal con el cual se obtuvo un ahorro de 84 millones de pesos en 1974.

- Reducción de la contaminación  $SO_2$  en el Valle de México (PEMEX).

El bióxido de azufre es uno de los contaminantes más peligrosos para la salud de los habitantes cierto tipo de combustibles usados en la industria producen fuertes cantidades de esta substancia nociva.

Por medio de un modelo de dispersión y simulación se ha podido evaluar diversas estrategias tendientes a disminuir su concentración en el Valle de México. Para esto la decisión tomada en apoyo del modelo fué la de cambiar el tipo de combustible que usaba una refinería, reduciéndose apreciablemente la concentración de  $SO_2$ .

El Banco de México empleó el modelo de transporte de programación lineal para resolver el problema en el que se empleaban varios tipos de vehículos para movilizar la moneda en todo el país.

El objetivo era encontrar la composición de vehículos que dieran una flotilla óptima; el número de vehículos de cada tipo requerido para resolver la demanda al costo mínimo.

Otros problemas que ha resuelto el Banco de México por medio de la Investigación de Operaciones están:

- Distribución de billetes.
- Modelos para asignación de personal.
- Modelos para compra y venta de metales.
- Otros.

La Dirección General de Ingeniería de Sistemas ha prestado valiosa colaboración en las diferentes direcciones de la SAHOP en donde se han resuelto problemas como:

- Tráfico aéreo.
- Análisis regional.
- Evaluación de alternativas de transporte.
- Simulación de polos de desarrollo.
- Evaluación de alternativas de vivienda
- Asignación de recursos.
- Otros.

- En el Banco Nacional de México, se hizo un estudio empleando teoría de colas para determinar el número óptimo de cajeros necesarios, en donde se utilizó simulación como muestra, determinándose si era mejor una cola y varios servidores o un servidor por cada línea de espera. El estudio lo realizó el departamento de Métodos y Sistemas.

- La Comisión Nacional de Subsistemas Populares (CONASUPO) en el proyecto de elaboración de aceite comestible, empleó técnicas de simulación para determinar el costo mínimo en

un proceso de asignación, que consistía en definir:

- El tipo de semillas que irían a los molinos.
- A qué planta de refinación se iban a enviar.
- Cómo se iban a distribuir tanto a centros de distribución como a tiendas de venta al público.

- El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tuvo a su cargo el proyecto de unificación de frecuencias de energía eléctrica en el DIF, en el que se utilizaron técnicas de valuación de proyectos en función de los costos.

- En la actualidad múltiples empresas, ya sea del sector público como privado, utilizan las diferentes técnicas de la Investigación de Operaciones, ya sea en planeación, en asignación, control y toma de decisiones tendientes a alcanzar sus objetivos particulares.

#### I.11. Aplicaciones generales de la Investigación de Operaciones.

##### I.11.1. Problemas de colas:

Dentro de esta técnica, se presenta una relación básica para su aplicación, la cual comprende una interacción directa entre quien presta el servicio y quien lo recibe. Dentro de esta relación dual se presenta la característica de que cuanto mayor sea la eficiencia con la que se presta la operación del servicio, ó sea, medido en términos de cantidad del tiempo de servicio durante el cual la operación es productiva, tanto menor será la eficiencia de la actividad del que es servido.

La estructura básica de la aplicación de teoría de colas



comprende tres aspectos importantes que son: entrada-servicio-salida. Para activar esta situación tenemos el conocido ejemplo de la peluquería, o sea: todo cliente que entra a la peluquería espera en una fila común hasta ser atendido por algún peluquero que quede disponible.

En un problema de colas, se presenta además de los tres aspectos básicos de su entrada, los conflictos entre quien presta el servicio y quien lo recibe, por cuanto el cliente siempre requiere de servicios rápidos y eficientes, por el contrario el servidor se enfrenta a su capacidad y los medios con que cuenta para satisfacer a quien solicita ser atendido. Por otro lado se presenta el conflicto para quien llega a una estación de servicio, en el sentido de saber seleccionar cual de las colas le conviene, cuando hay varias como en un banco o en un super y en la cual obtenga el mejor beneficio y el menor tiempo de espera en la cola.

Por su parte la administración debe preocuparse de cómo aplicar eficientemente esta técnica a fin de poder decidir sobre el número de puestos de prestación de servicio, si es único, si es por canales, si es en cadena, etc., todo esto encaminado a la obtención de clientes más satisfechos y a la respectiva prestación en forma eficiente de los servicios.

Entre las principales variables que debemos tener en cuenta para poder plantear un problema de este tipo están:

- Cuántas estaciones de servicio existen.
- Cuál es la distribución del tiempo de servicio en cada una de ellas.
- ¿Es esta distribución estacionaria a través del tiempo.

de no ser así que es lo que la vuelve móvil?, implica retroalimentación?, de no ser una distribución normal implica que hay que simular?

- Determinar la distribución del tiempo entre llegadas sucesivas, tanto para quien presta el servicio, como para el cliente.

- Si sólo existe un objetivo es conveniente aplicar el mecanismo?

-

- Hacer una lista de las variables controlables y no controlables.

- Qué tan sensible es el desempeño del sistema a los cambios de las variables controlables y con los pronósticos de las no controlables.

#### I.11.1. Problemas de Inventarios:

Este problema por lo general surge cuando se tiene que decidir sobre las cantidades que se deben mantener en existencias dentro de un almacén. Este problema se presenta como consecuencia de las fluctuaciones en los suministros y las fluctuaciones en la demanda.

Dentro de esta relación se puede presentar conflictos tales como que el demandante pierda cierto tiempo como consecuencia de la espera en recibir un pedido. Es por esto que se utilizan ciertos tipos de inventario para evitar este tipo de situaciones y de ahí que se puede afirmar que un sistema de inventarios puede ser tan productivo como cualquier otra máquina en la línea de producción.

El inventario como cualquier otra máquina puede tener sobrecapacidad, en cuyo caso tendrá bienes inactivos, en perjuicio de una empresa por cuestiones de costos. Al contrario de esta situación puede existir inventarios demasiado bajos, ocasionando una serie de irregularidades tanto en el suministro en la demanda como en la producción, la cual quedará sujeta a demoras y a tiempos inoperantes.

La teoría de inventarios para combatir este tipo de problemas consiste en la manera como se pueda combinar el costo del manejo de las existencias y el costo de no poder cumplir con las demandas; es decir el costo de mantenimiento de inventarios y el costo por incumplimiento en las entregas; dentro de estas variables también deben ser determinadas el lote óptimo de inventarios, el número de pedidos, etc.

Las variables que más destacan en la consideración de los problemas de inventarios están entre otros:

- Pronósticos de demanda y su refinamiento posible.
- Pronósticos del tiempo de reaprovisionamiento y considerar si está correlacionado con la demanda.
- Determinar la probabilidad de falta de existencias durante el tiempo promedio del nivel.
- Determinar el costo, ya sea por artículo, por día, o por artículo-día.
- Determinar el costo de mantenimiento de las existencias.
- Determinar si un cambio en el costo unitario representa un cambio significativo en el costo total.

- ¿Cómo se determina el costo de un nuevo pedido? ¿Es un costo marginal, costo promedio o costo de oportunidad?

Determinar:

- Los costos de mantenimiento de existencias.
- Los costos de nuevos pedidos o de colocación.
- Los costos por falta de existencias o déficit.

### I.11.3. Problemas de distribución.

Esta clase de problemas se presentan cuando existe un conjunto de recursos que se puede contraponer a distintas demandas que puede presentarse con respecto a ellos.

Esto es que, los encargados de la dirección, deben determinar correctamente la asignación de los recursos disponibles para la elaboración de determinados bienes a fin de satisfacer determinados pedidos. Esto es que se deben repartir los recursos con respecto a las tareas en particular, de tal forma que se alcance el logro del objetivo total, se lleve a un máximo o a un mínimo según sea el caso.

En sentido general, los problemas de distribución se resuelven en forma determinística, o sea que supone toda las variables conocidas y con frecuencia se da el caso de que la relación entre el grado de logro del objetivo y la dimensión de los recursos empleados es de naturaleza lineal, por consiguiente este tipo de problemas se resuelve aplicando programación lineal.

Un Ejemplo típico de esta clase de situaciones ocurre en la industria minera, en donde se presenta el problema de asignación óptima de un grupo de equipos a un conjunto de

vetas de mineral. Esto es que, cada equipo se debe asignar únicamente a una veta y cada veta puede ser trabajada únicamente por un equipo. Cada combinación equipo-veta demanda necesidades de mano de obra calificada y producirá una cantidad total de mineral para cada volúmen de distribución determinada. Por medio de la programación lineal se puede determinar la asignación óptima de cargadores en las vetas, las estimaciones de mano de obra y de rendimiento de mineral producido.

Las principales variables a tener en cuenta en la solución de este tipo de problemas son:

- Determinar cuáles son los recursos, cómo pueden medirse y que limitaciones presentan.
- Determinar el conjunto de tareas a realizar y cuáles son los grupos de objetivos.
- Determinar si pueden conjugarse los objetivos de una mérida común.
- Determinar cuáles son las limitaciones con respecto a los objetivos, tareas y recursos.
- Determinar si los anteriores aspectos implican funciones continuas y lineales independientes del tiempo.

#### I.11.4. Programación y direccionamiento de rutas:

Esta técnica se aplica cuando existe la necesidad de determinar la forma en que se llevará a cabo y el control de una operación, proceso o tarea total acordada.

Una técnica más específica de aplicación y control de problemas de programación es la que se conoce como análisis de ruta crítica, la cual mediante la utilización de una red, permite que el proceso de control esté continuamente concentrado en aquellos momentos y aspectos de la tarea total que se consideran más críticos para la determinación del camino más eficiente para lograr el objetivo total.

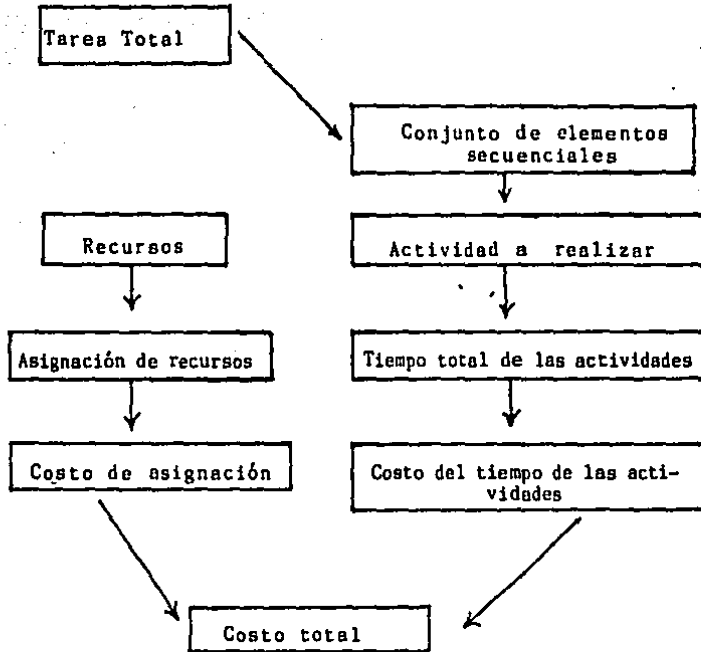
En estas aplicaciones se tiene que determinar el conjunto de posibles eventos que conformarán el proceso completo de una operación total; estos eventos se tienen que secuenciar por orden de realización prioritaria. Posteriormente se asignan los posibles tiempos de realización de cada actividad, con los cuales se lleva a cabo el direccionamiento de la respectiva red y en la cual se debe determinar el camino que gaste menos tiempo y por consiguiente menor costo, con sus respectivos tiempos de holgura entre actividades.

Concluyendo tenemos que, todo un conjunto de operaciones se pueden programar mediante el camino crítico para alcanzar su realización en el menor tiempo posible, originando el menor costo en beneficio de los objetivos globales.

A continuación presentamos un pequeño esquema de la estructura de programación (ver gráfica No. 2).

Las principales variables de la programación y ruta crítica son:

- Determinar en forma secuencial cada una de las actividades que conforman la tarea total.
- Verificar la base con la cual se realiza la labor de secuencia.



Gráfica No. 2. Estructura de programación.

- Medir el costo de posibles distintos ordenamientos de las actividades a fin de conseguir el más económico para los intereses de la entidad.

Fijar cuáles son las limitantes o restricciones de los recursos disponibles y los que se obtengan.

- Determinar cuál es el verdadero objetivo que se persigue.

- Fijar la base para medir el sistema con que se pretende alcanzar el objetivo y determinar si se usa el mismo que se

utiliza para medir las restricciones y actividades.

- Medir las posibles holguras y medios para evitarlas, a fin de alcanzar un menor tiempo.

#### I.11.5. Reemplazo y mantenimiento.

Por medio de la aplicación de esta técnica podemos determinar que unidades de un sistema en particular están sujetas a deterioro en su desempeño y a posibles fallas que se puedan presentar en la prestación de un servicio. Es necesario aclarar que las dos variables anteriores están medidas en función del tiempo y es en donde juega un papel muy importante la cuestión del mantenimiento que se preste a cada una de las partes integrantes del sistema operativo ya que de estos depende el buen funcionamiento y la presencia de posibles fallas. Cuando se presentan estas fallas el reemplazo de elementos puede ser cíclico o puede ser en forma particular.

El objetivo primordial consiste en que mediante la aplicación de este método, se alcanza un mejor funcionamiento del sistema operativo interno.

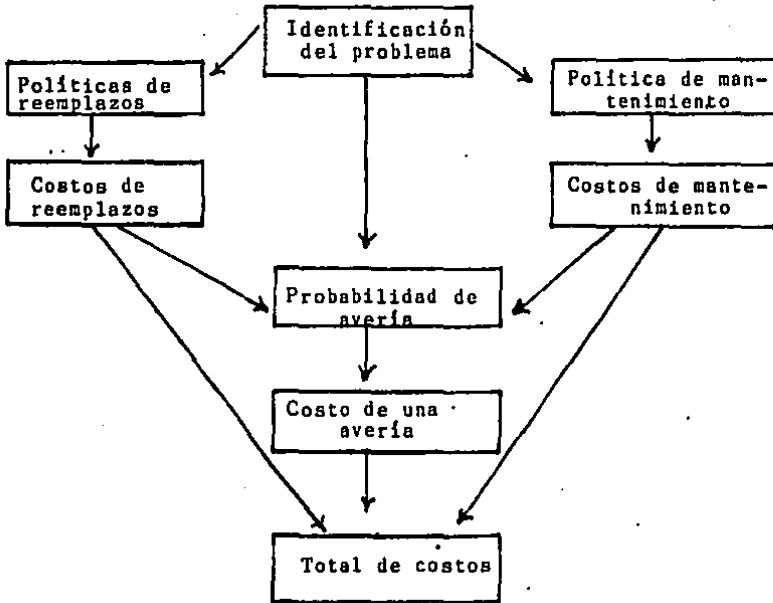
La siguiente gráfica nos ilustra el procedimiento para la aplicación de este proceso, (ver gráfica No. 3).

Principales variables a tener en cuenta en la determinación de un problema de reemplazo y mantenimiento.

¿Cuál es el costo de una falla?

- Determinar si el costo de una avería es único o depende también de la falla de la avería.





Gráfica No. 3. Procedimiento para la aplicación de la técnica de reemplazo y mantenimiento.

- ¿Cuál es el costo de mantenimiento?
- ¿Cuál es la probabilidad de falla? ¿Le afectó a ésta el mantenimiento?
- ¿La probabilidad de falla es estacionaria?

#### I.11.6. Problema de búsqueda:

En los problemas de búsqueda se utilizan los recursos con el propósito de localizar una meta faltante. Esto ocurre

por lo general en los esfuerzos dedicados a la investigación y desarrollo.

Por otro lado se utiliza también en la búsqueda y verificación de errores, el procedimiento se origina a partir de trabajos originales utilizados en la caza de submarinos, los cuales han prestado su nombre a esta área del problema.

Dentro de este tipo de problemas, es necesario tener muy en cuenta que existen dos tipos de problemas. En primer lugar, están aquellos en los que el medio ambiente en general y el objeto buscado en particular puede reaccionar ante la estrategia de quien hace la búsqueda. Cuando se trata de este tipo es un problema del tipo de retroalimentación.

Por otro lado y en la mayoría de los problemas de búsqueda se suponen estáticos tanto el medio ambiente donde se ejecuta la acción, así como la respuesta que se obtiene del objetivo meta. Esto quiere decir que, estos dos aspectos no están relacionados y por consiguiente no se está frente a una situación de no retroalimentación.

Entre las principales variables a utilizar en la aplicación de esta técnica están las siguientes:

- Determinar previamente las características o las condiciones de quienes van a llevar a cabo la búsqueda.

- Determinación de tácticas a seguir para efectuar la búsqueda.

- Detectar en forma detallada las características particulares del objeto buscado, fuere cual fuere su clase.

- Tratar de establecer la probabilidad del éxito en la operación.

- Determinar los posibles costos de búsqueda.

- Determinar los costos que conlleva el objeto buscado.

#### I.11.7. Problemas de competencia.

Esta clase de problemas presenta una característica particular que lo hace diferente de los otros tipos de problemas expuestos anteriormente. Mientras que los problemas anteriores sólo presentan dos tipos de variables, controlables y no controlables, ya sea que reaccionen en forma dependiente o independiente unas de otras, en la presente clase de problemas aparece un tercer tipo de variable y es aquella que es controlada por un oponente; a diferencia de los tipos anteriores que el control lo ejerce quien toma decisiones o simplemente el medio ambiente.

Los problemas de competencia se dividen en dos clases a saber:

Existen aquellos en los que el comportamiento y las respuestas de los oponentes a la selección de las variables es tan sutil que dicho oponente es considerado como parte de la naturaleza.

Por otro lado existen aquellas situaciones en donde la respuesta de un competidor es sumamente rápida, y en casos especiales puede llegar a ser simultánea, haciendo que su respuesta esté condicionada de tal forma a su respectivo oponente.

Por respuesta rápida se entiende una reacción que está

dentro del horizonte de planeación sobre el cual se estiman las consecuencias de las decisiones que se tomen.

Como regla general se puede suponer que el objetivo del rival es tal, que en parte se contraponen al del interesado.

Un ejemplo típico de esta situación y tal vez la más marcada es la de mercadeo en donde las empresas encuentran competencia para su ingreso o participación en cuanto a productos, precios, capacidad de venta de sus oponentes, etc.

Un ejemplo claro es el de ventas de cerveza en donde se tienen que considerar y analizar las siguientes características o variables consideradas como las más importantes.

- Ventas totales de cerveza en el mercado.
- Ventas de todas las bebidas alcohólicas.
- Ventas de todas las bebidas en general.
- Ventas de todos los alimentos.

Entonces aquí se trata de determinar la capacidad de venta de los oponentes y la capacidad de compra de los consumidores. Al hacer esto en el mercado se puede tener conciencia de la totalidad de la presión de competencia bajo la cual se esté operando.

En otros casos y es lo que se presenta casi en sentido general, es el hecho de que, las empresas optan por cooperarse antes que competir, es decir colaboran unos con otros, como es el caso de estudios de investigación y desarrollo en donde tanto proyectos como información se comparten mutuamente, o como en el caso de fijación de precios en el mercado.

Entre las principales variables que se utilizan están:

- ¿Cuáles son los objetivos propios y cómo coinciden o están en conflicto con sus oponentes?
- Determinar cuáles son los parámetros de medida de oposición.
- Determinar cuál es el horizonte de tiempo.
- Durante que período será consecuente la decisión tomada.
- Determinar si la decisión tomada es reversible.
- Determinar si la respuesta del oponente es rápida.
- Determinar qué tan estable es la situación.

#### RESUMEN

En el presente capítulo se trata de dar a conocer los aspectos más importantes de la implantación y la utilización de la Investigación de Operaciones tanto en el sector gobierno como en el sector privado. En primer término se presenta, aunque de una manera muy resumida los principales hechos que conllevan a que hoy en día se reconozca a esta disciplina como tal. Aparecen los acontecimientos y las aplicaciones más importantes desde el punto de vista militar e industrial. Las primeras aplicaciones en el campo bélico de la Gran Bretaña básicas para obtener innumerables victorias al igual que en los Estados Unidos, pasando por aplicaciones en el sector industrial ante la necesidad de generar una mayor productividad consecuencia de la Segunda Guerra Mundial, pasando también por el énfasis que se le dió con el advenimiento de la computadora, hasta las últimas aplicaciones en todos los campos, científicos, sociales y educativos, como resultado del crecimiento, magnitud y complejidad de todas las organizaciones empeñadas en alcanzar sus metas y objetivos particulares, así como de lograr un mejor acomodo de los recursos escasos a que se enfrentan en la actualidad las entidades económicas.

Posteriormente se presentan los principales aspectos que debe abarcar la Investigación de Operaciones con el objeto de poder entender mejor la naturaleza de la misma, y en donde se destacan: la elaboración de modelos matemáticos, el examen y análisis de las relaciones que se presentan entre las variables secuenciales integrantes del problema y en donde se destaca la comparación de los resultados obtenidos con los objetivos previamente establecidos.

Asimismo se destaca la importancia de utilizar una técnica específica que maximice o minimice los resultados en beneficio de quien toma decisiones de alto nivel.

Cabe destacar que su utilización es tanto para problemas tácticos y estratégicos en apoyo a la administración dependiendo de la técnica a emplear y el problema a enfrentar.

En la actualidad tanto las estructuras organizacionales como la toma de decisiones se ven afectadas por los continuos cambios, complejos e inciertos a que están expuestos en el logro de los objetivos, es por esto, que se recurre a la Investigación de Operaciones, por cuanto facilita innumerables cursos de acción y soportes matemáticos que justifican su utilización.

La Investigación de Operaciones como cualquier otro proceso disciplinario, contiene un proceso científico propio, encaminado a desarrollar problemas que tienen que ver con la conducción y coordinación de los recursos, operaciones y toma de cursos de acción. Básicamente dicho proceso contiene partes tales como la formulación y definición del problema, construcción de un modelo, solución del modelo, validación del modelo, implementación del modelo, etc., y en donde se detallan cada uno de estos.

Más adelante se presentan algunos conceptos generales y algunas definiciones de autores conocidos en este importante campo de las ciencias exactas y en donde se destacan conceptos como la utilización del método científico, el uso de grupos interdisciplinarios y el uso para resolver problemas de sistemas o situaciones conflicto, todos abocados a alcanzar objetivos por medio de una correcta toma de decisiones.

En épocas actuales y futuras, todas las ramas que conforman parte integrante de una sociedad como la nuestra y más concretamente la administrativo-financiera deben reconocer y ante todo llevar a cabo el empleo de la computadora como herramienta vital para el desarrollo del conjunto de técnicas que forman parte de la Investigación de Operaciones. Esto en relación a que mediante la computadora podemos realizar el cálculo de grandes series de datos a gran velocidad y a menor costo con gran exactitud.

El uso de la Investigación de Operaciones ha dejado de ser privilegio exclusivo de los grandes países conocidos como desarrollados, y es como México ha implantado dentro del funcionamiento de sus organizaciones gubernamentales y civiles estas técnicas como apoyo no sólo a su desempeño normal de sus labores, sino tendientes a alcanzar mayores resultados de productividad para tratar de solucionar la situación actual o por lo menos tratar de mantenerla. Es así como vemos que las más importantes instituciones comerciales e industriales ya las están empleando.

También se presenta una breve historia del desarrollo de esta disciplina cuantitativa en México.

Por último se presentan algunas aplicaciones potenciales de la Investigación de Operaciones en forma sintetizada y

donde resaltan las técnicas y variables de cada una en especial

Este capítulo se hizo, principalmente con el objeto de dar a conocer y dar una introducción de conocimiento para el resto del presente trabajo.



## CAPITULO II MODELOS

En la actualidad la gran mayoría de las entidades ya sean del sector público como del sector privado se ven afectadas por toda una serie de situaciones que de una u otra forma distorsionan constantemente su estabilidad de funcionamiento, su estabilidad operativa, así como la consecución de los objetivos previamente establecidos. Es por esto que ha incrementado enormemente la utilización de modelos como uno de los medios para tratar de resolver dichas situaciones lo más preciso posible en busca de alcanzar mejores resultados.

La construcción y utilización de los modelos viene desde mucho tiempo atrás y talves los procedimientos y las bases para su elaboración no han cambiado significativamente, pero lo que si debemos tener muy en cuenta es el hecho de que los resultados y las condiciones que conforman las variables de los modelos son continúa y permanentemente cambiantes, los logros y respuestas que se obtienen de la aplicación de estas técnicas son cada vez más novedosas.

Aquí vale la pena recordar la historia de aquel alumno, que volvió a visitar a su universidad, quien al llegar encontró con sorpresa a un antiguo maestro suyo, el cual le entregó un ejemplar correspondiente a los exámenes finales, le admiró mucho ver que las preguntas que aparecían en el temario eran las mismas que se les hacía a los estudiantes en la época en que él también lo era. Al hacerle notar a su maestro, éste le contestó sonriente: "Si, es verdad, pero las respuestas han cambiado" siempre son diferentes.

Es muy importante tener en cuenta que la construcción de modelos depende básicamente, del tipo de empresa, de sus

necesidades y objetivos particulares, de ahí que es común encontrar un sin número de enfoques que proporcionan aspectos y características básicas para la clasificación de los modelos. A continuación se presenta una clasificación en donde aparecen aquellos tipos de modelos que más se utilizan en la actualidad, como soporte de la toma de determinados cursos de acción operativa, así como también de una acertada toma de decisiones en pró de alcanzar los objetivos empresariales. Ver cuadro sinóptico.

## II.1 Que se entiende por modelos

Un modelo se define como la representación o abstracción de un hecho real que toma exclusivamente los elementos más importantes del desarrollo del sistema, dicha representación debe ser susceptible de predicción, de manipulación y de control. Cabe destacar que el modelo que se pretenda construir dependa de la situación que se desee representar, así como del propósito que se desee alcanzar, de ahí que se presentan varios tipos de modelos:

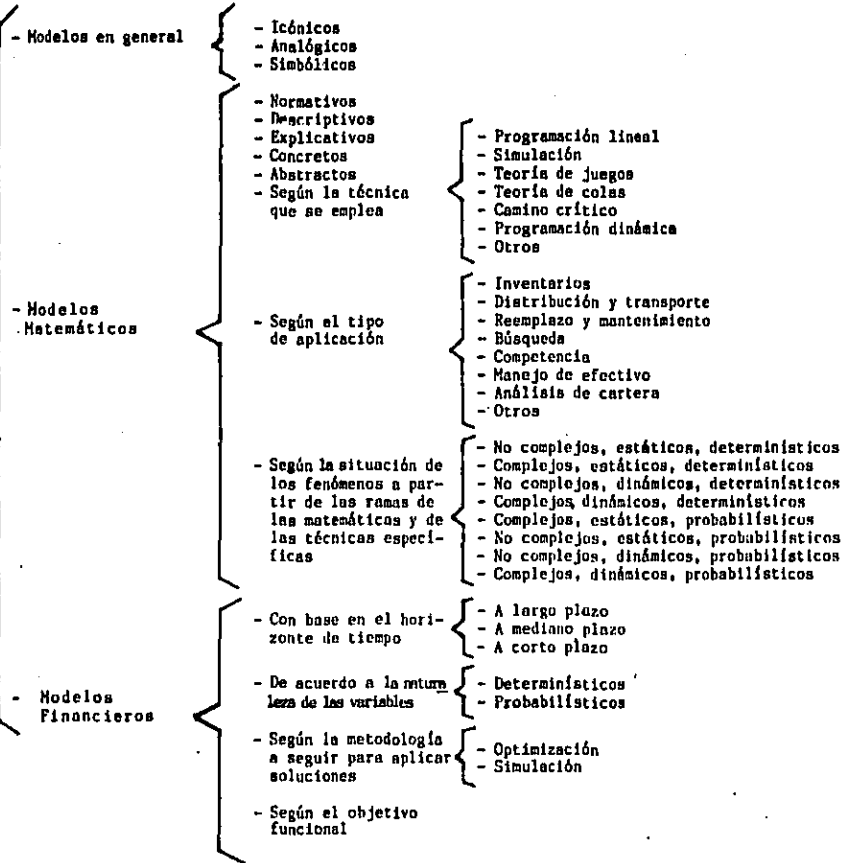
## II.2 Clasificación de los modelos

Por lo general se habla de tres tipos básicos de modelos para resolver fenómenos de la vida real:

- Icónicos
- Analógicos
- Simbólicos

Esta clasificación está dada con base en el tipo de situaciones que se vayan a representar. Inicialmente ante la ausencia de métodos y procedimientos para poder llevar a cabo la manipulación de los elementos claves a modelar, se hacían

CLASIFICACION  
DE LOS  
MODELOS



representaciones físicas, es decir se realizaban experimentos casi que reales. Posteriormente se dieron las representaciones gráficas en donde se reemplazaban los elementos de la situación original por los elementos gráficos correspondientes a través de los cuales se podían operar mejor los modelos respectivos. Por último se elaboraron las representaciones simbólicas por medio de las cuales se simplificaban mucho más aún dichas realidades problema haciéndolas de muy fácil manipulación.

Sin embargo, es de mucha importancia aclarar que, no se pretende asegurar que sea la única clasificación, pero si la más común utilizada en Investigación de Operaciones. Como ya se mencionó anteriormente la clase de modelo que se seleccione dependerá en su grado del sistema bajo estudio y del propósito del mismo.

#### II.2.1 Modelos icónicos

Son aquellos que se representan en forma directa, o es la representación misma del problema o fenómeno en estudio.

Básicamente son imágenes de la situación original, pero con la particularidad de que conservan las propiedades o características de la realidad del problema, realidad esta que debe ser observable, medible y sistémica.

Como ejemplo de estos modelos tenemos: las fotografías, los mapas, dibujos, los aeroplanos y mapas de barcos y autos en general, concretamente existen mapas denominados litográficos, los cuales al ser observados son tan representativos que parecen confundirse con la realidad.

Con base en lo anterior se deduce que los modelos icónicos son representaciones específicas, concretas y difíciles de

manipular y adaptar a experimentos generales.

### II.2.2 Modelos analógicos

Estos modelos utilizan ciertos elementos que sustituyen los elementos o variables más relevantes del problema original. Dichos elementos deben guardar entre si relaciones que sean análogas a los elementos que representan la situación original bajo estudio, de ahí que se les llame analógicos.

Debemos tener en cuenta un aspecto importante en la construcción de este tipo de modelos, y es el hecho de que cada elemento, que sustituyamos debe estar representado por un solo elemento y que lo represente desde el principio hasta el final del modelo, es decir, que haya consistencia.

Cada vez que se aplique este tipo de modelos, se irá perdiendo su parecido con la realidad, es decir, son cada vez menos reales. De ahí que se denomine a los analógicos como modelos menos específicos, menos concretos, pero con la ventaja de poderlos manipular más fácilmente que los modelos anteriores.

Como ejemplos de estos modelos tenemos: las líneas de contorno de un mapa las cuales sirven para representar ciertas elevaciones o depresiones de una región o país. Un sistema hidráulico puede utilizarse como un análogo de sistemas eléctricos, económicos o de tráfico.

### II.2.3 Modelos simbólicos

Son aquellos que como su nombre lo indica, utilizan una serie de símbolos para representar los diferentes elementos que componen el problema en cuestión, al mismo tiempo nos

representan las relaciones que guardan entre sí dichos elementos.

En estos modelos, se utilizan las letras, los números y otro tipo de símbolos que nos denotan en cualquier momento los elementos y las relaciones de la situación inicial; como ejemplo tenemos, los diagramas de flujos y los diferentes mapas y diagramas.

Concretamente en Investigación de Operaciones se utilizan las expresiones matemáticas como ecuaciones, igualdades, inequaciones o desigualdades.

Los modelos simbólicos presentan la característica de la abstracción, pero son más generales de poderse adaptar a cualquier situación o sistema y a la vez son mucho más precisos y fáciles de poderse manipular que los otros dos modelos descritos anteriormente.

### II.3 Aspectos importantes para la Formulación y diseño de un modelo

Cabe destacar que la formulación y diseño de los modelos está supeditada a la gran variedad de tipos de empresas, de sus necesidades y objetivos particulares, así como también a la visión y pericia de la persona o personas encargadas para tal fin, de ahí que sea común la presencia de una multiplicidad de enfoques que puedan presentarse en la construcción de modelos.

Sin embargo, con base al estudio de Rivett Patrick, para la formulación y diseño de modelos, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos, considerados como básicos para poder desarrollar esta labor.

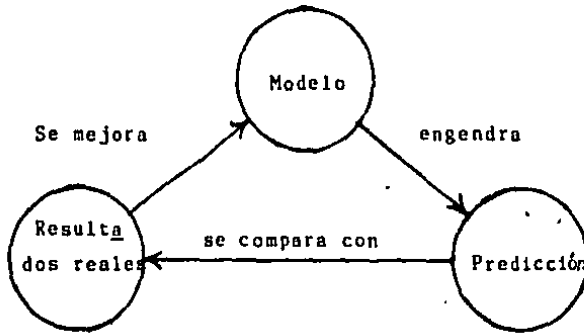
Es necesario tener en cuenta que al presentarse un fenómeno al cual se pretende atacar, al mismo tiempo que se formule el problema se reviven los objetivos a los cuales se pretende llegar, ya que si se desligan el uno del otro, la solución del modelo nos puede conducir a solucionar síntomas únicamente. Por lo tanto, los objetivos deben ir estrechamente ligados a la formulación y diseño del modelo.

A. Partiendo de la definición de qué un modelo es la representación o abstracción de una situación real, se debe tener en cuenta de que ésta realidad, tenga las características de que sea observable, medible y sistémica.

Veamos ahora, aunque muy superficialmente que entendemos por cada una de estas tres características:

Una realidad es observable cuando se está en condiciones de poder apreciar directamente algunos aspectos de lo que se está llevando a cabo, probarlos y comprender el funcionamiento de los elementos que conforman el modelo, así como también, que sean susceptibles en el manejo y diseño de ciertos parámetros que nos permitan no solo conocer el comportamiento actual del modelo sino de situaciones posteriores mediante la formulación de hipótesis y que nos permitan hacer comparaciones entre los resultados de estas hipótesis y la realidad observada.

Estas comparaciones son de singular importancia por el hecho de que permiten en un momento dado replantear el modelo que se esté implementando.



Gráfica No. 4. Modelo

En otras palabras que el modelo sea susceptible de suposiciones entre lo que hubiera podido pasar y lo que realmente está sucediendo, que nos permita jugar o manipular las variables para una posible corrección de errores.

La segunda característica de la realidad es que sea medible o sea que, los aspectos o elementos que conforman el modelo, tengan la propiedad de ser medibles, ya que sólo así se podrán establecer comparaciones.

La tercera característica, es la de que sea sistémico; esto significa que los elementos que intervienen en el modelo, representen expresiones de causa y efecto; asimismo que se relacionen e interactúen simultáneamente. Básicamente un sistema consiste en un conjunto de elementos interrelacionados entre sí y que poseen las siguientes características:

- Que un elemento afecte por lo menos a otro elemento.



- Que un elemento se vea afectado por lo menos por otro elemento del sistema.

- El sistema no puede dividirse en subsistemas en donde ningún elemento afecte o se vea afectado por otro elemento, esto es que no se puede desligar un subsistema del sistema total.

B. Debe realizarse la formulación de un conjunto de causas, dependiendo estas de los objetivos a alcanzar y de los parámetros o márgenes previamente establecidos en la etapa de medición. Muchas de estas causas tienen que ser agrupadas en conjuntos de causas con el propósito de facilitar las operaciones y poder hacer frente a los problemas analíticos. Como ejemplo de esto tenemos que tratándose de precios de acciones, es preferible establecer un precio promedio de todas las acciones, que fijar un precio para cada una de ellas.

C. Se debe determinar el estado actual del sistema y en cada momento ya que en determinadas épocas puede cambiar debido a la presencia de nuevas causales, por lo general un sistema que se observa es de manera continua.

También es necesario tener en cuenta que el sistema que se describe puede afectar y ser afectado por los métodos y técnicas de investigación para resolver un problema.

D. Aquí se presenta el problema de los grupos de objetivos u objetivos agrupados indiscriminadamente y sin definirlos ni delimitarlos correctamente. Muchas veces se pasa por alto definir los objetivos en esta etapa primaria de los modelos, cuando esto sucede se debe llevar a cabo una retroalimentación con el propósito de replantearlos.

E. En esta etapa se debe formular una hipótesis que relacione tanto el conjunto de causas, el estado o estados de los sistemas bajo estudio y el conjunto de objetivos.

La formulación de la hipótesis es de suma importancia y de sumo cuidado, ya que muchas veces se suele formular hipótesis mediante enunciados meramente cualitativos -lógicos, mediante un análisis general de datos, sin tener en cuenta el análisis cuantitativo que vendría a ser más racional y preciso. Por lo tanto se debe dar crédito de una hipótesis formulada bajo principios matemáticos, ya que la hipótesis formulada bajo éste enfoque es lo que se denomina modelo.

La formulación de un modelo tiene que ver tanto con la experiencia, con la destreza, la habilidad, etc., como con la aplicación de procesos, métodos o técnicas formales.

Los modelos en su primera formulación tienden a ser similares a otros tipos de modelos, de ahí que pertenezcan a cierta clasificación, incluso pueden pasar fácilmente la etapa de validación, también en ésta primera etapa los modelos son tentativos y muy subjetivos, ya que, dependen en sumo grado del enfoque personal que el investigador tenga del problema o como se analice.

F. Los modelos no se deben elaborar de tal manera que únicamente aparezcan ciertas variables consideradas como las más importantes, sino que, deben determinarse de tal forma que verdaderamente cumplan con los objetivos o que estas variables consideradas de interés sean sujetas a predicciones y a control, con el fin de asegurar buenos resultados.

Un modelo ante todo debe ser útil, que sea una verdadera guía, que deje satisfechos tanto al personal que participa

en su elaboración como a los usuarios del mismo. Esta utilidad nos debe indicar con mucha certeza los estados del sistema, como consecuencia de los conjuntos de causas que los originaron. Por consiguiente no es sino hasta esta etapa en donde se mide o determina la verdadera utilidad del modelo en términos del logro de objetivos.

G. En esta segunda etapa, se lleva a cabo la prueba de las hipótesis, esto es la comparación de las predicciones de los estados del sistema, o sea, los posibles cambios y la realidad expuesto en A. En si es un control de la validez de las causas y de los estados en si del sistema en estudio. To dos estos aspectos quedan representados en la gráfica No. 5.

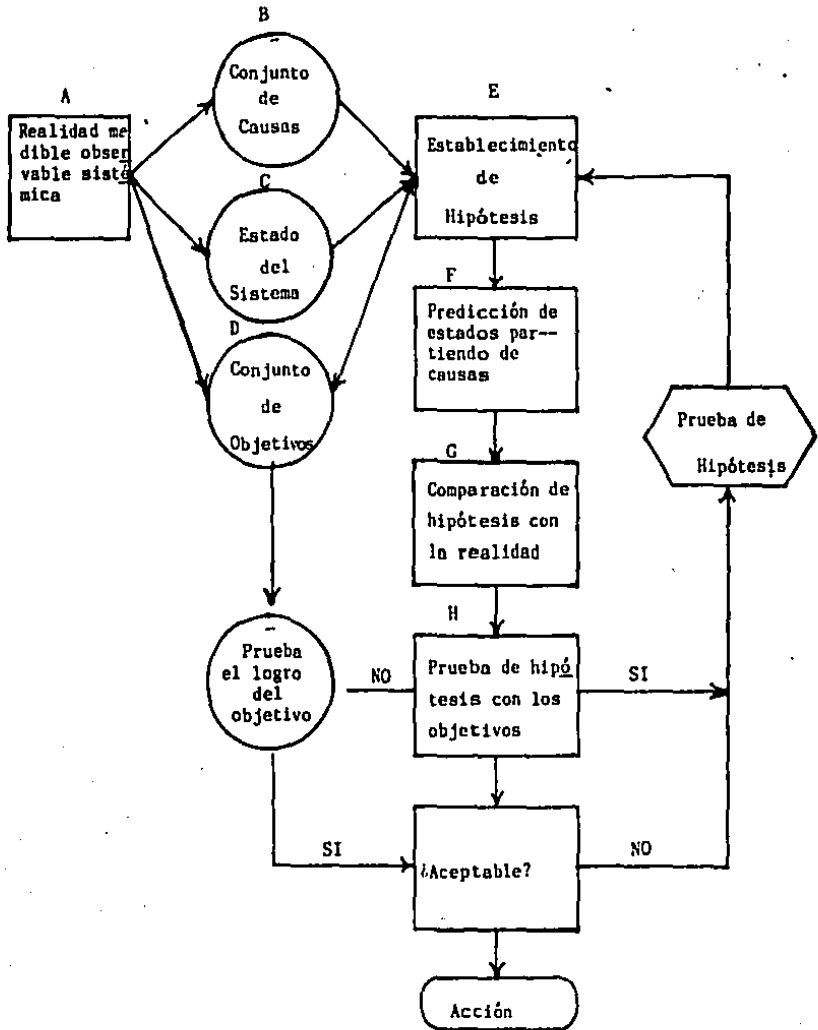
H. Una vez que se realicen estas comparaciones entre las predicciones y la realidad y su diferencia no es muy significativa entonces estas hipótesis se deben probar con relación al conjunto de objetivos, con el fin de determinar si este, curso de acción afectará en favor de los objetivos propuestos.

Cuando no mejora la situación en favor de los objetivos o cuando las diferencias entre la predicción y la realidad son muy grande, entonces se deben revisar las hipótesis.

Al contrario cuando se presenta el resultado en favor del logro de objetivos propuestos, se verifica su cumplimiento y si es aceptable se emprende la acción.

Por último, cuando el curso de acción afecta el logro de los objetivos de manera significativa, se establecen controles continuos mediante la retroalimentación, hasta la etapa de determinación de los estados del sistema ocasionados por las diferentes causas que los pueden cambiar, al presentarse

Gráfica No. 5. Formulación y Diseño de un Modelo.



variables causales nuevas, se debe tratar de mantener o acondicionar el sistema para mantener en lo posible la situación favorable de los objetivos en los cuales se propone la organización.

En resumen la formulación y construcción básicamente requiere de los siguientes pasos; claro está que se trata únicamente de un enfoque en particular:

- La formulación o determinación de un problema.
- La formulación de los objetivos generales.
- Con base en la definición de modelos, la verificación de que la realidad sea:

Observable  
medible  
sistémica

- La determinación de los elementos o variables causales o simplemente el conjunto de causas.
- La determinación del estado actual y probable del sistema.
- La determinación de un conjunto de objetivos.
- La formulación de hipótesis, para probar y simular con el modelo.
- Determinación de los resultados mediante la comparación de las predicciones o pronósticos con la realidad.

- Determinación de la utilidad de esas hipótesis y de los posibles resultados, mediante la utilización de pruebas estadísticas.

- Determinación de la validez del modelo.

- Retroalimentación y establecimiento de controles, dependiendo de los resultados.

- Aceptación de la acción y puesta en marcha.

En conjunto, se determinan sólo algunos elementos más importantes en el diseño de un modelo y que en momento dado nos pueden servir de guía en su elaboración.

Por otra parte, se deben tener en cuenta los elementos en sí de un modelo considerados como variables a manipular en situaciones experimentales y que conforman la estructura básica de un modelo.

Estos aspectos vienen a complementar el procedimiento descrito anteriormente y nos ayudan a entender mejor la parte que conforma un modelo y como funciona.

#### II.4 Elementos básicos para la construcción de un modelo

Comprende principalmente los siguientes elementos:

- La función objetivo
- Las variables controlables
- Las variables no controlables

Tal como se habló anteriormente un modelo comprende relaciones causa-efecto, como determinantes de un sistema; dichas

relaciones causa-efecto son las que hacen que interactúen los elementos del modelo conocidos como variables controlables y variables no controlables.

#### II.4.1 La función objetivo

La función objetivo se puede entender como el resultado de la aplicación y ejecución del modelo, es donde se comprueba la utilidad del empleo de los diferentes modelos.

Básicamente los objetivos y la función objetivo en particular nos determinan que tipo de modelo emplear a una situación dada.

La función objetivo es el resultado de la relación dada entre las variables controlables y no controlables de causa-efecto, en donde el encargado de tomar una acción correspondiente realiza pronósticos con las variables no controlables y determina la selección y el comportamiento de las controlables, de tal modo que la función objetivo se maximice o minimice según sea el caso.

Es decir, generalmente se presenta por esta relación:

la función objetivo = f (función) (variables controlables,  
interactuando con las va  
riables no controlables  
(pronósticos))

#### II.4.2 Las variables controlables

Este tipo de variables, como su nombre lo indica son aquellas que se conocen como variables de decisión y que están bajo el control de quien toma una acción, estas variables

son aquellas que se pueden manejar o manipular fácilmente por cuanto se determinan en forma precisa y lo que es más se conocen rápidamente, de ahí que permanezcan bajo control.

#### II.4.3 Las variables no controlables

Son aquellas que muchas veces están fuera del problema que enfrenta quien tiene que tomar una decisión y se conocen como estados de la naturaleza, es decir, son ambientales o ecológicas. También, existen ciertas variables que sin ser ambientales ni ecológicas son no controlables, como es el caso de situación de mercado o de un competidor, asimismo, dentro de la empresa existe este tipo de variables, por ejemplo, cuando se está supeditado a decisiones u objetivos correspondientes a personas o jefes con un nivel jerárquico superior dentro de la organización, estas variables serán inalcanzables o incontrolables.

Un aspecto que debe tenerse en cuenta, es el hecho de clasificar por prioridades estos tipos de variables, con el propósito de no dejar por fuera alguna variable relevante dentro del sistema.

A manera de ejemplo de todo esto tenemos la problemática que se presenta en las instituciones educativas, en donde se determinan como sigue:

Las variables bajo las cuales opera este sistema son:

VARIABLES CONTROLABLES, la cantidad de espacio disponible para laboratorio, de aulas, de personal técnico disponible, número de personal docente por materia y número de tipo de oferta efectuada a los estudiantes para su ingreso.



Variables no controlables, el número de estudiantes que solicitan su ingreso, número de tipo de aceptaciones de ingreso, la elección de las asignaturas escogidas por los estudiantes, entre otras.

La función objetivo, la producción y el fomento a la investigación, el número de graduados y posgraduados que egresen del establecimiento educativo.

Comúnmente se tiene el concepto de que el objetivo de las universidades es la dupla docencia e investigación, pero en la actualidad el único objetivo real es la creatividad intelectual.

Cabe destacar que las variables controlables están bajo la influencia personal de quien pueda o no tener poder para ejercer autoridad y control al momento de decidir, así como también del tipo y la oportuna información con que cuente el encargado de la construcción o adaptación de los modelos.

## II.5 Disponibilidad de la información en la construcción de modelos

Sabemos que la construcción de modelos implica la utilización y la búsqueda de cierta información y de ciertos datos que en un momento dado pueden ser de mucha importancia y significado, ya que de no contar con este tipo de datos, quedaría por fuera información que en un momento dado distorsionaría la verdadera situación del sistema y del problema en mención.

Por lo tanto, el diseñador de modelos, debe asegurarse de que cuenta con el apoyo y la participación de todos aquellos que de una u otra forma se encuentran vinculados con el sistema organizacional para con esto asegurarse de que

pueden tener toda la información posible.

Esta información debe abarcar todos los niveles posibles dentro de la organización, tanto de aquellos que tienen que ver directamente con las operaciones como de aquellos que se encargan de la toma de decisiones.

Esta información debe ser amplia, oportuna y verdadera, ya que al momento de construir un modelo, este puede tener variaciones múltiples y significativas, de ahí que cuando se conforma un modelo inicial, este puede ser totalmente diferente al momento de ponerlo a funcionar. Estos modelos están en constantes cambios a medida que se presenta nueva información.

Muchas veces se presenta el caso de que no se pueden evaluar ciertos parámetros, debido a la falta de información, haciendo imposible o poco práctico el modelo resultante, de ahí que, modelos que fácilmente son aplicables en un sistema, en otros no lo son.

En otros casos ocurre que la búsqueda de los datos requeridos no proporcionan la información necesaria y por consiguiente se tengan que repetir varias veces, tanto la búsqueda de los datos como la adaptación final del modelo.

En resumen, tanto la búsqueda de los datos, como la disponibilidad de la información y la participación del personal interesado en la organización son factores importantes en la construcción de modelos, guía para toma de decisiones, y para que se cumplan los objetivos generales de la entidad.

## II.6 Principales patrones que se deben tener en cuenta para la construcción de los modelos

Con base en los sistemas y su estructura, el tipo de datos y su análisis respectivo, la clasificación de las variables y la práctica que se tenga en la implementación y experimentación de modelos, se pueden enunciar, aunque de una manera muy somera cinco (5) patrones, a tener en cuenta para una posible oportunidad de construcción de modelos; estos patrones nos pueden servir en un momento dado como base o guía en la determinación de que tipo de modelos se deben emplear y las técnicas a seguir.

Es conveniente aclarar que estos patrones serán de mucha ayuda y de más fácil comprensión, una vez que se tenga conocimiento del tipo de información y el análisis y búsqueda de los datos necesarios, la determinación de las variables que conforman la estructura básica de los modelos, la destreza, habilidad y experiencia que junto con las funciones formales, permiten alcanzar el éxito en la aplicación de modelos, y por último el tipo de sistema que tenga una empresa, términos éstos que de alguna manera ya se han tocado a lo largo del presente capítulo.

Por consiguiente los patrones son los siguientes:

### II.6.1 Cuando la estructura del sistema es lo suficientemente clara y sencilla.

Tenemos este primer patrón en el cual la estructura del sistema es lo suficientemente clara y sencilla, la cual con sólo inspeccionar o tener una plática con los encargados del sistema se puede elaborar un modelo.

En este tipo de sistemas frente a un problema, resulta muy claro la determinación de las variables tanto controlables y no controlables o dependientes e independientes, así como las constantes, las cuales interactúan mediante posibles comportamientos para llegar a la función objetivo.

Ejemplo: cuando en un mercado comercial, sabemos la cantidad o el potencial de bienes o servicios que podemos ofrecer y más o menos tenemos una demanda cautiva, podemos determinar nuestras ventas y su incremento en función del tiempo y del precio, calculando nuestra posible utilidad esperada.

En este tipo de situación, con un simple examen o revisión del sistema existente se puede pasar directamente a confeccionar el modelo. Sin embargo se deben tener muy en cuenta la disponibilidad y oportunidad de los datos para poder establecer unos parámetros de evaluación de las variables controlables y no controlables en especial, pues de no ser así el modelo podría cambiar totalmente.

#### II.6.2 Cuando la estructura del sistema es relativamente clara y sencilla

Aquí el segundo patrón, se presenta en aquellas situaciones en las que la estructura del sistema en revisión es relativamente clara y sencilla de acondicionar a un modelo determinado. Sin embargo resulta difícil representarlo simbólicamente, ya que resulta un poco complicado la determinación y representación de las variables al momento de aplicar el patrón.

En este tipo de situación se suele aplicar modelos por analogía, o sea, aplicar el modelo de un problema o caso conocido y que verdaderamente se haya manejado anteriormente, aplicarlo a la estructura del problema que se trata de solucionar.

El ejemplo típico de este patrón, es aquel, en el cual se trata de establecer un nuevo almacén que abastezca a un número determinado de clientes que se encuentran ubicados en distintos lugares y en donde el objetivo consiste en situar de tal manera el nuevo almacén que sea capaz de minimizar el costo total por transporte y por período.

En este tipo de problemas se conocen los siguientes datos:

- Los requerimientos de cada cliente en toneladas por período o sea que es una cantidad relativamente constante.

- El costo de transporte por cada requerimiento a cada cliente es más o menos igual al peso del embarque multiplicado por la distancia. Este valor debe ir expresado en unidades de costo por unidad de peso y por unidad de distancia.

El correspondiente análogo físico de este problema de transporte consiste en: elaborar un mapa en donde aparezcan clara y detalladamente cada uno de los lugares en donde aparecen los clientes a quienes se va a satisfacer sus demandas.

Además, se especifican, por escala, las distancias correspondientes, y el posible peso que se transportarán por requerimientos y el período en que se llevarán a cabo. Posteriormente se debe encontrar el punto de equilibrio de estos cálculos punto que será el lugar donde se coloque el almacén y en donde se minimizan los costos respectivos.

### II.6.3 Cuando la estructura del sistema no es evidentemente ni clara ni sencilla

Este tercer patrón, es aquel en el cual la estructura

del sistema existente no es evidentemente clara ni sencilla, pero que por medio del análisis de los datos que representan el problema, se puede elaborar un modelo respectivo que trate en lo posible de guiar a quien tenga bajo su responsabilidad la toma de decisiones.

Aquí los datos en un momento dado, puede que sea necesario recopilarlos, de ahí la importancia de la disponibilidad de la información y de todos los datos en la construcción de los modelos, pero ya sea que los datos estén disponibles o hayan sido recopilados, con el análisis respectivo de los mismos es suficiente para encontrar la estructura del sistema y posteriormente construir el modelo que le corresponda.

Básicamente, se considera el análisis de los datos el camino para la construcción de un modelo, desde el punto de vista de quienes han experimentado bajo este patrón.

En este patrón, se generan hipótesis estructurales que deben confirmarse mediante la utilización de ciertos datos que a su vez deben ser diferentes a los que se emplearon en las hipótesis primarias experimentales, o sea establecer hipótesis, hacer pronósticos nuevos y sacar conclusiones, estableciendo diferencias con la realidad.

Como ejemplo, se citan los estudios de transporte y más concretamente el movimiento del tráfico y las rutas más utilizadas por los vehículos en un período de tiempo determinado, con lo cual se podría determinar accidentes, embotellamientos y pérdida de tiempo en determinados sitios de una ciudad.

Por lo tanto, mediante el análisis de estos datos se puede establecer la estructura del sistema y del posible modelo a construir y utilizar.

#### II.6.4 Cuando el establecimiento y determinación de las variables dependen de la experiencia

Este cuarto patrón, ocurre cuando es necesario recurrir a la experiencia que se haya tenido con el objeto de poder establecer y determinar las variables que son relevantes y la manera como afectan la operación normal del sistema existente. Esto quiere decir que la experimentación es la esencia de este patrón y de sus modelos.

En este patrón se da la existencia de un gran número de variables que pueden estar afectando el sistema las cuales se determinan por medio del análisis de datos, de ahí que se tenga que recurrir a la experiencia con el fin de eliminar algunas de ellas y dejar exclusivamente las necesarias y las más relevantes.

Cabe destacar que el análisis de datos juega un papel importante en la determinación de la estructura del sistema sobre el cual se construirá el sistema.

Aquí debido a la existencia de un gran número de variables, puede resultar muy largo y muy costoso el estudio, de ahí que por experiencia, muchas veces no es necesario llegar al final del proceso del sistema para poder sacar conclusiones y recomendaciones, ya que se irán encontrando situaciones claras o análogas a otras.

Como ejemplo podemos citar aquella situación en la cual se tiene que determinar una serie de variables que se consideren como un estímulo y aquellas a las cuales deben corresponder y que se consideran respuesta directa o inversamente proporcional la relación entre variables.

Concretamente, se puede tratar de determinar las ventas y su comportamiento, mediante el análisis de las variables que de una u otra forma las afectan, como el caso de gastos financieros, administrativos, publicidad, etc., que pasaría al aumentar o disminuir estas variables en aquellas situaciones en donde existen saturaciones de mercados y las ventas aumentan o se reducen inexplicablemente debido a la aparente independencia de las variables.

Si se aumenta el estímulo, lógico que aumentará la respuesta, si se aumenta la publicidad se espera aumentar las ventas, pero sin embargo, se presentan situaciones en las cuales al aumentar la publicidad no aumentan las ventas o que reduciendo el gasto en publicidad las ventas aumentan; todos estos aspectos se determinan mediante el análisis de datos y basados en experiencias propias o análogas.

#### II.6.5 Cuando la estructura del sistema parece no tener solución

Este quinto y último patrón, es el más difícil, por cuanto no es posible llevar a cabo la obtención de los datos que describen la estructura del sistema, ni tampoco se utiliza la experimentación. En principio da la impresión que dicho problema o situación no tendría solución alguna; sin embargo no es así.

Como ejemplo inicial tendríamos, el caso de la determinación cuantitativa de los conflictos sociales, esta información no se la puede encontrar en ninguna parte, ni tampoco se puede obtener directamente.

Para llevar a cabo la construcción de un modelo teniendo los antecedentes de este patrón tenemos que formular un méto-



do en donde se conjugan situaciones de gran complejidad en la situación experimental y que su realismo en las pruebas de laboratorio sea tal que se ajuste a este tipo de patrón.

Para tal fin el método mencionado debe contener o cumplir los siguientes requisitos como mínimo:

- Debe ser lo más grande y variada posible que pueda abarcar y soportar un gran número de hipótesis en situaciones y de pronósticos que se formulen acerca del sistema que estamos estudiando, o sea tratar de ligar y encontrar situaciones afines o aproximadas entre lo que estamos experimentando y la realidad que se tiene, para luego proceder a probar hipótesis y poder generalizar datos con los resultados alcanzados.

- Con base en lo anterior, se debe realizar la determinación de ciertas variables con las cuales se especifique cada vez más la situación del sistema real y poder dar validez cada vez mayor al experimento que se lleve a cabo.

- Una vez que se lleve a cabo la prueba de validez y especificación tanto de variables como del experimento en sí, este debe ser susceptible de una cuantificación más realista y aproximada a lo que se persigue.

- La situación que se alcance debe poder descomponerse en partes experimentales más simples y más pequeñas, o sea que se puedan subdividir, con el propósito de alcanzar situaciones cada vez más próximas a la realidad, dependiendo dicha subdivisión, de la cantidad y clase de variables que se estudien por separado.

En resumen, la situación que satisfaga aproximadamente estas condiciones, debe utilizarse como una realidad llamada

por algunos autores como artificial, la cual no se utiliza como un modelo de la realidad, sino como una realidad que se va a modelar.

## RESUMEN

La Construcción y la utilización de modelos, como ya se dijo en el capítulo inicial, son la máxima expresión de la Investigación de Operaciones, por cuanto nos facilitan hechos y resultados concretos, precisos y cuantificables que en todo momento nos ayudarán a conocer mejor las operaciones y transacciones que un sistema dentro de una empresa puede tener durante un período previamente determinado. También nos proporcionan los medios necesarios para llevar adelante una serie de experimentos en pró de facilitar un mejor conocimiento de los sistemas, así como de servir de apoyo a una muy acertada toma de decisiones encaminadas al logro general de objetivos y de un bienestar organizacional. Dichos experimentos no serían posibles de llevarse a cabo directa y físicamente de no ser por la presencia de los modelos en estudio.

Dentro de éste capítulo, se han observado tres tipos básicos de modelos que coadyugan unos a otros en el logro de una serie de predicciones, hipótesis y resultados, sino precisos, lo más cercano posible a esta situación.

También se ha esquematizado y analizado someramente algunos de los aspectos que se deben tener muy en cuenta en la formulación y diseño de modelos, partiendo de la previa determinación de objetivos a que se pretenden llegar y de una previa y correcta formulación de los problemas que se pretenden solventar, aspectos estos que van desde la realidad que se representa hasta la utilización de hipótesis que probarán o disprobarán la validez tanto del modelo como de los resultados a apli-

car.

Por otro lado se presentan los diferentes tipos de variables y sus respectivas relaciones, que en un momento dado nos generan situaciones complejas o sencillas de acuerdo al tipo de modelos que se utilicen y a la complejidad e incertidumbre inherente a las variables que conforman su estructura básica entre las que destacan las controlables o de decisión que está bajo el control de quien toma una acción, las no controlables denominadas como estados de la naturaleza.

La información y la obtención de datos en la construcción de los modelos presentan una parte de reconocida significancia, tanto para la representación de la realidad que se modela como de los resultados que se pretenden alcanzar. Esta información debe ser recabada de todas las personas posibles que estén involucradas en el proceso de construcción, manipulación y validación de los modelos respectivos.

Por último se presentan algunos procedimientos para construcción de modelos que se encuentran comprendidos dentro de los cinco principales patrones a seguir para la obtención mencionada.

Dichos patrones se presentan teniendo como base primordial el grado de dificultad del sistema bajo estudio y del posible acceso que tengan quienes los construyen a la estructura del respectivo sistema.

### CAPITULO III MODELOS MATEMATICOS

El análisis cuantitativo, en la toma de decisiones financiero-administrativo, representa en la actualidad una herramienta eficaz por cuanto, mediante la utilización de los modelos matemáticos se pueden medir, planificar y pronosticar de una manera mucho más exacta la consecución y aplicación de los recursos que hoy en día son escasos y costosos para la mayoría de las empresas en nuestro medio. Esto quiere decir que toda empresa organizada que se empeñe en alcanzar sus objetivos, no únicamente debe contar con la presencia de personas capacitadas para la toma de decisiones, sino de un personal profesional capaz de presentar al ejecutivo adecuados y precisos cursos de acción óptimos tendientes a incrementar sus resultados, mediante la construcción y utilización de este tipo de modelos.

Si estas opciones o alternativas de acción llegan a la alta dirección esquematizada de una manera exacta y sistemática, serán de mucho beneficio en la toma de decisiones acertadas por ejemplo, resulta mucho más acertado pronosticar las ventas de una empresa mediante la utilización de un modelo matemático tal como la simulación o la regresión lineal, que estimarlas con base en una supuesta experiencia que en últimas puede resultar más especulativa que real.

Es por todo lo anterior que resaltamos la importancia en la utilización de los modelos matemáticos como un medio necesario para alcanzar la mejor utilización de los recursos tendientes a satisfacer necesidades, buscando optimizar los resultados y a lograr la correcta toma de decisiones en pró de los objetivos propuestos por la organización en general.

A continuación veremos lo que son en sí los modelos matemáticos y los principales factores que los conforman.

### III.1 Que son modelos matemáticos

Un modelo matemático es una representación simbólica de la realidad, esto es, la representación de un fenómeno ó problemas, por medio de la utilización de ciertos símbolos, ya sean letras, números u otro tipo de símbolos, pero que representan a los elementos comprometidos en la situación original.

Un modelo matemático ya en concreto, es un conjunto de ecuaciones o inecuaciones que describen un sistema o un problema.

La construcción de modelos matemáticos, está encaminada principalmente a tratar de explicar y predecir el comportamiento de los sistemas de una entidad, así como para servir de guía en la toma de decisiones administrativo-financieras.

### III.2 Principales componentes de un modelo matemático

El modelo matemático contiene una serie de factores clave involucrados en el fenómeno que se está modelando. De hecho este modelo supone y de hecho, contiene una estructura que define claramente ciertas relaciones entre los elementos que lo conforman.

Hay que aclarar que tanto la función objetivo, como las variables secuenciales, están compuestas por variables controlables y por variables no controlables. Por consiguiente, un hecho muy importante al momento de construir un modelo está en que se incluya únicamente los elementos y variables realmente importantes, que se omita lo irrelevante, que se haga una previa clasificación de las variables que sean más

representativas con el propósito de no dejar por fuera algún factor que pueda en un momento dado afectar nuestros objetivos, y que a su vez no distorsione el modelo respectivo.

La selección del modelo que se vaya a poner en práctica depende por una parte del sistema que se estudia y por otra, del objetivo que se persigue.

A manera de resumen tenemos que, un modelo matemático está compuesto en su estructura clásica por la función objetivo y por las variables que se tienen para alcanzar dichos objetivos y en donde tanto la función objetivo como las variables están conformadas por elementos controlables y no controlables, representadas éstas a su vez por ecuaciones matemáticas.

### III.3 Clasificación de los modelos matemáticos

Existen en la actualidad muchos enfoques para clasificar los modelos matemáticos, sin embargo, a continuación presentamos una clasificación que ha sido adoptada por la mayoría de autores que tratan sobre estos temas.

#### III.3.1 Modelos normativos:

Este tipo de modelos como su mismo nombre lo indica, constituyen una cierta norma o guía para resolver cierto tipo de situaciones, así como para la toma de decisiones. Tenemos que, la religión que cada quien profesa es en cierto modo un modelo normativo para el comportamiento ético-moral.

Estos modelos proporcionan una guía de como se debe actuar y que decisiones tomar. A su vez se considera bastante valiosa su utilización por cuanto proporcionan resultados del mejor curso de acción para llevar a cabo un plan o decisión adminis-

trativo financiera.

A este tipo de modelos se les conoce también con el nombre de prescriptivos, por cuanto prescriben una estructura ó una serie de pasos a seguir en la consecución de una posible solución, como ejemplo típico de esta clase de modelos tenemos el método científico utilizado en la solución de problemas.

### III.3.2 Modelos descriptivos

Otro tipo de modelos son los descriptivos, que ayudan a describir un problema determinado, pero no proporcionan resultados ó conclusiones que nos permitan valorar si un sistema es bueno ó es malo. Su mayor aplicabilidad está en el hecho de determinar como se comporta un sistema dado para poder hacer mejoras, ó tratar de mantener la situación actual. Desde este punto de vista los modelos descriptivos son herramientas de trabajo más que guías de decisiones.

En ciertos problemas de decisiones administrativas, no existen modelos normativos que se puedan aplicar a una determinada área del sistema bajo estudio, debido a que los normativos proporcionan normas más generales, y es ahí donde tienen mayor uso los modelos descriptivos, lo mismo que, cuando se trata de diseñar un modelo que abarque un sistema completo de toda una organización.

Estos modelos descriptivos son considerados simplemente como el resultado del análisis matemático, o sea que, aquí no se consideran algunas hipótesis ó pronósticos de lo que posiblemente debiera ocurrir. También estos modelos tienen la particularidad de obtener soluciones a partir de evidencias sobre las cuales se infiere ciertas conclusiones, de ahí que se les llama modelos deductivos.

### III.3.3 Modelos explicativos

Otra forma de modelos son los explicativos que tiene la característica de ser inductivos ó sea que invierten la propiedad de los modelos anteriores y es de mucha mayor credibilidad por cuanto proporcionan explicaciones con base en la experiencia de oportunidades pasadas y en otros lugares.

Una segunda clasificación de estos modelos es;

- Concretos
- Abstractos

Los concretos, son aquellos que tienen características físicas en común con la realidad que se esta representando, o sea que son sistemas reales físicos. Esto quiere decir que las propiedades de los elementos de la situación original, corresponden a las propiedades de los elementos constituidos en el modelo.

Como ejemplos tenemos, el aeroplano usado para las pruebas de viento, las réplicas son modelos tan concretos que resulta muy difícil diferenciarlas con las originales.

Los modelos abstractos, son totalmente opuestos a los concretos, por cuanto no tienen nada en común con las situaciones originales. Aquí se presenta la dificultad de la abstracción. Muchas veces se hacen los cursos de acción difíciles por lo abstracto de los modelos, alejados de la realidad. Sin embargo lo que debe hacerse en estos casos es descubrir y expresar con bastante claridad los elementos o variables relevantes del problema y sus relaciones mútuas.

Esta situación ocurre cuando el encargado de adoptar una



solución ó tomar una decisión, observa un problema real, lo transcribe y cuando ha hecho esto resulta que entiende mejor el problema y a partir de ahí puede predecir lo que podría pasar y puede saber como manipularlo de tal modo que le sirva para sus fines.

El problema de realidad-abstracción, presenta su aparente dificultad en el manejo de modelos abstractos, por cuanto no existe una relación directa entre los elementos originales del problema y los elementos que los sustituyen en el modelo, cada vez se utilizan menos detalles que se consideran irrelevantes, es por esto que son modelos cada vez menos reales y más abstractos. La construcción de estos modelos requiere cada vez más de un esfuerzo mental mayor, tanto para construirlos como para manejarlos y para la aplicación de la solución obtenida, al problema original.

#### III.3.4 Según la técnica que se emplee.

Siguiendo con la clasificación de los modelos matemáticos, existen otras clasificaciones, ya sean según la técnica que se emplea al tratar de resolver fenómenos detectados dentro de cada entidad y teniendo en cuenta sus necesidades particulares; entre estas técnicas están:

- Modelos de programación lineal
- Simulación
- Teoría de juegos
- Teoría de colas
- Camino crítico
- Programación dinámica
- entre otras

### III.3.5 Según el tipo de aplicación.

Otra clasificación, es teniendo en cuenta el tipo de aplicación que se necesite, entre estos están:

- Problemas de inventarios - Almacenaje y distribución
- Distribución y transporte - Pronóstico de ventas
- Reemplazo y mantenimiento - Programación de la producción
- Problemas de búsqueda - Análisis de cartera
- Competencia - Simulación de decisiones
- Manejo de efectivo - Presupuestos de capital
- Modelos de reemplazo - Análisis del riesgo por innovación de productos
- Asignación de precios a productos - Entre otras

### III.3.6 Según la situación de los problemas a partir de las ramas de las matemáticas y de las técnicas específicas.

A continuación presentamos una clasificación, basada en los estudios sobre modelos matemáticos, realizado por Michel Fiol y Jaime Enriquez.\*

Esta clasificación se hace tomando como base las diferentes situaciones que puede tener un fenómeno ó problema en particular, teniendo en cuenta también cada una de las partes de las matemáticas en la administración, en cada una de las situaciones que se presenten.

\* Fiol, Michel y Enriquez, Jaime. "Bases esenciales de Administración, Contabilidad y Economía", "Algebra", clasificación de los modelos matemáticos.

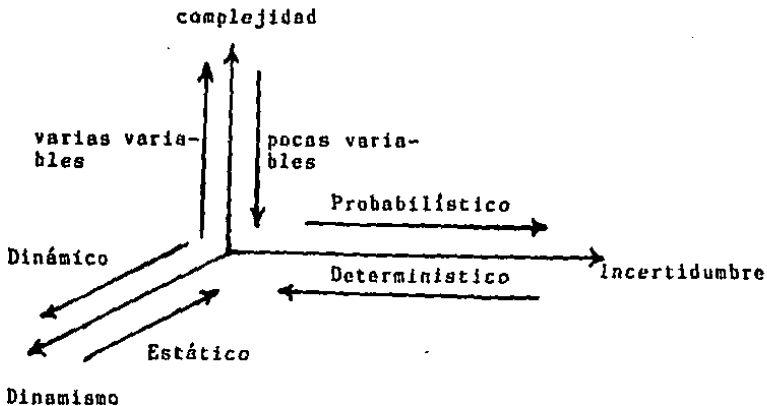
Es decir, que a cada una de las situaciones del problema que se presenten, que rama de las matemáticas corresponderían para poder construir un modelo matemático.

Dentro de la descripción de cada situación del problema se tienen en cuenta las siguientes características:

- El número de variables, lo cual nos dice que sea simple ó complejo un determinado problema.

- El dinamismo, la evolución o modificación del problema en el tiempo.

- La incertidumbre inherente a las variables del problema.



Gráfica No. 6. Componentes de la Situación de un Problema.

Al realizar un pequeño análisis sobre estas variables podemos deducir lo siguiente:

Tenemos el punto de origen en donde los problemas de esta situación, son estáticos, determinísticos y con pocas variables. Sin embargo, al alejarse la situación del problema sobre la línea de la complejidad tenemos que se presenta un problema estático, determinístico y con varias variables, o sea que aquí ya se complica un poco más su determinación y manipulación.

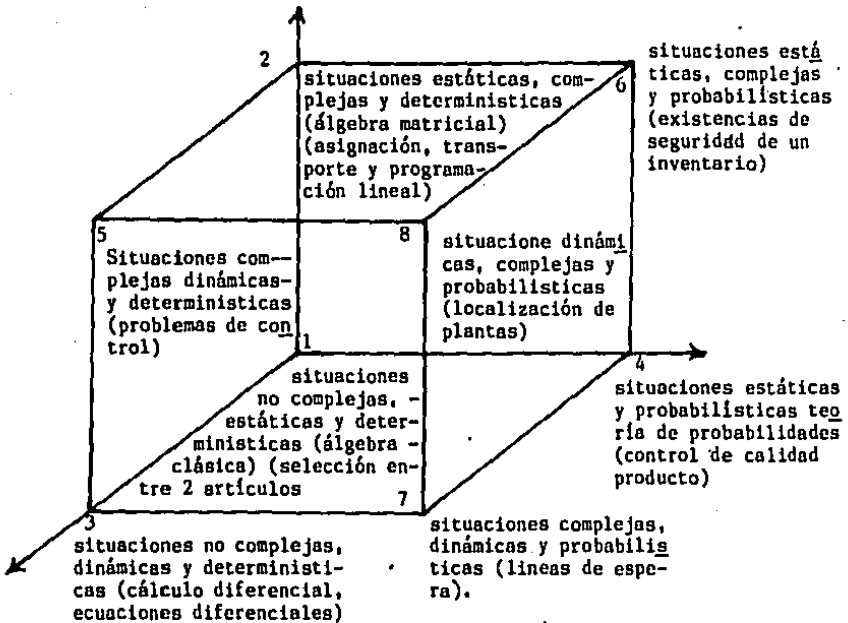
De igual modo, sobre el eje de incertidumbre, cada vez que se aleje tendremos problemas estáticos, de pocas variables y probabilísticos, asimismo, sobre el eje del dinamismo.

Teniendo en cuenta el comportamiento de las variables, de la situación de los problemas en particular y del sistema de ejes anterior, podemos construir un cubo cuya disposición nos permite determinar en una forma más precisa y clara la importancia de cada una de las ramas de las matemáticas que se deben utilizar en la toma de decisiones y construcción de modelos para problemas administrativos. (ver gráfica No. 7)

Analizando cada uno de los vértices, determinamos lo siguiente:

Vértice No. 1: Corresponde a problemas determinísticos, estáticos y con una ó dos variables. Aquí caen los problemas que se resuelven mediante la utilización de álgebra clásica, como por ejemplo, la resolución de un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, en administración podría ser la selección entre dos artículos cuyo precio de compra se conoce.

Vértice No. 2: Corresponde a problemas, estáticos, determinísticos y con más de dos variables, caen aquí los problemas



Gráfica No. 7. Las Ramas de las Matemáticas y los Problemas Financiero-Administrativos.

que se pueden solucionar mediante el empleo del álgebra matricial, la cual nos permite trabajar con sistemas de  $n$  ecuaciones con  $n$  incógnitas y en donde  $n$  puede ser grande.

En administración son los problemas de asignación de transporte y de programación lineal para resolver las situaciones de decidir la mezcla de varios productos para fabricar uno solo con determinadas características; otro podría ser la minimización de costos como resultado del transporte de un determinado artículo entre los puntos de fábrica y los puntos de venta.

Vértice No. 3: Corresponde a problemas de pocas variables, dinámicos y determinísticos, o sea son problemas que se modifican en el tiempo.

La rama que cae en este vértice es el cálculo diferencial, debido a su estrecha relación que tiene con la noción de velocidad.

También las ecuaciones diferenciales se colocan aquí.

En administración, corresponden los problemas de decidir entre comprar o vender un edificio, analizando las dos alternativas y efectos a través del tiempo, también el comportamiento de un interés continuamente capitalizable.

Vértice No. 4: Corresponden aquellas situaciones de pocas variables, estáticos pero probabilísticos, o sea los problemas que se resuelven por medio de la teoría de probabilidades.

En administración correspondería al control de calidad en la elaboración de un producto.

Tal y como se ha descrito aquí, se puede observar que en cada uno de los anteriores problemas sólo crece una de las componentes, mientras que las otras dos permanecen en el origen.

Vértice No. 5: Corresponde a problemas de más de dos variables, dinámicos y determinísticos. Básicamente son los problemas de control.

En administración, corresponde el control sobre la elaboración de varios productos en función del tiempo.

Vértice No. 6: Corresponde a problemas con más de dos variables, probabilísticos y estáticos. Se pueden considerar ciertos problemas de inventarios, como por ejemplo, como determinar la existencia de seguridad para un artículo ó bien en ciertos problemas de distribución conjunta.

Vértice No. 7: Corresponde a problemas de pocas variables, probabilísticos y dinámicos, caen aquí las líneas de espera.

En administración se puede pensar en la determinación del número de casetas de cobro en una autopista ó el número de cajas en un supermercado.

Como podemos apreciar en los vértices 5, 6 y 7, crecen dos componentes y sólo permanece constante una.

Vértice No. 8: Aquí se presentan los tres componentes de un problema, complejos, dinámicos e incertidumbre, aquí caen la mayoría de los problemas que se presentan en administración.

Administrativamente, corresponden aquellos problemas como localización de una planta, ó la selección de cartera.

En esta esquematización, podemos determinar la importancia y la utilización de cada una de las ramas de las matemáticas, según el problema sea complejo, dinámico o probabilístico.

Realmente, todos los problemas hacen intervenir las tres variables, claro está que unas en mayor proporción que otras, de ahí la importancia de saber determinar en un momento dado aquellas que tienen poca o relativa importancia, con el fin de eliminarlas y simplificar el planteamiento y la solución del mismo.

Por último, el análisis de cada uno de los componentes nos permite determinar la importancia del álgebra clásica, el álgebra matricial, el cálculo diferencial, la teoría de probabilidades, como herramientas para la solución de problemas administrativos y en la construcción de modelos matemáticos, como guías para la toma de decisiones.

#### III.4 Aspectos importantes que se deben tener en cuenta para la construcción de modelos matemáticos.

En la construcción de modelos matemáticos y de modelos en general, existe una serie de factores ó aspectos importantes que se deben tener muy presentes a la hora de su elaboración. Estos factores pueden en un momento dado ocasionar ciertas deformaciones ó malas interpretaciones de los modelos o de las situaciones problemas que se estén modelando. De ahí la importancia que reflejan estos aspectos que a continuación detallamos, aunque de una manera muy superficial.

Durante el transcurso del presente estudio se ha venido recalcando que los elementos que conforman tanto la función objetivo como las variables operativas están consideradas fundamentales dentro de la estructura operativa de un modelo matemático. Su importancia radica en que deben estar definidas en una forma clara y precisa, así como de su interacción entre ellas y en donde debe ponerse atento cuidado de que guarden relaciones establecidas correctamente, que su estructura guarde una verdadera analogía con el planteamiento del problema original, para que los resultados que se obtengan sean de verdadera utilidad para quienes tienen la responsabilidad de tomar acciones correctivas o emprendedoras a futuro.

Algunos de los factores a tenerse en cuenta son:

Analogía: Esta situación hace referencia básicamente a



que las variables que conforman la estructura primaria del modelo guarden una correcta relación entre sí y que sean análogas a las relaciones que guardan las variables que conforman la situación original del problema, que dicha representación y en nuestro caso abstracción, ésta sea en lo posible muy aproximada a la realidad, de ahí el término analogía. Decimos estructura primaria cuando hablamos del modelo, por cuanto estos están sujetos a continuos cambios con el transcurso del tiempo y que más adelante recalcaremos su importancia bajo el rubro de dinamismo.

**Consistencia:** Esta figura, si así se puede llamar, se presenta cuando se lleva a cabo el reemplazo de cada uno de los elementos relevantes de la situación original, por otros elementos en forma simbólica ó matemática, por medio de la estructura del modelo. Además, y es en donde se presenta este principio, que cada elemento del modelo represente a uno y sólo uno de la situación bajo estudio desde el principio hasta el final del proceso, pues de lo contrario nos podría causar grandes problemas principalmente en tiempo y en costos.

**Generalidad:** Partimos del principio de que un modelo entre más abstracto sea, es más general su utilización en la resolución de problemas. Mediante la abstracción de la realidad estamos ganando generalidad en la aplicación potencial de los modelos, pues al contrario de los modelos directos o físicos que se construyen únicamente para representar la situación real tal y como se presenta en cuanto a sus propiedades, los simbólicos o matemáticos tienen por su misma abstracción cada vez mayor aplicabilidad o generalización, máxime cuando se trata de problemas cuya estructura en el sistema es fácilmente detectable, o sea clara y precisa.

**Dinamismo:** Resulta lógico suponer que tanto las operaciones

la estructura del sistema y el desenvolvimiento general de la organización evolucionan y tienen que ajustarse a los continuos cambios que sufren a través del tiempo, aunado a esto los posibles cambios del personal administrativo de una entidad, con lo cual pueden cambiar tanto las condiciones del juego como los objetivos particulares por áreas, redundando en un cambio de los objetivos generales de la institución, del sistema imperante y por ende la construcción o la situación que se está modelando, por cuanto la determinación del modelo y su aplicación dependen del sistema bajo estudio y de los objetivos que se persiguen.

Por lo tanto resulta muy claro el cuidado que se debe tener en la actualización y modificación de los modelos, principalmente cuando se trata de objetivos a largo plazo, para esto se tiene que tener en cuenta un efectivo acceso a la nueva información, a las nuevas evidencias y al conocimiento actualizado del medio.

Muchas veces cuando se cometen estos errores, se suele estar modelando situaciones problemas que ya no existen.

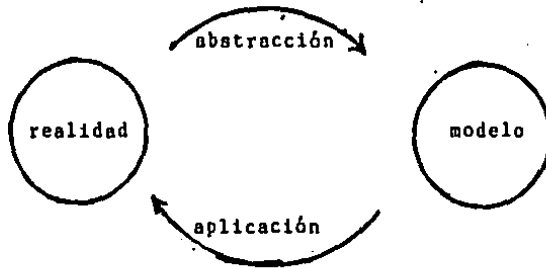
Resumiendo, tenemos en la actualidad una situación muy cambiante en donde pocas veces se repiten las cosas. "no nos bañamos dos veces en el mismo río", (Heráclito).

Abstracción: La abstracción de la realidad es uno de los grandes problemas a que se enfrentan quienes construyen modelos matemáticos, por cuanto prácticamente se carece de muchos detalles que describen la situación original en estudio. Cada vez, este tipo de modelos se aleja más de la realidad, se necesita mucha capacidad mental cada vez mayor, mucha pericia y experiencia para poder llevar a cabo esta labor. Este tipo de modelos representa únicamente elementos aislados

del fenómeno.

Dicha abstracción representa la dificultad para poder distinguir los elementos o variables relevantes y sus relaciones en la construcción de modelos matemáticos, aspecto éste, considerado de mucha importancia al momento de representar simbólicamente un sistema determinado.

De lo anterior y teniendo en cuenta la definición de modelo, presentamos la siguiente gráfica como ejemplo para resolver un problema real, la utilización de la solución abstracta para resolver el problema real o por lo menos como guía para resolverlo y es a esta solución abstracta lo que se llama aplicación del modelo.



Gráfica No. 8. Aplicación de un Modelo

### III.5 Posibles soluciones a partir de la construcción de un modelo

La utilización de la Investigación de Operaciones y más concretamente la construcción de modelos y su utilización, principalmente están encaminados a representar situaciones problemáticas en el buen desempeño, tanto de las organizaciones empresariales como de quienes tienen bajo su responsabilidad la toma de decisiones, la selección de los posibles cursos

de acción, tendientes a mantener ó mejorar el estado actual de sus sistemas. Es por todo esto que se destaca la importancia de una correcta implantación y prueba de los modelos matemáticos que nos brindarán posibles soluciones en pró de alcanzar el bienestar y estabilidad empresarial.

Por consiguiente, la función del empleo de modelos matemáticos no termina en la formulación de la función objetivo y de las variables respectivas, función ésta muy importante en la construcción de un modelo, sino que se busca es obtener un resultado, una posible solución que realmente represente la utilidad del empleo de los modelos en términos de maximización o de aproximaciones a la realidad planteada previamente y que a su vez se traduzcan en soluciones factibles para la toma de decisiones. Es decir, se emplea modelos para buscar soluciones de problemas reales, determinando la solución óptima o aproximada del modelo respectivo para luego aplicar esta solución resultante al problema ó fenómeno real que esté bajo estudio. Cabe destacar y es algo sumamente importante, que no todas las soluciones que nos proporcionen los modelos son las más corretas, o sea, puede ser la mejor en el modelo pero puede no serlo en la realidad, cabe recordar que se trata de aproximaciones basadas en abstracciones de algo real y que por esto no es definitivo ni el más correcto. Aquí es recomendable retroalimentar y probar varias veces el desempeño del modelo hasta encontrar la más cercana a la situación original.

Volviendo al aspecto de que un modelo es una abstracción o idealización de un problema real, es conveniente estar consciente de que la solución que nos brinda debe ser aproximación que satisfaga el objetivo del estudio y que no se espere que sea la solución única del problema. Por lo tanto es indispensable que se formule lo más correctamente posible y se pruebe

cuantas veces sea necesario a fin de alcanzar alternativas que sirvan de verdadera guía para la toma del curso de acción que más se asemeje al problema real.

Resumiendo tenemos que, no es de esperar que el uso de modelos matemáticos nos brinden soluciones óptimas, sino que nos proporcionen respuestas o resultados satisfactorios que sirvan de guía para una correcta toma de decisiones, respuestas éstas encontradas como resultantes de continuos ciclos o sucesiones de soluciones posibles hasta encontrar la más próxima al objetivo del problema.

Más adelante, se verán en los capítulos V y VI concretamente, algunas posibles soluciones, mediante la utilización de técnicas matemáticas, debidamente ejemplificadas.

Un aspecto que debe ir estrechamente ligado a la obtención de soluciones de un problema, consiste en la prueba de las mismas.

### III.6 Validez del modelo y de sus posibles soluciones

Inicialmente diremos que para determinar la validez tanto de un modelo como de sus posibles soluciones, es necesario probar repetidas veces, todas las que sean necesarias, tanto la estructura del modelo como las respuestas que nos proporcione éste, hasta encontrar la que sea más representativa del problema.

Existen varios enfoques, para llevar a cabo la prueba y validez de estos dos aspectos, a los cuales nos referiremos a continuación, aunque sin entrar en detalle:

Uno de los métodos utilizados para la prueba de un modelo

matemático y de las soluciones que proporciona, consiste en la utilización de datos históricos. Se formula el modelo, se le alimenta con dichos datos pasados, se desarrolla el modelo y se obtienen respuestas las cuales se comparan con los resultados que realmente se llevaron a cabo en el normal desenvolvimiento del giro problema, determinando con esto si verdaderamente el resultado alcanzado es igual o nó, si es válido o no. Sin embargo, aquí se presenta un contratiempo y es el hecho de que el modelo ha sido alimentado con los mismos datos pasados y por lo tanto es lógico que se lleguen a iguales resultados siempre y cuando el modelo haya sido bien planteado de lo contrario el modelo dará soluciones diferentes y no será un buen predictor para el futuro y es por esto que muchos utilizan datos actuales para verificar la validez.

Un aspecto positivo que nos puede generar la utilización retrospectiva de datos, es el hecho de detectar posibles errores en la construcción y utilización del modelo al no coincidir los resultados. Por otro lado éste método presenta el inconveniente del costo y del tiempo, máxime cuando se trata de solucionar problemas con cierta urgencia, y es aquí donde surge un segundo aspecto para probar el modelo y las soluciones

Este segundo aspecto, consiste en determinar si, tanto el modelo como las respuestas cumplen ó no con las necesidades de quien tiene que tomar decisiones basadas en su utilización. Se recomienda el suministro de posibles soluciones tan pronto como sea posible a la persona que lleve a cabo esta función administrativa. Estos modelos deben ser susceptibles de continuos cambios consecuencia de la nueva información y que a su vez reduzca los costos de adaptación de los nuevos datos, haciendo que el usuario de los resultados esté al tanto de las nuevas evidencias y despertando en él un mayor grado de

interés y de actualización de los modelos.

La descripción de un tercer aspecto es como sigue: tratar de asegurarse lo más posible de que el modelo represente verdaderamente el problema real, examinado y reexaminando los supuestos básicos sobre los cuales se construyó el modelo y examinando varias veces la estructura del mismo en cuanto a sus variables que lo conforman y sus relaciones entre ellas teniendo en cuenta su analogía, simetría y su dimensionalidad en unidades recíprocas correctas, que correspondan unas con otras. O sea que las ecuaciones matemáticas sean medidas en unidades de un mismo sistema.

Este examen o prueba de los modelos y de soluciones debe realizarse, como ya se dijo, continuamente, a fin de actualizarlos y que al final de su aplicación no representen situaciones diferentes ó deformaciones considerables de la realidad, esto ayuda a detectar errores y a tomar mejores decisiones.

Una vez que estas pruebas periódicas terminan y se tiene el modelo completo, se debe probar como un todo, o sea en forma conjunta y completa, si esta prueba presenta fallas muy considerables se deben tratar de corregir sus anomalías lo más pronto posible.

Estas fallas principalmente se presentan, tal como lo enuncia Ackoff y Sasieni\* por las siguientes causas:

- La inclusión de variables irrelevantes que distorsionan los resultados.
- La exclusión de variables relevantes.

\* ACKOFF y SASIENI; Fundamentos de Investigación de Operaciones

- La evaluación incorrecta de una ó varias variables relevantes.
- La estructura del modelo puede ser errónea (relación de variables)

Por otro lado se puede probar directamente la validez del modelo por medio de la comparación de los resultados arrojados por éste, contra los realmente alcanzados por el sistema, llamada "prueba ácida".

El criterio apropiado para determinar la validez de un modelo y su respuesta, consiste en verificar si predice ó no los efectos producidos por los diferentes cursos de acción, con la suficiente exactitud que sirva de verdadera guía y soporte para la toma de una decisión.

### III.7 Establecimiento de controles

El establecimiento de controles, es el paso obligado a seguir en la construcción y utilización de soluciones a partir de los modelos. Esto es que, una vez que se construye el modelo respectivo, se obtiene de éste una posible solución que resulta la más próxima a la realidad, se deben implantar una serie de controles con el fin de que estos dos factores sigan siendo válidos y utilizados por quienes toman decisiones.

Estos controles son necesarios en vista de que tanto el sistema de la empresa como los modelos que representan dicho sistema están expuestos continuamente a cambios que en un momento dado pueden ser significativos hasta el punto de invalidar en un momento dado los modelos que se utilicen. Los sistemas, las operaciones internas, los administradores, las experiencias y el medio ambiente propio de una empresa son



muy modificables o dinámicos, de ahí su constante actualización mediante la utilización de controles.

Sabemos también que las condiciones bajo las cuales operan los cursos de acción empresariales son tan cambiantes debido a la influencia exógena, que a su vez originan cambios en los modelos y sus posibles soluciones, esto crea la necesidad de implantar ciertos controles, maxime cuando el modelo se utiliza por ocasiones repetidas, puede presentarse la existencia de nuevas evidencias, de nuevas políticas y decisiones sobre objetivos, etc., información ésta que debe tenerse muy presente en el momento de alimentar el modelo, pues de lo contrario obtendríamos resultados muy diferentes a los objetivos que se persiguen.

En consecuencia de todo lo anterior, se deben establecer ciertos tipos de límites o parámetros de la información que se vaya a introducir al modelo, o sea los parámetros o condiciones que en un momento dado pueden cambiar de tal forma que afecten el normal desarrollo del modelo y la toma de la solución para su ejecución.

Más concretamente se refieren a establecer límites permisibles a los datos de entrada al modelo que puedan estar sujetos a cambios, como por ejemplo, la situación de una empresa en el mercado, la cual depende de la oferta y la demanda de bienes o servicios, esto es muy cambiante y por lo tanto se deben estimar los posibles valores que se puedan presentar de acuerdo al comportamiento del mercado, para de ahí poder determinar los cambios o diferencias de las soluciones nuevas a tenerse en cuenta.

Referente al control de las soluciones obtenidas, se presenta el hecho de que dichas soluciones resulten incontrolables

o defectuosas, así se haya controlado el sistema de la empresa que como ya sabemos está sujeto a continuos cambios, pero aún así una solución nos puede, en cualquier momento resultar incontrolable, debido a que el método que se utilice para su ejecución sea defectuoso. Por ejemplo, cuando se tiene una determinada cantidad de existencias en inventario de un artículo destinado para la venta, y resulta que al momento de tomar una decisión sobre las existencias que se supone están previamente determinadas, se encuentra que dichas existencias al contrario de ir disminuyendo como consecuencia del aprovisionamiento a clientes, se ven aumentadas por encima del stock permisible de existencias, o sea no hay control del número de artículos que debe permanecer en inventarios. Esto significa que aunque se ha determinado el sistema que debe operar normalmente, la implantación de dicha operación y su sistema de ejecución es errónea y origina la presencia de una solución incontrolable mientras no se tomen las medidas correctivas.

El resumen tenemos un sistema de inventario controlado y predeterminado, se implanta ó ejecuta mal y se obtiene una solución incontrolable y una situación crítica para la empresa.

Un aspecto muy importante, es el hecho de que el personal encargado de controlar las soluciones, su implantación y el control de los modelos sea una persona o personas capacitadas para tal fin, que conozcan el desempeño a fin de que no se vayan a tomar erróneamente o vayan a abandonarlo. Asimismo, deben mantenerse al tanto a los encargados de la toma de decisiones dentro de la empresa, de los procedimientos ó técnicas que se utilicen para mantener una constante verificación y control tanto de las soluciones, de su implantación como de los modelos, que generalmente éstas técnicas son de tipo estadístico.

Cabe destacar que las principales técnicas estadísticas para determinar el control de las variables en un modelo, la implantación de un sistema que esta controlado y el control de las soluciones son: el análisis de correlación y regresión y el análisis de varianza y covarianza. Tal y como se mencionó en el capítulo sobre Investigación de Operaciones, del presente trabajo, el equipo debe cumplir con el principio de interdisciplinariedad, esto es que se encuentren dentro de él profesionales con suficientes conocimientos en técnicas estadísticas ó comunmente llamados estadísticos, con el fin de que ayuden a determinar este tipo de controles mediante el uso de las mencionadas técnicas anteriores y que según Ezequiel y Fox", y "Cochram y Cox", nos pueden proporcionar las principales diferencias, capacidades y limitaciones existentes entre estas cuatro técnicas estadísticas.

### III.8 Utilización de las soluciones

La utilización de las diferentes soluciones a partir de la construcción de modelos y de las soluciones obtenidas de éste, no es más que la puesta en marcha ó ejecución de los resultados alcanzados en este estudio de situaciones problema.

Esta ejecución de la solución, básicamente consiste en poner en práctica la solución final y es aquí donde se determinan los resultados y la conveniencia en la utilización de los modelos.

En la ejecución ó puesta en marcha de la solución final, es de suma importancia, el hecho de que participen tanto los administradores, gerentes y todos aquellos que de una u otra forma se vean afectados por la implantación de los modelos y de sus soluciones.

La ejecución de las soluciones, debe estar apoyada por

la participación directa de los gerentes y administradores en la evaluación final, y de la puesta en marcha a fin de incentivar a estas personas, de que conozcan el desempeño y funcionamiento de los modelos, sistemas traducidos en modelos y soluciones. Su correcta ejecución, pues, debe ser apoyada por estos niveles de la organización, quienes recibirán del equipo de investigación una explicación detallada y el plan de la solución que deba ponerse en práctica y de sus relaciones o identidades con la realidad.

El equipo que desarrolle esta actividad de investigación, debe estar presente al momento de ponerse en marcha la solución, con el propósito de verificar que se ejecute bajo las mismas condiciones que se encontraron ó con el propósito de poder corregir posibles errores ó contratiempos que suelen surgir al momento de iniciarse el proyecto. Debe asegurarse también, de que el personal encargado para seguir con el manejo de estos resultados haya sido previamente capacitado y entrenado para tal fin, con el objeto de que no se interpreten mal las operaciones y se vayan a invalidar las soluciones adoptadas.

Por lo tanto, los posibles cambios que se puedan presentar, no deben ser realizados por personal que no haya sido participante activo del estudio, por cuanto, como ya se mencionó la ejecución o utilización de la solución es tal vez la mejor y única prueba de validez de una solución.

Por último, los resultados alcanzados a partir de la solución, deben compararse con los resultados esperados, para proceder a determinar y ajustar las diferencias encontradas ó a determinar el éxito de la ejecución de las soluciones y de la utilización de estos modelos.

### III.9 Principales ventajas en la utilización de los modelos matemáticos

De los múltiples usos que presentan los modelos matemáticos en la solución de situaciones problema dentro de las organizaciones y en pró de servir de apoyo, presentan entre otras las siguientes:

- Mediante la utilización de modelos matemáticos, podemos realizar un mejor análisis y una mejor operación de un sistema en particular, o de una parte integrante de éste, que en un momento dado se encuentre con deficiencias, todo ésto es posible de ser realizado mediante la manipulación y ensayos.
- Por medio de la construcción y utilización de modelos, podemos ensayar una variada cantidad de alternativas, sin tener que interrumpir el sistema real que esté operando en ese momento.
- El uso de éste tipo de modelos, nos facilita la descripción de un sistema ó de una situación problema en particular, permitiéndonos el esclarecimiento de qué variables son las más relevantes y sus relaciones respectivas, así como también la calidad y clase de datos que se requieren para poder adelantar el estudio.
- Otra ventaja, es el hecho de que trabaja con variables controlables, aunque el mayor problema está en las incontrolables, pero contar con este tipo de variables ya es una ventaja.
- Cuando un modelo ha sido bien formulado y probado, nos permite obtener posibles soluciones que se asemejen ó aproximen mucho al problema real.

- Tienen la ventaja de poderse probar, cuantas veces sean necesarias, con el propósito de evitar la toma de decisiones y soluciones erróneamente, esta facilidad hace referencia básicamente al costo.
- Otra ventaja, consiste en la facilidad para llevar a cabo una continua actualización y revisión tanto del modelo como del sistema consecuencia de los permanentes cambios a que están expuestos. Esto se da gracias a la facilidad de manipulación de los modelos. Esta actualización se lleva a cabo mediante el establecimiento de controles.
- Nos permiten llevar a cabo continuos ajustes que se detecten como resultado de la comparación entre las soluciones que presente el modelo y los resultados reales alcanzados. Esta actividad se debe realizar siempre a fin de que el modelo siga siendo válido y útil.
- Facilitan una mejor comprensión de la estructura de un sistema problema en forma integral o global, como también de un problema en especial determinando más fácilmente las principales relaciones de causa-efecto.
- Otro aspecto que se puede considerar como ventaja, es el hecho de que los modelos matemáticos constituyen el punto de unión entre las matemáticas, el uso de la computadora y de otras técnicas o profesiones (como el caso de los estadísticos), dentro del análisis de estudio que se realiza.
- Constituyen una eficiente guía y proporcionan cursos de acción verdaderamente útiles en la determinación e implantación de una solución y en la toma de decisiones, que cualquier otro medio ó proceso.

- Permiten la obtención de soluciones sucesivas, por medio de la retroalimentación permanente, con el propósito de encontrar la solución final más próxima a la realidad.
- Por medio de los modelos matemáticos, es obvia la toma de soluciones por intuición, debido a que proporcionan soluciones que al momento de tomarlas ya está previamente probada su validez dando como resultado una gran precisión.
- Otra ventaja existente, es el hecho que podemos detectar los posibles errores que se puedan cometer, se pueden detectar antes de la implantación, antes de la respectiva decisión que se vaya a tomar, por medio de la utilización de datos históricos que probarán la eficacia del modelo.
- Las soluciones que se obtienen a partir de los modelos, se pueden también probar prospectivamente, o sea contra un desempeño futuro, mediante el uso de parámetros relativamente pequeños y que más adelante se pueden introducir en el sistema real.
- La utilización de este tipo de modelos resulta mucho más económico que cualquier otro tipo de modelos.
- Estos modelos matemáticos ó simbólicos, conllevan el principio de generalización ya que un modelo entre más abstracto sea, se pueden utilizar en un mayor número de situaciones problema.
- Mediante la facilidad en la manipulación de los modelos, podemos probar las variables que los conforman mucho más rápido y poder presentar las soluciones oportunamente a los encargados de tomar decisiones. Esta ventaja tiene relación en cuanto a ahorro de tiempo y por consiguiente

de costo; la rapidez con que se elabora es mucho mayor comparada con los modelos icónicos ó analógicos, por ejemplo.

Resumiendo tenemos que, las principales ventajas que se tienen mediante el uso de modelos matemáticos, en sentido general son: constituyen una verdadera guía de lo que se debe hacer y actuar, así como también la selección de una mejor alternativa; facilitan un mejor criterio del mejor curso de acción que se deba ejecutar; proporcionan un mayor conocimiento sobre el comportamiento de un sistema ó de un problema en particular y poder hacer mejoras; son los más fáciles de manipular y obtener resultados más precisos que mediante el uso de otro tipo de técnicas ó modelos. Estas entre otras, son las principales ventajas que nos brinda el uso de estos modelos como apoyo para la toma de decisiones administrativo financieras.

### III.10 Principales desventajas en la utilización de modelos matemáticos.

Entre las que más destacan están:

- Dentro de la estructura de operación de los modelos encontramos la presencia de cierto tipo de variables consideradas como incontrolables por parte de quien tiene bajo su responsabilidad la toma de decisiones.
- Estos modelos por ser una abstracción de la realidad que se estudia, se está siempre sujeto a la presencia de errores, los cuales tienen que hacerse cada vez más pequeños.
- La complejidad matemática, hace muchas veces imposible la obtención de soluciones ó respuestas óptimas.



- Muchas veces una respuesta óptima del modelo no lo es para el problema real, por cuanto dichas soluciones son resultado de representaciones abstractas de la situación original, ocasionando problemas y malas interpretaciones.
- Partiendo de que el modelo es una representación ó abstracción de la realidad, tenemos la presencia de aproximaciones y suposiciones simplificadoras, lo cual en un momento dado puede ocasionar distorsiones con la realidad que se modela.
- Cuando se presentan situaciones con algún grado de complejidad y cuando no se tiene un completo acceso a la información se puede caer en el error de dejar por fuera algunas variables significativas o algunos datos verdaderos, en perjuicio de poder realizar una interpretación correcta de la situación, es decir, el modelo no completaría su estructura formal, como consecuencia de una mala comunicación dentro de la organización.
- Por lo general cuando no existe una adecuada disponibilidad de los datos necesarios para resolver algún tipo de problemas ó la falta de calidad de los mismos; ocasiona que el modelo sea aplicable a una situación determinada, pero no lo sea en otras.
- Cuando existe la mencionada complejidad ó incertidumbre de los posibles resultados, se requiere cada vez más de un esfuerzo mental mayor, tanto para la construcción, manipulación y aplicación de una solución.
- Se requiere un previo entrenamiento ó capacitación del personal que seguirá operando los modelos e implantando las soluciones, una vez que el equipo que construyó los modelos inicialmente termine su labor. Este requerimiento

es a consecuencia de la misma abstracción.

- En modelos bastante complejos puede en un momento dado que sea difícil incorporar todos los elementos esenciales del problema y que el número de cálculos que se tengan que realizar sea muy grande y por ende se emplee mucho tiempo, aún con la ayuda de la computadora y que posteriormente se tenga que construir nuevos modelos que se aproximen más a la realidad, redundando en mayores costos para la entidad.
  
- Una de las desventajas más usuales y que deben tratar de evitarse, consiste en la obtención de soluciones sub-óptimas ó totalmente erradas, como consecuencia de la dificultad para poder determinar claramente las variables relevantes y sus relaciones respectivas y proceder a conformar la estructura del modelo. Esto en perjuicio de la toma de decisiones.

Las anteriores desventajas se han determinado con base en el estudio anterior sobre modelos, son desventajas en forma general, las cuales posiblemente se verán aumentadas en número cuando se apliquen los modelos en los casos prácticos, que abarcaremos más adelante.

#### RESUMEN

En el presente capítulo se ha expuesto, aunque de manera general, lo que comprende la construcción de este tipo de modelos, que representan realidades de problemas mediante la simbolización por medio de ecuaciones e inecuaciones matemáticas que describen, explican y predicen el comportamiento de sistemas y que guían a quienes toman decisiones administrativo-financieras.

La estructura de los modelos matemáticos comprende elementos controlables y no controlables que conforman tanto la función objetivo como las variables y, en donde se demuestran sus relaciones e interacciones.

La selección del modelo depende de los objetivos que se persiguen y del sistema bajo estudio, al momento de plantearse un problema determinado.

Se han expuesto ocho clases de modelos matemáticos, considerados como los más importantes para poder determinar los mejores cursos de acción y qué decisiones tomar cuando se afronta problemas que distorsionan el buen funcionamiento del sistema empresarial. Dichas clasificaciones describen también el comportamiento de un sistema en particular con base en experiencias pasadas. Dichos modelos son los normativos, descriptivos y los explicativos.

La predicción y manipulación de ciertos problemas reales se simplifican y dan una mejor comprensión para quien toma decisiones y adopta un tipo determinado de soluciones, mediante la construcción de modelos abstractos, aunque se debe tener muy en cuenta la dificultad que se presenta en el proceso realidad-abstracción, ya que no existe una relación directa con los elementos de la situación original.

Existen otras clasificaciones dependiendo el tipo de problemas que se presenten en cada entidad y de sus necesidades particulares, las cuales se denominan técnicas específicas, como el caso de programación lineal, simulación, teoría de juegos, etc.

Con base en el tipo de aplicación que se necesite para cada fenómeno en concreto, se presentan otros tipos de modelos

como el caso de problemas de inventarios, transporte, manejo de efectivo, etc.

Por último dentro de las diferentes clasificaciones de los modelos matemáticos y que se utilizan con gran frecuencia en la resolución de problemas financiero-administrativos y en la toma de decisiones tendientes a resolver dichos problemas están aquellos modelos que nos indican que parte de las matemáticas se deben utilizar en cada uno de los problemas ya sean dinámicos, complejos o probabilísticos que por lo general es el tipo de fenómenos a los cuales se enfrentan los ejecutivos de hoy.

La elaboración de esta clase de modelos, conlleva el estudio y la correcta determinación de las relaciones en las variables que los conforman, las cuales deben permanecer consistentes desde el momento en que se plantea el modelo hasta que se pone en práctica, elaboración que presenta la calidad de poderse generalizar a otra serie de problemas similares una vez que se ha planteado y estructurado correctamente y que a su vez deben ser susceptibles de poderse adaptar y actualizar a los continuos cambios a que se enfrentan tanto los sistemas como las operaciones de las convulsionadas entidades latinoamericanas.

La dualidad realidad-modelo y abstracción-aplicación, es de mucha importancia y que debe tenerse muy en claro al momento de representar simbólicamente un sistema determinado, en donde se presentan algunas dificultades en la determinación de variables relevantes y sus relaciones que conllevan.

Los modelos matemáticos, nos proporcionan la búsqueda de soluciones óptimas cercanas a la realidad basadas en abstracciones, que más que soluciones óptimas sean satisfactoras al objetivo de estudio. Estas soluciones deben repetirse

cuantas veces sean necesarias a fin de encontrar aquellas que sean más cercanas a la realidad y poder determinar con esto el sistema de retroalimentación y de su respectiva validez tanto del modelo a operar como de las soluciones posibles a aplicar, las cuales se tratarán de mantener mediante la implantación de adecuados controles. De los controles que aquí se destacan, está la implantación de ciertos límites y parámetros en la información de entrada al modelo que de no hacerse así podrían distorsionar la selección de la solución para su ejecución.

La conveniencia en la utilización de los modelos y de la determinación de los resultados alcanzados, no es otra cosa que la puesta en marcha de la solución final a que se ha llegado después de probar varias veces su validez, este no es más que la utilización de las posibles soluciones más cercanas a la realidad.

Por último tenemos las principales ventajas que justifican la implantación y utilización de los modelos matemáticos, en pró de servir de apoyo y de guía a la toma de decisiones y resolución de problemas.

#### CAPITULO IV MODELOS MATEMATICOS FINANCIEROS

El estudio y el manejo de las finanzas, cada vez están cambiando y han avanzado positivamente, con gran rapidez a través del tiempo. La importante posición que hasta hace algún tiempo mantenían, el tipo de valores, los medios que se utilizaban para la consecución de fondos de financiamiento y los métodos que desarrollaban las organizaciones para poder operar cómodamente, se han visto últimamente relegados a un segundo plano debido a la presencia y a la puesta en práctica de ciertas técnicas matemático-financieras que conllevan un mayor logro en cuanto a optimización de las diferentes inversiones que se llevan a cabo, así como el mayor éxito plasmado en las decisiones financieras que cada día se toman, máxime que las entidades viven en condiciones de incertidumbre total.

Los modelos matemático-financieros, nos representan simbólicamente las relaciones funcionales que se presentan y manipulan entre las múltiples variables financieras que una estructura organizacional pueda tener dentro de las empresas del sector privado, y en donde se destaca la habilidad del ejecutivo para seleccionarlas y estructurarlas adecuadamente y que le sirvan de guía para la respectiva modelación, modelación que a su vez le servirá de apoyo para una acertada toma de decisiones encaminadas al logro de objetivos comunes.

Cabe destacar la importancia que está alcanzando la modelación financiera dentro de las organizaciones grandes y medianas, por cuanto ya consideran las ventajas que se obtienen mediante su utilización.

En el presente estudio, la modelación financiera se limitará exclusivamente a las técnicas de simulación y teoría de juegos, debido a que aplicarla en todas las técnicas existentes sería trabajo talvés de varios años.

#### VI.1 Que debemos entender por modelos matemático - financieros

Un modelo matemático-financiero, es una representación simbólica de los factores o aspectos financieros de una entidad u organización en general.

A manera de ejemplo podemos decir que, todos los cuadros resumen de operaciones cuantitativas, son ejemplos típicos matemático-financieros, como es el caso de un estado de resultados, el estado de situación financiera de la empresa, los presupuestos, el estado de cambios en la posición financiera un flujo de efectivo, etc., son representaciones simbólicas de las actividades físicas que desarrolla la empresa en un período determinado.

Antes de entrar en detalle de esta clase de modelos, es necesario aclarar que siempre que se hable de modelos financieros, se estará hablando implícitamente de modelos matemático-financieros.

#### VI.2 Principales clasificaciones de los modelos financieros

Debido a la gran variedad de las empresas, de sus objetivos particulares, del giro a que se dedican y a sus necesidades exclusivas, existe una gran variedad de formas o patrones para clasificar los modelos financieros, sin embargo, en nuestro estudio nos limitaremos a las siguientes:

- Modelos financieros con base en el horizonte de tiempo.
- Modelos financieros de acuerdo a la naturaleza de sus variables.
- Modelos financieros según la metodología a seguir en la obtención y aplicación de las soluciones.
- Modelos financieros según el objetivo funcional.

#### VI.2.1 Modelos financieros con base en el horizonte de tiempo

Tal como lo indica la propia clasificación, este tipo de modelos financieros tienen que ver o se fundamentan en el período para el cual se elaboran, esto es que, pueden ser a corto, mediano y largo plazo. El inconveniente, se presenta cuando se tienen que presentar posibles resultados tendientes a la toma de decisiones por parte de quienes tienen bajo su responsabilidad dicha labor; el inconveniente, pues, se presenta concretamente cuando el administrador o gerente, independientemente de la profesión que tenga, tiene que definir sobre el período y por consiguiente el tipo de modelo que tiene que utilizar.

La diferencia principal entre estos 3 períodos de tiempo, es que, en cada uno se presenta un grado de dificultad en la formulación, construcción y prueba del modelo diferente. Dificultad que será mayor cuando se trata de modelos encaminados a la toma de decisiones a largo plazo, y será menor cuando se trate de períodos a mediano y a corto plazo.

Ahora bien, con base en los estudios que se han realizado sobre planeación y en vista de que la investigación de Operaciones y más concretamente los modelos, son puntos de apoyo



y sus técnicas son herramientas guías para la toma de decisiones, los modelos que se deben elaborar serán de acuerdo al tipo de planeación y objetivos que pretenda una empresa; por lo tanto serán:

- Modelos financieros para la planeación estratégica, cuya característica principal es el largo plazo.

- Modelos financieros para la planeación a mediano plazo, conocidos como de control.

- Modelos financieros para la planeación operativa a corto plazo.

Es necesario aclarar que la selección del período para el cual se van a elaborar modelos que proporcionen resultados básicos para la toma de decisiones, tiene mucho que ver con las necesidades de información que se presenten frente a situaciones complejas o concisas, así como también la procedencia o fuente de los datos utilizados y los requerimientos de pronósticos o hipótesis con las cuales se establecerán los alcances del modelo, de la decisión y de las soluciones.

Por ejemplo, cuando se pretende determinar las ventas diarias de un bien o servicio o determinar la cantidad de bienes que permanecen en existencia después de las ventas realizadas durante un día, semana, mes, etc. se tendrá que utilizar modelos a corto plazo, debido a que se necesita información rápida y precisa y sus datos se tomarán directamente de los registros diarios, semanales, mensuales, etc., de las operaciones que respaldan dicha información y a los modelos respectivos. Por lo tanto la fuente de información es directa y oportuna.

Cuando se trata de modelos a mediano plazo o de control, aquí tanto la construcción de los modelos, como la obtención de la información son más complejos, por cuanto ya se utilizan más variables y existen más relaciones entre ellas. Como por ejemplo están los modelos de control sobre la elaboración de varios productos en función del tiempo. Por lo tanto, se requiere otro tipo de información, varias fuentes de información, incluso algunos datos no podrán estar dentro de la empresa y la decisión respectiva que se tome será de mucha más responsabilidad y capacidad.

Siguiendo el orden inverso, por último tenemos los modelos a largo plazo, los cuales realizan una función muy importante como es la de servir de apoyo a la planeación estratégica. Este tipo de modelos requieren de información para la planeación, información utilizada para elaborar tendencias o para descubrir nuevas oportunidades, y por lo tanto requiere información del medio ambiente o del mercado en el cual participa la compañía, incluso, muchas veces invade otros mercados cuando el objetivo de la empresa es diversificar. Por consiguiente el tipo de información que se requiere es muy grande y las fuentes son muy variadas. Es un modelo muy complejo, maneja muchas variables por un lado y por otro es muy cambiante o dinámico y como se trata de pronósticos para el futuro, es muy probabilístico. Este es el tipo de problemas a que se enfrentan hoy en día todos los encargados de la dirección de una entidad financiera.

#### VI.2.2 Modelos financieros de acuerdo a la naturaleza de sus variables

En este tipo de modelos financieros deben tenerse muy presente los diferentes aspectos que generan incertidumbre en los valores que puedan asignarse a las variables que con-

forman la estructura de la realidad que se está modelando, la incertidumbre en las variables, se verá más detalladamente en el capítulo de análisis de sensibilidad en la formulación de modelos. Por lo tanto y con base en la clasificación de los modelos matemáticos y los problemas inherentes a la administración que se presentan en la gráfica No. 7, tenemos que los modelos se clasifican en:

- Modelos determinísticos
- Modelos probabilísticos

#### VI.2.2.1 Modelos determinísticos

Con base en la gráfica No. 7, sobre los componentes de la situación de un problema, tenemos que este tipo de problemas se resuelven por medio de álgebra clásica y es en donde la persona que construye el modelo supone que los valores de las variables se conocen con certeza. Como ejemplo, podemos citar la selección entre dos artículos cuyo precio se conoce concretamente.

También está el caso de la elaboración de un presupuesto, en donde la persona que lo prepara parte del supuesto de que todas las variables y sus respectivas relaciones están en forma clara y precisa, es decir supone que el valor de ventas y el de gastos por ejemplo se conocen y que no cambian en función del tiempo.

Este tipo de problemas se resuelve fácilmente y es a los cuales se les conoce como problemas que han sido resueltos por éste tipo de modelos determinísticos. Es decir que aquí no aparece la incertidumbre en la toma de decisiones ni en las variables, pero si se recomienda tener muy presente las

condiciones de incertidumbre como consecuencia de la época en que vivimos.

#### VI.2.2.2 Modelos probabilísticos

El modelo probabilístico, es aquel en el cual una o varias variables fluctúan o cambian en sus valores, existen más posibilidades, de ahí que se utilice la teoría de probabilidades para la resolución de este tipo de decisiones que se apoyan en este tipo de modelos.

Entre más variables probabilísticas se utilicen en un modelo, más compleja será la solución del problema bajo estudio, debido a que se presenta cierta dificultad en la obtención de las hipótesis que tomarán las variables.

Es conveniente realizar una clasificación previa en donde se determinen más exactamente que variables son probabilísticas y no incurrir en el error de tomar alguna variable relevante como determinística que nos cauce problemas en la obtención de la respuesta. Un aspecto muy importante para evitar esto es el análisis de sensibilidad que veremos más adelante.

El ejemplo típico de estos modelos probabilísticos, es el control de calidad de un producto que se elabora.

#### VI.2.3 Modelos financieros según la metodología a seguir en la obtención y aplicación de las soluciones

Esta clasificación se refiere básicamente a la forma como utilizarán los modelos quienes tienen que tomar decisiones y poner en práctica las soluciones que de estos se obtengan. Se podría decir que abarcan las técnicas que se deben tener

presentes para el buen desempeño de los modelos financieros y que a su vez redunde en un beneficio, no sólo para el área problema, sino para toda la organización.

Dentro de esta clasificación que se ha denominado metodología para la aplicación de soluciones, encontramos principalmente dos clases de modelos a saber:

- Modelos de optimización
- Modelos de simulación

#### VI.2.3.1 Modelos de optimización

Son aquellos que se construyen con el propósito de alcanzar objetivos en particular, dependiendo por su puesto de las limitantes o restricciones que se encuentren dentro de la estructura del sistema. Estos modelos nos proporcionan la mejor manera o la mejor respuesta tendiente a lograr las metas y los objetivos que pretende la administración.

Por lo tanto la aplicación de modelos de optimización está dirigida concretamente al logro de objetivos tales como maximizar utilidades o minimizar costos o por último a mantener la situación actual teniendo presente los continuos cambios que hoy en día viven las finanzas, y dependiendo de las funciones restricciones que limitan el logro de los anteriores objetivos, que pueden ser la falta de recursos materiales o económicos, pero de lo que se trata es de seleccionar la mejor alternativa, tomar la decisión considerada como correcta, y obtener respuestas aproximadas a la realidad que nos permiten llevar a cabo la mejor organización y distribución de los recursos escasos.

Cabe recordar que la solución o respuesta que se obtenga

del modelo, no significa, ni se debe tomar como la mejor o la única solución a los problemas del mundo real, simplemente es un apoyo, una aproximación, una abstracción de un problema real.

#### Vi.2.3.2 Modelo de simulación

Esta clase de modelos, surge como consecuencia de no poderse trabajar siempre con modelos de optimización. Esto es, que tanto la estructura, la naturaleza y en general el comportamiento de las variables no se pueden determinar claramente, es de naturaleza compleja y para poder resolver este tipo de situaciones se utiliza una técnica que se ha denominado simulación.

La simulación conlleva implícitamente una variada cantidad de suposiciones, pronósticos o hipótesis, por lo tanto su objetivo principal consiste en proporcionar a quienes tomen decisiones, varias posibles soluciones mediante la aplicación de muchos valores a las variables del modelo, presentan pues, una sucesión de soluciones como resultado de modelar diferentes situaciones con diferentes condiciones.

Por lo tanto, la simulación no proporciona una solución óptima sino una gama de posibles soluciones, soluciones estas que serán comparadas con los objetivos de maximizar o minimizar según sea el caso y en donde quien toma decisiones podrá replantear el problema y el modelo, o podrá utilizarlo como apoyo de análisis para la toma de la decisión final.

Los modelos de simulación son muy utilizados hoy en día, como consecuencia de los cambios continuos a que están sometidas las organizaciones por el dinamismo del medio ambiente.

#### VI.2.4 Modelos financieros según el objetivo funcional

En la utilización de esta clase de modelos, se parte de la modelación de una situación problema real o el problema actual que vive la organización o una determinada área de la misma.

Partiendo del modelo que representa dicha situación, se empiezan hacer pronósticos o pruebas mediante la utilización de nuevos valores que se asignan a las variables para poder determinar lo que pasaría con el modelo y las soluciones desde otro punto de vista y bajo otras condiciones.

Aquí se llevan a cabo diferentes suposiciones del comportamiento de las variables consideradas clave dentro del desempeño funcional del problema y poder observar lo que pasa con las otras variables que complementan dicho modelo, dicho de otra manera se hacen suposiciones en las variables consideradas como causales y se observan sus efectos que redundarán y afectarán los resultados a que se quieren llegar, es la típica relación causa-efecto.

En este tipo de estudio, se hace un análisis de las posibilidades tanto de las variables como de los modelos y es lo que comúnmente se conoce con el nombre de análisis de sensibilidad, esto es que tan convenientes son las situaciones que se adopten en los modelos y cuales son sus efectos.

Cuando se toma como base que, el análisis de las posibles soluciones que proporcionan los modelos, son satisfactorios para la toma de decisión, lo que debe realizarse es alimentar el modelo con valores y datos clave para el gerente y tratar de tomar un curso de acción sumamente claro que represente

las relaciones entre las variables, sobre lo que debería hacerse para alcanzar las soluciones que nos proporcionan los modelos.

En otras palabras, el encargado de tomar decisiones, toma un curso de acciones que verdaderamente refleja el comportamiento y las relaciones de las variables, curso de acción que nos dirá lo que debe hacerse para lograr las soluciones del modelo bajo estudio.

Cuando se trabaja con este tipo de modelos, se debe tener muy claro de que los modelos son representaciones simbólicas de la realidad, y que siempre se presentarán diferencias entre los resultados del modelo y de la realidad. Por lo tanto es necesario que quien decide, entienda muy bien las ventajas y las limitaciones en la utilización de un modelo, con el fin de disminuir estas diferencias y pueda tomar una mejor decisión.

En la utilización de estos modelos financieros, siempre estará presente la incertidumbre, pero que gracias a la simulación podremos determinar el efecto del empleo de varias suposiciones.

### VI.3 Principales características de un modelo financiero

Los modelos tal como hemos venido insistiendo a lo largo de estos capítulos, se construyen con el propósito de que sirvan de guía y de apoyo para la comprensión de problemas, sistemas y para la obtención de soluciones posibles que sirvan para la toma de decisiones. Si la elaboración y aplicación de los modelos ayudan a quienes toman decisiones y seleccionan alternativas convenientes, mediante el logro del entendimiento de la complejidad, el dinamismo y la incertidumbre



inherente a las variables y a una correcta toma de decisiones, se dice que un modelo y sus soluciones son válidos.

Las características que a continuación describimos son entre otras, las que deben tener en cuenta quienes trabajan con esta clase de modelos:

- **Simplicidad:** Lo que indica que al momento de plantearse y formularse un modelo financiero, deben evitarse todos aquellos datos que se consideren de poca importancia, y que de presentarse este hecho, lo único que se logra es volver el modelo más complejo de lo necesario, de ahí la importancia del análisis previo de datos y la clasificación pertinente de las variables por orden de prioridad. El modelo debe construirse de tal forma que se asemeje lo más posible a la situación en estudio.

Por otro lado el número de las variables no es significativo al momento de formularse el modelo, siempre y cuando se tenga un claro entendimiento de la problemática que encierra y se determinen en forma clara y precisa los objetivos, las variables y sus relaciones.

- **Interacción:** Esta característica nos indica que el usuario debe poder interactuar directamente con el modelo, de tal forma que se comunique, que hable el mismo idioma, que utilicen un lenguaje tan parecido como sea posible. Es decir, que el uno dé información y el modelo dé respuestas, que el usuario haga hipótesis y el modelo dé posibles soluciones, ambos encaminados al logro de objetivos comunes.

- **Flexibilidad:** Esta propiedad depende fundamentalmente de los continuos cambios que pueden y que de hecho sufren

tanto los sistemas, la información y por lo tanto los modelos. Esta flexibilidad en mención, se refiere a que los valores y datos en general que se atribuyen a las variables e hipótesis de un modelo, sean susceptibles de poderse modificar continuamente cuantas veces sean necesarias, a fin de mantener dicho modelo válido y que además proporcione un alto grado de seguridad, apoyo y confianza a quien lo utilice.

- Integridad: Esta propiedad, se refiere a que el modelo únicamente debe contener y reflejar la parte medular del problema, lo más relevante, lo esencial de la situación real. Esta propiedad viene a complementar la situación que refleja la primera propiedad.

- Expansión-contracción: Como hemos venido recalcando un modelo y su utilización dependen de las necesidades particulares de cada empresa, las cuales son muy variables en el tiempo. Por lo tanto el usuario del modelo, debe tener la suficiente capacidad y conocimiento de como realizar en un momento dado, la contracción o el ensanche en la amplitud de cobertura del modelo, con base en las situaciones dadas.

Cabe destacar que cuando se lleve a cabo una reducción en la cobertura del problema, se debe tener mucho cuidado en no ir a afectar la estructura básica ocasionando variaciones significativas en los resultados en perjuicio del uso que se les dé.

Debemos recordar también que, la elaboración de los modelos y las respuestas que estos originan, están afectados por el factor tiempo y por los recursos limitados con que se cuentan, por lo tanto se recomienda formular modelos que no sean muy sofisticados, es decir con un sinnúmero de variables y de datos que los vuelvan complejos, ya que de ser así se tendría los modelos terminados para cuando ya no se necesiten.

por lo tardado de su obtención, generando únicamente más costos de los pre-establecidos; ni muy sencillos que puedan ocasionar decisiones erradas. El factor información, o sea calidad y oportunidad de los datos, también es de mucha importancia.

Más adelante en la elaboración concreta de los modelos financieros del presente trabajo, se indicarán otras propiedades que se deben tener en cuenta al momento de su elaboración.

Resumiendo, tenemos las principales propiedades que deben contener, y tenerse muy en cuenta que se cumplan cuando intentemos la construcción de modelos financieros, ya que por medio de ellas podremos evaluar y catalogar la validez y la calidad de un modelo.

#### VI.4 Análisis de sensibilidad de los modelos de optimización, simulación, probabilísticos y determinísticos

Ante la expectativa existente hoy en día en las organizaciones debido a los continuos cambios reinantes en el comportamiento general de las finanzas y del medio ambiente en general, se hace necesario que se tenga muy en cuenta lo que se ha denominado como "análisis de sensibilidad" de los posibles valores que se utilicen dentro de un modelo financiero. Dicho análisis de sensibilidad se debe tomar como un requisito para acortar diferencias entre los posibles resultados proporcionados por el modelo y los que realmente se presenten. Debe considerarse como una etapa más en la formulación y prueba del modelo, etapa que nos indicará sobre la conveniencia o no de tomar ciertos valores y ciertos datos o variables al momento de seleccionar una solución y al momento de decidir un curso de acción a seguir.

Por consiguiente modelar no es únicamente establecer relaciones entre las variables controlables y las no controlables, sujetas a determinadas restricciones de recursos y obtener soluciones que nos determinen los valores y los resultados anticipados mediante la utilización de hipótesis o supuestos, o la determinación de la maximización o minimización de costos en nuestra función objetivo, sino, que todo esto debe ir acompañado de un análisis de sensibilidad que nos permita determinar la conveniencia o factibilidad de los cambios y de las cantidades que debemos adoptar tanto en las variables controlables, no controlables y de los posibles resultados que obtengamos con las modificaciones que se lleven a cabo.

Cabe destacar que tanto la primera parte de la formulación de modelos financieros, como el análisis de sensibilidad son muy importantes, en donde cada uno tiene sus justificaciones particulares. Se deben tomar como complemento en el éxito de la modelación.

Por consiguiente, quien formula modelos financieros no debe contentarse con la consecución de una solución, tal vez la más óptima o de una respuesta considerada por él como satisfactoria del problema que se esté estudiando, sino que, debe probar muchas veces todas las soluciones que sean posibles, con el propósito de alcanzar una mayor comprensión y entendimiento de la situación de decisión, hasta que efectivamente el proceso de retroalimentación le pueda apoyar o servir de guía en la toma de una decisión definitiva.

La comprensión y el entendimiento de las situaciones, consecuencia de lo anterior, permitirá a quien toma decisiones acortar diferencias o variaciones entre los resultados alcanzados realmente y los que resulten de la modelación.

#### VI.4.1 Los modelos de optimización y el análisis de sensibilidad respectivo

Volviendo a la estructura básica de un modelo, conformada por la ecuación objetivo y las ecuaciones matemáticas que representan las variables secuenciales del modelo, tenemos que los principales elementos que pueden examinarse mediante el análisis de sensibilidad en éste tipo de modelos son:

##### VI.4.1.1 Análisis de sensibilidad de los coeficientes que forman parte de la ecuación denominada función objetivo

En esta ecuación, los coeficientes que la conforman significan la maximización de utilidades o la minimización de costos como objetivo primordial de los modelos de optimización en términos monetarios.

Dentro de la función objetivo encontramos los coeficientes representados por valores considerados como los óptimos de una solución dada. El análisis de sensibilidad se presenta, cuando realizamos estimaciones o situaciones posibles sobre los coeficientes de la función objetivo, tomamos valores mayores o menores que los de la situación original, con el objetivo de determinar los posibles valores que pueden adoptar estas variables, se establece un rango de posibilidades. Posteriormente, analizamos el comportamiento y los efectos que estos cambios puedan originar, para luego compararlos contra los resultados iniciales y determinar la conveniencia de ciertos valores, así como también, poder asimilar mejor la interacción de las variables y del problema en general.

Mediante este análisis se puede y se utiliza para detectar

algunas variables o algunos coeficientes mucho más sensibles que otros, a los cuales se les debe dedicar particular atención en la asignación de valores parámetros. Aquí se cumple una de las propiedades que deben contener los modelos, como es el de la flexibilidad.

#### VI.1.2 Análisis de sensibilidad sobre los límites máximos o mínimos de las variables de recursos

Siguiendo con la estructura de un modelo, tenemos que éste está formado también por las ecuaciones que integran las variables operacionales. El análisis de sensibilidad en esta parte del modelo consiste en el examen de las cantidades que se tienen como límites superior o inferior que las variables pueden tomar, o sea hasta donde pueden ampliarse o reducirse los recursos con que se cuentan en la situación dada para alcanzar los objetivos.

El encargado de construir el modelo, debe tener muy en cuenta con cuantos recursos cuenta y la disponibilidad de los mismos para operar, al momento de establecer las relaciones entre variables y los límites permisibles en su utilización, para que las relaciones que se establezcan en el modelo, sean la representación de la situación real.

Posteriormente se realizan pruebas, sobre la conveniencia de aumentar o disminuir los valores que originalmente se han adoptado como recursos disponibles. Es decir, hacer variar el valor de los coeficientes que conforman las ecuaciones que reflejan las variables y valorar sus efectos sobre los resultados iniciales.

El examen y el comportamiento de estos coeficientes, se-

diante la toma de varios valores o estimaciones, permite a quien tome decisiones, entender mejor el impacto y la naturaleza de las variables que representan a los recursos disponibles que se consideran limitados o escasos.

Un ejemplo típico de esto, es que pasaría con la rentabilidad de una determinada cantidad de efectivo, si se cambiaran las condiciones o requerimientos de capital de trabajo, lógico que al cambiar los parámetros de éstas, variaría nuestra rentabilidad actual.

#### VI.1.3 Análisis de sensibilidad sobre el efecto de adicionar o eliminar una variable de recursos disponibles

Este tipo de análisis se realiza para determinar y valorar la importancia, la conveniencia y los efectos en general, ocasionados por cambios en una variable. completa, esto es que la función o ecuación objetivo se vería modificada en sus relaciones básicas que a su vez originarían cambios en el modelo original, en sus relaciones estructurales básicas de la dinámica del problema que se representa, o sea que no se modifica única y exclusivamente una variable que en un momento dado no implicaría cambios significativos en el comportamiento y desarrollo del modelo.

Por lo tanto es conveniente clasificar oportunamente, las diferentes variables del modelo por orden de prioridades, con el propósito de evitar posibles omisiones de variables importantes asimismo, por medio de este análisis de sensibilidad se puede llegar a concluir que una variable que inicialmente se consideró relevante, posteriormente determinamos que en realidad no lo es. Todo esto, origina cambios fundamentales en los modelos originales que se vuelven cada vez más

complejos y entre más complejos sean, se hace mucho más difícil la medición de los efectos de estos cambios significativos, sobre el desarrollo, alcance y resultados posibles de la función objetivo.

Cuando realizamos la adición de una variable que por error se omitió, se está volviendo, con esta adición, un modelo más complejo y por ende mucho más dispendioso y costoso el cálculo de sus efectos y resultados.

Debemos recordar que un modelo, por más grande que sea no es el mejor, la importancia radica en que se deben realizar modelos lo más sencillos posible, que verdaderamente representen la esencia del problema y que proporcione respuestas satisfactorias.

Por consiguiente, es necesario el análisis de sensibilidad sobre estos posibles cambios de variables sea cual fuere la causa que los origina, omisión o adición, por cuanto estarían modificando sustancialmente la estructura básica de variables, y sus relaciones en la función objetivo y como es lógico del modelo en general.

#### VI.1.4 Análisis de sensibilidad sobre el efecto de adicionar o eliminar una variable de decisión

En este caso como en el anterior, se presenta una modificación al modelo estructural básico original, esto es, que cuando se adiciona o elimina una variable de decisión, se modifican las relaciones entre variables, se modifica la estructura del modelo, esto no es un simple cambio de coeficiente en una variable o un simple cambio de cantidades.



Por medio de este tipo de análisis, se puede estudiar sobre la conveniencia o nó de aumentar nuevos productos o nuevos proyectos o la cancelación de los que se consideran poco benéficos para los objetivos de la organización, o sea le permite probar, le permite hacer pronósticos o simulaciones del comportamiento del modelo con hipótesis de comportamiento del mundo real mediante el aumento o disminución de variables.

Como ya mencionamos inicialmente, la adición de una variable de decisión puede originar nuevas relaciones en las variables básicas que se estén llevando a cabo, por cuanto los recursos con que cuenta la empresa se ven mucho más reducidos. Como consecuencia de esto se recomienda muchas veces no llevar a cabo estos cambios.

El adicionar o suprimir una variable de decisión, implica realizar cambios en las relaciones estructurales donde vaya a aparecer la nueva variable o la supresión de la misma en donde haya venido figurando, también implica la estimación de los valores que estos elementos puedan tomar en cada una de las ecuaciones que participan tanto en la función objetivo como en las variables a que están sometidos los recursos disponibles. El problema se agranda cuando son muy complejos los modelos, o sea que utiliza una gran cantidad de relaciones estructurales.

Resumiendo tenemos que, podemos realizar análisis de sensibilidad sobre los valores que puedan tomar las variables dentro de un modelo. También podemos analizar el rango de los posibles valores que un determinado coeficiente puede tomar, o sea aumentarlo o disminuirlo mientras siga siendo óptimo para su uso dentro de las variables conocidas como de decisión.

Por otro lado podemos determinar que los valores que toman los coeficientes de las variables nuevas correspondan con los valores que estén comprendidos en el rango que previamente se ha determinado como posibles, este rango es aquel que se habló anteriormente.

Muchas veces, cuando se realizan este tipo de cambios de variables, se presenta la desventaja de incurrir en mayores costos y en mayor tiempo de realización, por cuanto se puede incurrir en el error de querer elaborar modelos muy grandes que se asemejen lo más posible a la realidad.

#### VI.1.5 Análisis de sensibilidad sobre los coeficientes de las variables de decisión

Este análisis implica un examen sobre los coeficientes de las variables de decisión y sus relaciones con los valores máximo o mínimo que se tengan de los recursos disponibles.

Como ejemplo de esto tenemos, la posibilidad de invertir en un número de proyectos diferentes, a los cuales se les ha asignado un costo diferente para cada uno; sabiendo que el presupuesto con que cuenta la empresa es limitado, y no alcanza para elaborarlos todos, se debe realizar un análisis de sensibilidad de cada proyecto para determinar los más convenientes para la entidad, o sea seleccionar las mejores alternativas que estén comprendidas en el presupuesto de que se dispone.

Aquí el análisis se hace sobre los coeficientes que son los valores correspondientes a cada uno de los proyectos que vendrían a ser las variables de decisión que están sometidas a las relaciones respectivas, que para nuestro caso sería

el presupuesto con que se cuenta.

Para el caso de inversiones o valores financieros se analizaría la tasa de rendimiento en todas las posibilidades de llevarse a cabo para seleccionar la mejor.

De todo esto, se deduce la verdadera importancia del análisis de sensibilidad, para poder investigar y estudiar todas las posibles alternativas que estarán representadas por los cambios en los coeficientes de las variables de decisión (o controlables).

Esta técnica también puede ser utilizada para reorganizar y reubicar los recursos escasos y costosos con que cuenta una empresa en un momento dado y que no estén siendo aprovechados como se esperaba, análisis de sensibilidad para determinar la verdadera utilidad de los recursos asignados a cada labor o proyecto.

#### VI.1.6 Modelos de simulación - análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad en este tipo de modelos, es básicamente el mismo que se utiliza para los modelos de optimización. Sabemos de la gran utilidad que hoy en día tienen los modelos de simulación como apoyo a las decisiones gerenciales, sin embargo su verdadera utilidad se descubre cuando se realiza el respectivo análisis de sensibilidad de coeficientes, relaciones recursos y variables de decisión en general que componen el modelo original, utilizando hipótesis y suposiciones futuras.

Sin embargo existe una gran diferencia con los modelos de optimización, y que ha sido considerada como desventaja en su utilización, y es el hecho que, cada que se realiza

un cambio en algún coeficiente o variable, ya sea de la función objetivo o de las ecuaciones de las variables se tiene que correr todo el modelo, redundando en tiempo y en costos; es por esto que quien realiza o construye modelos de simulación, tiene que elaborar un plan donde se especifique la disponibilidad suficiente de tiempo y de dinero para su confección y prueba.

Concretamente, el análisis de sensibilidad, no es otra cosa que la evaluación de los continuos cambios que se puedan presentar en los datos y en la información requerida para una situación problema dada. Este análisis estudia los efectos que producen o que pueden influir en el resultado final.

Por medio del análisis de sensibilidad se determina la magnitud de los cambios que se realicen en los datos originales, previos a la aplicación de los datos nuevos a la solución básica final.

#### VI.1.7 Análisis de sensibilidad de los modelos determinísticos

En este tipo de modelos, considerados como los de mayor utilización dentro del campo financiero por su facilidad en la construcción y manipulación, el análisis de sensibilidad se lleva a cabo, al estudiar el impacto de los efectos producidos por los cambios que se realicen a los datos originales del modelo y a sus relaciones entre las variables que conforman la estructura medular del problema que se modela, sobre los resultados que se obtienen como consecuencia de realizar dichos ensayos.

Por lo tanto debe realizarse el mencionado análisis de sensibilidad a los factores anteriores, con el propósito de

determinar la utilidad o el beneficio que nos proporcionen los resultados alcanzados mediante este tipo de modelos, máxime que están siempre sujetos a la incertidumbre reinante en el campo de los negocios.

Por medio del análisis de sensibilidad se pueden descubrir errores entre las relaciones estructurales de las variables controlables y las no controlables del modelo respecto a la situación real o el descubrir errores en los valores que representan la disponibilidad de recursos, para con esto llegar a una correcta formulación de modelos, de pruebas y de decisiones más o menos satisfactorias de la problemática que se estudia.

#### VI.1.8 Análisis de sensibilidad de modelos probabilísticos

Los modelos probabilísticos conllevan en su elaboración la incertidumbre y el riesgo inherentes a las variables que lo conforman.

El análisis de sensibilidad sirve para detectar los cambios en las distribuciones de probabilidad que pueden adoptar las variables de la estructura del modelo, máxime cuando en la determinación y asignación de nuevos valores surge de la intuición del decisor, se hace muy útil este análisis con el propósito de reflejar las diferencias y los errores en las hipótesis y los resultados del modelo.

Esto quiere decir que, entre más probabilísticos sean los modelos, más se hacen necesarios estos tipos de análisis, por cuanto se vuelven cada vez más complejos y más costosos en la corrida respectiva. Otra propiedad que hace que la construcción final del modelo, de su prueba y del análisis

de sensibilidad sean muy complejos, es la propiedad de combinación de valores dentro de las probabilidades existentes, ocasionadas por las incertidumbre y el riesgo a que están expuestas las variables y los resultados.

Por lo anterior, es que quienes tienen bajo su responsabilidad la construcción de modelos y la toma de decisiones apoyados en éstos, se inclinan por los modelos determinísticos, inclusive hay quienes vuelven determinísticos, problemas probabilísticos.

#### RESUMEN

El modelo matemático-financiero es la representación simbólica de los factores financieros de una entidad, cuando estas presentan, conflictos de operación, en inversiones, financiamiento y asignación de recursos en condiciones de incertidumbre.

Los diferentes tipos de modelos, están encaminados a cumplir el conjunto de objetivos, a las necesidades particulares y a responder eficazmente con las transacciones propias del giro de las organizaciones. Esta clasificación se hace principalmente teniendo en cuenta el horizonte de tiempo para el cual se aplican, a la naturaleza de las variables que los conforman, según la metodología que se sigue en la obtención y aplicación de soluciones y finalmente con base en el objetivo funcional de cada estructura del sistema.

El grado de dificultad en la formulación, construcción y prueba del modelo y como es lógico su aplicación, cuando hablamos del período para el cual se elaboran, se presenta en mayor proporción cuando se trata de aquellos que sirven

de apoyo para la toma de decisiones a largo plazo tendientes a soportar la planeación estratégica de las Empresas.

Cuando hablamos de los modelos que se construyen teniendo en cuenta la naturaleza de las variables, merecen una importante atención aquellos que utilizan variables probabilísticas debido a que resultan mucho más complejos, consecuencia de la dificultad en la obtención de las hipótesis que adoptarán las variables, al contrario de aquellos comúnmente aplicados modelos determinísticos en donde se conocen con certeza los valores de las variables que los conforman.

Haciendo referencia a la utilización de modelos de simulación debemos recordar que son los que proporcionan muchas posibles soluciones sucesivas a quienes tienen bajo su responsabilidad la toma de decisiones correctivas que frecuentemente se tienen que llevar a cabo consecuencia de los continuos cambios a que están expuestos.

La correspondiente y efectiva construcción de estos modelos debe estar enmarcada en lo que aquí se decidió llamar características propias como es el caso de la simplicidad que debe presentar al momento de suministrar los datos y las variables realmente necesarios y relevantes para su estructuración.

El logro de los objetivos comunes a toda la organización, se obtendrán cuando se presente una correcta interacción entre el usuario quien debe realizar hipótesis y las sucesivas soluciones, lo más acertadas posibles que proporcione el modelo, es decir, debe existir una clara comunicación entre estos dos factores.

La validéz, y el apoyo real que deben mantener los mode-

los financieros dependerá de la flexibilidad que conserven y los datos que se asignen a las variables y sus relaciones como consecuencia de los múltiples y continuos movimientos a que están expuestos sus sistemas y el mercado en general.

La simplicidad o la sofisticación de estos modelos, dependerá del número de variables que se sometan a consideración, por lo tanto es recomendable que únicamente se incluya la parte medular del problema que se trata de resolver, es decir, que contenga exclusivamente aquellas que sean determinantes y significativas.

Para terminar, se presenta una de las partes más importantes a la hora de utilizar los resultados que nos brinden los modelos mencionados, como es el caso del conocido análisis de sensibilidad, por medio del cual podremos determinar que tipo de datos, de variables, coeficientes y valores deben tomar las partes que conforman la estructura básica en cada uno de los diferentes tipos de modelos que los ejecutivos pueden utilizar como soporte de sus decisiones.



## CAPITULO V

### LA SIMULACION MONTE CARLO

Actualmente y desde hace algunos años las empresas se han visto afectadas en su normal desempeño de labores por continuos cambios estructurales tanto internos como de su medio ambiente, en donde se presentan situaciones que influyen en el buen desempeño de sus sistemas de operación y que gracias a la presencia de la computadora, la simulación y más concretamente el método Monte Carlo ha venido a servir como una de las más efectivas herramientas para el análisis y estudio de dichas situaciones complejas.

Este método Monte Carlo prácticamente arranca desde la Segunda Guerra Mundial, cuando los científicos Von Neumann y Ulam trabajan para lo que se denominó el proyecto Monte Carlo destinado a tratar de resolver problemas que se presentaban como consecuencia de cierto tipo de reacciones nucleares que de llevarse a cabo experimentalmente resultarían demasiado costosas y su respectivo análisis matemático supremamente complicado.

La Simulación Monte Carlo se utiliza principalmente en aquellas situaciones en donde se trabaja con probabilidades de ocurrencia de ciertos fenómenos y mediante el uso de números aleatorios en cada uno de los modelos que simulan una actividad problema. Por lo tanto el método Monte Carlo es una técnica que mediante el uso de números aleatorios, estudian los sistemas de situaciones problema del mundo real que contienen los elementos claves de carácter probabilista.

Es necesario recalcar sobre la importante presencia del computador en la aplicación de este método ya que sin esta herramienta sería casi que imposible llevar a cabo el cálculo

y desarrollo de gran cantidad de operaciones que se necesitan para el estudio y análisis de un modelo a simular.

#### V.1. Concepto de simulación en sentido general.

La simulación es una técnica que mediante la utilización de modelos lógico-matemáticos, realiza el estudio y la observación directa y completa de un proceso o sistema.

Mediante esta técnica se puede experimentar con el propósito de comprobar hipótesis del problema o fenómeno bajo estudio.

La simulación puede ser determinística o probabilística, dependiendo la clase de variables que se presentan en cada tipo de situación que se vaya a modelar.

Cabe destacar que estos modelos de simulación conllevan -- una característica inherente en su desarrollo y es el factor tiempo, ya que de él dependen la obtención de la información en forma oportuna y el costo que se genera en cada uno de sus experimentos, factores estos que se pueden solventar mediante la utilización de la computadora.

#### V. 2. Definiciones de simulación.

Según George W. Morgenthaler en su libro sobre teoría y aplicación de simulación en Investigación de Operaciones, define la simulación como: "duplicar la esencia del sistema o la actividad, sin llegar verdaderamente a la realidad misma". Así pues puede decirse que la simulación es el empleo de un modelo para representar, en el tiempo, características esenciales de un sistema o proceso que se estudie.

Tomas H. Naylor la define así: Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo.

H. Maisel y G. Gnugnoli la definen así: Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos períodos de tiempo.

Robert W. Shannon define simulación como: Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo, con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar un sistema o proceso.

Según Charles A. Gallagher y Hugh J. Watson, definen la simulación como: Es una técnica de experimentación en que se usan modelos lógico-matemáticos. Dicha simulación puede ser determinista o probabilística según el comportamiento de las variables incluidas. Puede pensarse en la experimentación como un método organizado de prueba y error que usa un modelo del mundo real para obtener información. La simulación acorta el tiempo y es menos costosa que llevar todo esto a la práctica.

Donald Moscato, define la simulación desde el punto de vista financiero como: La simulación es principalmente una metodología, es un método formal para experimentar con un

modelo matemático con el propósito de entender mejor la situación financiera que se está formulando. Con el fin de llevar a cabo un experimento de simulación se debe primero formular un modelo de una situación particular.

Según James T.C. Mao la define como: la técnica de evaluación de los méritos de diferentes cursos de acción mediante la experimentación realizada con un modelo matemático que representa la situación real de decisión.

### V.3. Concepto de simulación Monte Carlo.

Dentro del estudio y utilización de simulación, con frecuencia se utilizan indiscriminadamente como sinónimos los términos simulación, Monte Carlo, Juegos, muestreo de modelos o la combinación de algunos de ellos. Sin embargo sabemos que el término y la técnica Monte Carlo abarca un campo de actuación más específico que el conocido simplemente como simulación.

La diferencia básica con la simulación en sentido general, radica en que el método Monte Carlo es una técnica que trabaja mediante el uso de números aleatorios a través de una distribución de probabilidades. Esta clase de números son utilizados en cada uno de los experimentos de los modelos que simulan una actividad problema.

El uso de números aleatorios, básicamente consiste en la selección de valores, de una manera aleatoria, de las distribuciones de probabilidad que se posean para resolver el estudio de simulación.

Por lo general, el modelo contiene una o más distribuciones de probabilidad que al momento de operarlo representan

las variables incluidas en él. Las principales formas de obtenerlas es a través de:

- Un generador de números aleatorios
- Una tabla de números aleatorios
- ó un lenguaje de simulación programada

En conclusión, la simulación Monte Carlo es la técnica que mediante el uso de números aleatorios, estudia los sistemas ó procesos del mundo real que contienen los elementos claves de carácter probabilista.

Cabe recalcar que, la simulación Monte Carlo se logra mediante la ayuda del computador, ya que sin la rapidez de esta herramienta la operación de los modelos no sería posible, ya que como se dijo antes conlleva una gran cantidad de cálculos y operaciones que sería impráctico e imposible de realizarlos manualmente.

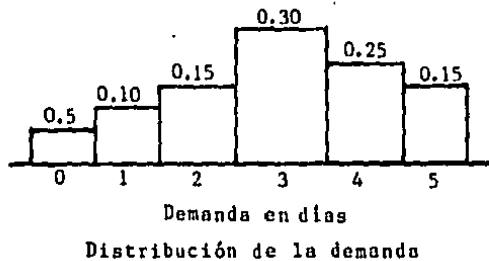
#### V.4. Pasos a seguir en la simulación Monte Carlo.

Entre los principales pasos que se deben tener en cuenta para desarrollar el método Monte Carlo, en la simulación de problemas o situaciones y sistemas que se quieran analizar en pró de encontrar mejores opciones de operación y de resultados están:

- Desarrollar probabilidad acumulada
- Establecer intervalos
- Encontrar números aleatorios en las tablas de números aleatorios
- Localizar los números aleatorios en la columna de intervalos
- Relacionar los números resultantes con los números que se están analizando.

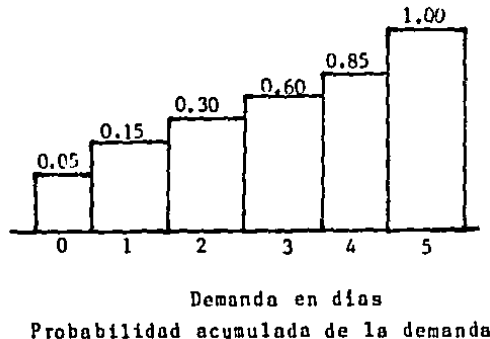
A continuación por medio de un ejemplo, trataremos de demostrar el procedimiento y la determinación de cada uno de los anteriores pasos de simulación Monte Carlo.

Se tiene la demanda de un determinado artículo, demanda que está compuesta por la siguiente distribución en un periodo de 5 días así:



Con base en la presente distribución, se desea determinar un stock de demanda para un periodo de 10 días.

Entonces el primer paso consiste en determinar la función de probabilidad acumulada, tal como se demuestra en la siguiente gráfica:



El siguiente paso consiste en determinar los intervalos correspondientes a cada uno de los días y en donde van a estar comprendidos el número de artículos que pueden ser demandados por día:

Demanda en días	Intervalos
0	00 - 04
1	05 - 14
2	15 - 29
3	30 - 59
4	60 - 84
5	85 - 99

Estos intervalos se establecen teniendo en cuenta la probabilidad acumulada de la demanda, y en donde en cada intervalo se encuentra el número posible de artículos que puede ser demandado por cada día.

Ahora, para poder determinar la demanda de los 10 días y por día tenemos que encontrar los números aleatorios correspondientes para cada una de las probabilidades de diversas demandas.

Números aleatorios, escogidos en la tabla que genera números aleatorios.

14 - 74 - 24 - 87 - 7 - 45 - 26 - 66 - 26 - 94

Debemos recordar que estos números aleatorios se obtienen de una tabla generadora de números aleatorios y en donde se destaca el hecho de que estos números se obtienen a partir de cualquier parte de la tabla, pero siempre se debe seguir una misma dirección, ya sea para adelante o para atrás, pero no se puede intercalar las direcciones.

El cuarto paso, o sea la localización de los números aleatorios en los diferentes intervalos, sirve para encontrar la frecuencia con que se repiten cada uno de los valores aleatorios en los diferentes intervalos.

Intervalos	Frecuencia	Números aleatorios
00 - 04	= 0	14-74-24-87-7-45-26-66- 26-94
05 - 14	= 2	
15 - 29	= 3	
30 - 59	= 1	
60 - 84	= 2	
85 - 99	= 2	

Si tomamos el número 3, quiere decir que entre el intervalo de 15 y 29 se encuentran 3 números aleatorios, o sea 24, 26, 26, que es el de mayor frecuencia.

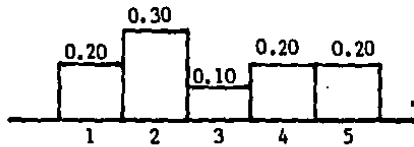
El último paso, consiste en relacionar los números encontrados con los que realmente se están analizando.

Con base en el análisis de frecuencia podemos concluir que la demanda y el mayor número de ocurrencia está en el intervalo 15, 29, o sea en la demanda en días correspondiente a 2, ya que es donde aparece el mayor número de valores aleatorios.

Históricamente, lo podemos representar:

Tenemos que la probabilidad de que 3 artículos sean demandados el segundo día del 30%, lo cual es la mayor probabilidad.





Resumiendo en una sola tabla tenemos lo siguiente:

Días	Probabilidad	Probabilidad acumulada	Intervalos	Frecuencia
0	0.5	0.5	00 - 04	0
1	0.10	0.15	05 - 14	2
2	0.15	0.30	15 - 29	3
3	0.30	0.60	30 - 59	1
4	0.25	0.85	60 - 84	2
5	0.15	1.00	85 - 99	2

$\Sigma = 1.00$

$\Sigma = 10$

Por último determinamos el stock de demanda de artículos para un periodo de 10 días.

Días	Demanda
1	1
2	4
3	2
4	5
5	1
6	3
7	2
8	4
9	2
10	5

Resumiendo podemos decir, que, a partir de datos históricos que reflejan la demanda de artículos, determinamos la distribución de probabilidad de la demanda, posteriormente calculamos la probabilidad acumulada, los intervalos de ocurrencia de demanda para cada día, posteriormente encontramos la frecuencia con que los números aleatorios se repiten en cada uno de los intervalos, los cuales se analizan y sitúan frente a los números que se están estudiando y poder determinar y prever una situación futura que vaya a beneficiar los resultados de una operación determinada, como en este caso la determinación de la demanda posible para un período de días futuros.

Hace falta aclarar que el anterior ejemplo, es muy sencillo y únicamente se hizo con el propósito de describir el procedimiento de los pasos a seguir para la formulación de simulación por el método Monte Carlo.

#### V.5. Cuando usar simulación Monte Carlo.

La simulación hoy en día se utiliza principalmente para tratar de resolver cierto tipo de problemas que se le presentan a los encargados de tomar decisiones sobre las operaciones de una empresa o para tratar de analizar y revisar el sistema de funcionamiento de todo el aparato organizacional o parte de éste en donde se estén generando algún tipo de problemas.

Por tanto, debemos utilizar la simulación cuando el desempeño de todo el sistema o parte de éste presente ciertas anomalías las cuales se detectan de acuerdo a los resultados que se vayan alcanzando y estos no estén de acuerdo con las metas y objetivos trazados previamente. Por medio de la simulación podemos detectar que la conducta de ciertas operaciones muchas veces complejas no se están llevando a cabo como se plantearon, lo cual, tanto los sistemas y subsistemas y las operaciones

inherentes a estos, los podemos observar, analizar y tomar acciones correctivas mediante el uso de la simulación.

Se debe utilizar la simulación cuando se desee observar el funcionamiento de determinadas actividades internas ya sean de tipo financiero, de asignación, de distribución, de colas, de inventarios, etc.; así mismo cuando se desee desarrollar actividades con carácter de laboratorio mediante el desarrollo y su respectiva revisión, de los modelos matemáticos que se estén utilizando para la simulación de ciertos fenómenos.

Mediante la aplicación del método de simulación podemos adaptar, revisar y comprobar cierto tipo de datos que consideramos como hipótesis, las cuales las empleamos por medio de este método con el propósito de comprobar ciertos datos o valores que podríamos emplear y comparar con los resultados propuestos en pró de alcanzar mejores resultados.

Asimismo, debemos allegarnos de la simulación, con el propósito de determinar mejores cursos de acción, tendientes a lograr ciertas medidas y procedimientos encaminados a alcanzar los objetivos. Esto con base en que los cursos de acción o procesos de decisión existentes ya no se ajustan a las condiciones actuales de mercado, de competencia o de tecnología necesarias para satisfacer necesidades pertinentes.

Por otro lado, debemos utilizar la técnica de simulación, cuando bajo condiciones de funcionamiento ya predeterminadas, creemos necesario experimentar ciertos sistemas operativos que sean alternativos con los ya existentes, como consecuencia de los continuos cambios a que están expuestos los entes empresariales.

El uso de la simulación la debemos llevar a cabo en aque-

llas situaciones en que no se cuenta con métodos analíticos, prácticos, ya que sería contraproducente para la empresa e imposible llevar a cabo experimentos reales del sistema o fenómeno en estudio, debido al tiempo que se tardaría en realizarlo y sobre todo a lo costoso del mismo.

La simulación se ha convertido en el único método práctico de análisis de ciertos tipos de problemas o situaciones más complejos tales como los procesos de toma de decisiones, la interacción de una empresa con su medio ambiente, los problemas de colas grandes, canales y etapas múltiples, problemas complejos de planeación, los cuales no se pueden resolver mediante la construcción de estructuras matemáticas, como consecuencia de la incertidumbre y de la imposibilidad de adaptarlos a cierto tipo de información, pero que si se puede estudiar, analizar y experimentar mediante el método práctico que se llama simulación.

Por medio de la simulación se logra el análisis y la observación completa y directa de los múltiples procesos de operación y el dinamismo de los procedimientos de actuación de los sistemas integrales dentro de una organización.

Esta técnica también debe usarse cuando se desee obtener observaciones y estudios con cierto grado de detalle y precisión, para esto es recomendable que el tiempo que se necesita para realizar las múltiples pruebas o corridas de la simulación, se amplie o se limite de acuerdo a las necesidades del proceso.

Es importante tener en cuenta que en cada corrida del modelo de simulación podemos tener observaciones muy variadas sobre características diferentes del desempeño de los subsistemas, del sistema total, y de las operaciones en particular que se estén simulando.

Una importante razón de cuando usar la simulación, es aquella en la que no se cuenta con criterios simples para evaluar normas de funcionamiento complejos o cuando las medidas de realización no las evalúan de la misma forma todos los observadores, entonces surge la labor que nos proporciona la simulación mediante la presentación de un cuadro total de las características de funcionamiento de todo el sistema o parte de éste por encima de los dispositivos meramente matemáticos por cuanto estos últimos en determinados casos solo nos proporcionarán respuestas estáticas consideradas como simples.

La simulación se emplea en importantes actividades de adiestramiento y desarrollo de procedimientos y normas más reales de funcionamiento y operacionalidad de los mismos, encaminados a facilitar mejores opciones y mejores cursos de actuación como soporte a la toma de decisiones mucho más acertada.

Cuando utilizamos los modelos de simulación podemos alcanzar mejores dispositivos de experimentación y adiestramiento de mostrando un mejor desempeño de los sistemas en condiciones cambiantes, a su vez nos permite la observación directa de los resultados simulados obtenidos de la aplicación de métodos analíticos a cierto tipo de problemas más complejos que en determinado momento ejercen cierta influencia sobre el normal desempeño de las labores normales de una entidad tales como la planeación del potencial humano, la programación y la determinación de normas económicas, entre otras.

Debemos utilizar los modelos de simulación para comprobar la validez y operacionalidad de normas y procedimientos de funcionamiento, antes de aplicarse al sistema real, esto es, realizar varias corridas con el propósito de seleccionar la

mejor opción y no ir a caer en errores como consecuencia de aplicaciones rápidas y sin análisis; la simulación nos obvia esta situación y nos facilita mejores resultados, para esto se recomienda un mínimo de cien corridas para garantizar aproximarse a la realidad.

#### V.6. Ventajas en el uso de la simulación Monte Carlo.

En cuanto al tiempo empleado en el desarrollo del método de simulación se presenta un gran ahorro de este factor muy importante en la solución de un determinado problema, ya que la simulación y el uso de la computadora permite la realización de grandes cantidades de cálculos en mucho menos tiempo que por cualquier otro método, permitiendo una rápida toma de decisiones.

También permite una rápida obtención de diferentes cursos de acción máxime que nos encontramos en épocas muy dinámicas de evolución empresarial y de su medio ambiente.

Permite mejores y más rápidas tomas de decisiones en especial cuando la situación de una empresa o parte de ella presenta situaciones de verdadera urgencia de solución a fin de no influir en el resto del sistema.

Facilita la obtención de mejores y más rápidos resultados y de información para aquellos que tienen a su cargo la labor de tomar acciones correctivas.

Es mucho más económico, debido a que se hace en mucho menos tiempo y costo que si lo experimentáramos en un sistema real.

Resulta más benéfico en cuanto a costos, debido a que

puede utilizar programas o paquetes que hacen más fácil la simulación y construcción de modelos.

Es más económico debido a que se experimenta con cálculos en computadora que en un momento dado se pueden borrar o repetir varias corridas, al contrario que si experimentáramos con valores reales físicos.

Se puede estudiar y analizar los efectos que se producen cuando se realizan las comprobaciones de diversas hipótesis que generen cambios internos y externos en los fenómenos que se modelan y en los sistemas que se simulan.

La simulación permite la observación detallada de una situación en especial o de un proceso de funcionamiento de un sistema, lo cual genera un mayor entendimiento de los mismos y por consiguiente a proporcionar mejores estrategias tendientes a mejorar el área, los sistemas y las operaciones eficientemente.

La simulación de problemas complejos facilita un mejor entendimiento sobre el funcionamiento de operación de todo un sistema dentro de una organización, asimismo ayuda a determinar en forma más clara y precisa las principales variables que intervienen y las interacciones de las mismas.

La técnica de simulación puede ser usada para experimentar con nuevas situaciones y condiciones, sobre las cuales se tenga poca o ninguna información. Dicha experimentación puede generar y anticipar mejores posibles resultados no previstos anteriormente.

El empleo de la simulación nos genera un mejor entrenamiento y adiestramiento de personal principalmente mediante el

uso de lo que se conoce como simulación de juegos operacionales.

Debido a lo cambiante de las condiciones externas de una empresa mediante la simulación se pueden anticipar posibles cuellos de botella o cualquier otro tipo de fenómenos que en un momento determinado no se hayan previsto.

Presenta la ventaja de ser el único método práctico de análisis cuando las empresas y los dirigentes carecen de método analíticos para afrontar un determinado proceso problema.

La técnica de simulación es muy útil debido a que nos permite experimentar con un modelo del sistema en vez del sistema real que está funcionando, debido a que a pesar de costoso sería muy arriesgado experimentar con casos físicos.

La técnica de simulación puede ser utilizada como un instrumento pedagógico para enseñar a estudiantes habilidades básicas en análisis estadístico, análisis teórico, etc.

El estudio y aplicación de la simulación, constituyen una forma muy valiosa y conveniente para descomponer en partes ya sea un sistema o un proceso complicado, de donde cada una de estas partes puede simularse por separado. Este tipo de aplicación permite al observador tener un mejor conocimiento de lo que en realidad hace funcionar al fenómeno modelado y su relación de causa efecto, para poder sugerir algunas opciones que le permitan tratar de mejorar el control y el desempeño de cada subsistema o parte de proceso que se este simulando.

En muchos casos en donde se presenten relaciones complicadas de naturaleza impredecible y aleatoria, es mucho más útil emplear un proceso simulado, que desarrollar un complicado



modelo matemático que represente todo el proceso que se estudie.

Una actividad puede quedar afectada por un gran número de influencias aleatorias que pueden examinarse separadamente. El cálculo de la probabilidad de que la secuencia combinada de actividades se desborde e interactúe, puede ser muy difícil de incorporar eficientemente en un modelo matemático.

El empleo de números aleatorios será tan eficaz como la utilización de un complicado modelo matemático cuando se trate de situaciones en condiciones de incertidumbre.

Existen otras situaciones problema que no pueden resolverse directamente con métodos analíticos normales, pero que si los podemos resolver aproximadamente con el empleo de la simulación.

El empleo de la simulación en las diferentes áreas de una organización genera un alto grado de motivación personal y de aprendizaje, ya que como la simulación utiliza la retroalimentación, esto hace que proporcione una base de evaluación y de corrección en forma individual. Permite que cada participante ponga a prueba varios cursos alternativos de acción antes de tomar una decisión final.

Debido a que la simulación opera con cálculos por computadora esto permite que los participantes se familiaricen con el procesamiento electrónico de datos.

En una simulación por computadora de operaciones de negocios permite condensar los resultados de varios años o períodos en unos cuantos minutos de funcionamiento. Los estudios de esta técnica por computadora pueden repetirse por completo,

esto hace que el usuario ejerza un control completo sobre el desarrollo del modelo y el empleo de rutinas de simulación.

La simulación es ideal para la obtención y procesamiento de datos cuantitativos, además está exento de limitaciones físicas ya que se representa en términos puramente simbólicos.

Generalmente, un modelo de simulación puede explicarse más fácilmente al personal administrativo, ya que básicamente lo que se realiza es una descripción del comportamiento del proceso u operación que se analice; por lo tanto, con esta facilidad, se tienen mayores probabilidades de éxito en su aplicación que el uso de complicados modelos matemáticos.

#### V.7. Desventajas en el uso de la simulación Monte Carlo.

El uso de la simulación como todo el conjunto de técnicas que conforman la Investigación de Operaciones, tienen sus desventajas que se consideran necesarias ponerlas de presente, a fin de tratar evitar caer en ellas: entre las que más se presentan están las siguientes:

- La técnica de simulación, presenta el inconveniente de requerir de cierto equipo de computación y de cierto personal capacitado para su implementación, lo que en consecuencia genera un mayor gasto de dinero, es decir, es mucho más costoso.
- Otra desventaja que comunmente se presenta es que, se requiere de bastante tiempo para generar aproximadas soluciones, cuando el modelo de simulación no es bien construido y desarrollado.
- Muchas veces se presenta el caso de que la alta gerencia

o el personal que tiene que tomar alguna decisión no entienden el empleo y los beneficios del uso de ésta técnica, lo que hace que se presenten conflictos y sea imposible su implantación. Muchas veces estas personas prefieren vivir con un problema latente que adoptar algún mecanismo que desconocen.

- La simulación no proporciona soluciones óptimas.
- Para que la simulación presente soluciones muy aproximadas a la realidad, requiere que se efectúen una gran cantidad de corridas; esto debido a que en simulación cada corrida es un experimento aislado que se efectúa bajo una serie de condiciones dadas, las cuales están previamente definidas por una serie de valores para la solución de entrada, la cual mediante el uso de varias corridas se irá perfeccionando.
- También se requiere de mucho tiempo, debido a que se tienen que realizar con éxito determinado número de corridas a fin de proporcionar opciones de aplicación más apegadas a los resultados reales que se esperan, como ya se mencionó anteriormente se requiere un mínimo de cien corridas.
- A medida que aumenta el número de variables que entran en operación del proceso, la dificultad para encontrar los valores óptimos aumenta considerablemente, lo que hace necesario un cuidadoso diseño de las corridas experimentales, así como la búsqueda de métodos más óptimos. Todo esto generaría en un momento dado el incremento en posibles pérdidas de tiempo y costos adicionales.
- Debido a la facilidad de aplicación y entendimiento de éste método de simulación, se puede llegar a una dependen-

cia casi que permanente en todo tipo de situación, inclusive en aquellas ocasiones en que resultaría mucho más benéfico la utilización de ciertas técnicas matemáticas analíticas cuando estas sean más adecuadas.

- En un momento dado, cuando se utilice la simulación por computadora mediante el uso de modelos matemáticos, se puede presentar la imposibilidad de cuantificar todas las variables que afecten el comportamiento del proceso, - o bien que el número y valores de las variables que se analicen puedan sobrepasar la capacidad de la computadora, cuando ésta ha sido adquirida sin tener en cuenta las verdaderas necesidades de la empresa en donde va a operar.
- El uso de la simulación es en algunas ocasiones riesgoso, ya que los resultados obtenidos mediante la experimentación pueden cambiar durante el tiempo en que se estudia el programa de implantación y desarrollo o del tiempo que se gaste para ser puesto en práctica.
- Es muy subjetivo, debido a que en muchos casos desconocemos ciertos datos lo que nos puede conducir a resultados erróneos.
- La aplicación de esta técnica genera mayores costos, de ahí que los beneficios esperados o recibidos realmente, deben exceder los costos incurridos, todo esto para justificar la simulación.

#### V.8. Principales usos de la simulación Monte Carlo.

En la actualidad el uso de la simulación es muy extensa, y sería un poco riesgoso atreverse a delimitar el campo en donde puede ser desarrollada: por lo tanto se dice que existe

una gran cantidad de áreas en donde puede ser aplicada y en donde se destacan las siguientes:

#### V.8.1. Simulación de un sistema de colas.

El estudio y análisis de un sistema de colas es posible realizarlo mediante ésta técnica de simulación, ya que llevarlo a cabo mediante el uso de modelos matemáticos sería demasiado complicado.

Como ejemplo de estos problemas están, el determinar la llegada o entrada a la cola, el tiempo que tarda la cola, la salida de la cola, el rechazar la entrada a la cola cuando ésta es demasiado grande generando conflictos, etc.

#### V.8.2. Simulación de un sistema de inventarios.

Por medio del empleo de la simulación se pueden estudiar y analizar más fácilmente todas aquellas situaciones y parámetros que en un momento dado puede llegar a presentar un sistema de inventarios, tales como: tiempo de entrega, demanda, costo de llevar inventario, punto de reorden, mantenimiento, etc.

#### V.8.3. Simulación de proyectos de inversión.

En la actualidad y como consecuencia de lo que se conoce como situaciones de incertidumbre, resulta muy difícil determinar ciertos factores que hacen que la selección de un tipo de inversión sea muy riesgoso y muy difícil de manejar analíticamente, es por esto que el empleo de la simulación nos permite el estudio de estos factores que dificultan la selección de un determinado proyecto de inversión; entre los factores que se destacan están la incertidumbre con respecto a los flujos de efectivo, las tasas de interés, la comisión, las tasas de

inflación, etc. Para todo este tipo de situaciones el uso de la simulación es muy recomendada.

#### V.8.4. Simulación de sistemas económicos.

La técnica de simulación puede ser utilizada para evaluar el efecto de cierto tipo de decisiones y situaciones de tipo económico, tales como la devaluación de la moneda, el impuesto al valor agregado, etc., también en medidas a nivel macroeconómico como el producto nacional bruto, balanza comercial, inflación, oferta monetaria, circulante, etc.

#### V.8.5. Simulación Financiera.

Las empresas de hoy en día se preocupan cada vez más de ciertas medidas tales como la expansión y/o diversificación de sus productos a través de la adquisición y creación de nuevas empresas, lo que repercute en forma significativa en su posición y estructura financiera. Por consiguiente, el uso de la simulación nos permite analizar y estudiar cual de estas estrategias de crecimiento son las que llevarán a una organización al logro de sus objetivos y metas de corto mediano y largo plazo.

Entre otras aplicaciones de tipo financiero-administrativos están:

- Simulación de las operaciones en la fabricación de un determinado producto, para evaluar los cambios en las prácticas seguidas en la operación, así como la capacidad y configuración de los medios de financiamiento.
- Simulación de los sistemas de distribución y control de inventarios, a gran escala con el propósito de mejorar

el sistema de ventas.

- Simulación de la operación global de una empresa comercial con el fin de evaluar cambios amplios en las políticas y la operación de la empresa y también para suministrar un juego comercial para el entrenamiento de ejecutivos.
- 
- Simulación de la operación de una línea de producción para determinar la cantidad de espacio para almacenamiento de productos.
- Simulación de toma de decisiones humanas, como por ejemplo ciertas operaciones de tipo bancario.
- Simulación para determinar y obtener información para la planeación, simulando varias operaciones bajo una variedad de ambientes, puede obtener datos para seleccionar un plan deseado, como ejemplo de este tipo de simulación tenemos la de una agencia de renta de autos.
- Simulación para determinar los posibles riesgos de insolvencia de fondos.
- Simulación de las decisiones de financiación a corto plazo.

#### V.9. Principales aplicaciones de la simulación Monte Carlo.

Las siguientes aplicaciones del método Monte Carlo y como ya se mencionó inicialmente, involucran variables aleatorias a partir de una distribución de probabilidad. Es evidente que la simulación Monte Carlo está orientada hacia el computador, ya que sin la rapidez de este medio la mayoría de los modelos que utiliza esta técnica no podrían llevarse a la práctica. Sin embargo, inicialmente presentaremos algunas aplica-

ciones a través de ejemplos simples con el objeto de demostrar su utilidad.

#### V.9.1. Simulación sobre la conveniencia de una inversión de capital.

Un método que se utiliza en la evaluación sobre la conveniencia de una inversión de capital, consiste en determinar la tasa interna de retorno (TIR) y compararla con una tasa atractiva mínima de retorno.

Esta tasa interna de retorno se define como la tasa de interés,  $i$ , para la cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$0 = \sum_{r=0}^n \frac{x_r}{(1+i)^r} \quad (1)$$

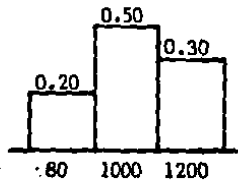
de donde  $n$  = vida estimada de la inversión  
 $x$  = flujo de dinero en el año  $r$   
 $I$  = ingreso bruto en el año  $r$   
 $C$  = gastos en el año  $r$   
 $t$  = tasa efectiva del impuesto  
 $P$  = capital desembolsado en el año  $r$

$$\text{En donde } x_r = (I - C) - (I - C - D)t - P \quad (2)$$

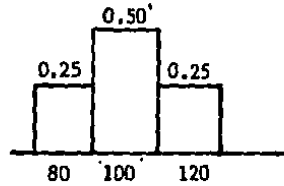
Muchas veces se cree que las variables que conforman la ecuación (2) se conocen con certeza, y con base en estos datos estimados se calcula el flujo de dinero para cada año. Para este ejemplo la tasa de retorno se calcula a partir de la ecuación (1). Sin embargo, cuando las variables puedan tener más de un valor, es posible emplear otro enfoque mediante simulación Monte Carlo si se establecen las distribuciones



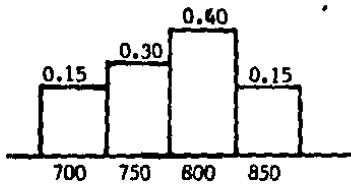
de probabilidad de las variables de la ecuación (2). Por ejemplo puede suponerse que para cada variable se han establecido las distribuciones mostradas en las siguientes figuras:



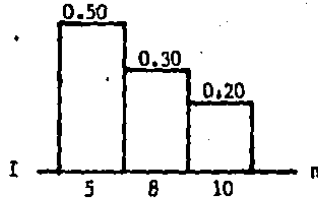
Costo de inversión \$  
(para el año 0)



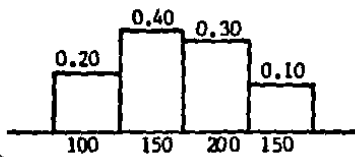
Valor de salvamento, \$  
(para el año n)



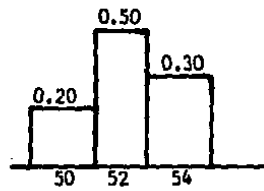
Ingreso bruto \$/año



Vida de la inversión, años



Gasto \$/año



Tasa efectiva del impuesto, %

Con estos datos y suponiendo una depreciación lineal, se puede generar una distribución de la tasa interna de retorno

Para efectos de este ejemplo suponemos una vida de 5 años, un costo de inversión de \$ 1'000.000 y un valor de salvamento de \$ 100,000 con estos datos calculamos la depreciación anual, la cual será uniforme para cada año por considerarse lineal.

Cálculo de la depreciación anual:

$$D = \frac{1'000,000 - 100,000}{5} = \$ 180,000$$

Con base en estos cálculos y las distribuciones de las variables proseguimos a construir una tabla de simulación del flujo de dinero así:

Años	Inversión	Depreciación	Ingreso bruto	Números aleatorios	Tasa del impuesto t = %	Ingreso sujeto a impuesto	Impuesto
0	\$1'000,000						
1		\$180,000	\$800,000	7	52	1,420,000	218,400
2		180,000	750,000	2	52	420,000	218,000
3		180,000	750,000	6	52	370,000	192,400
4		180,000	850,000	0	50	570,000	285,000
5		180,000	750,000	3	54	420,000	226,800

Flujo de dinero

- \$1'000,000  
 381,600  
 381,600  
 357,600  
 465,000  
 473,200

Con estos cálculos de flujos de dinero se procede la simulación en la ecuación (1) para obtener la tasa interna de retorno (TIR).

$$0 = \sum_{r=0}^5 \frac{\text{flujos } r}{(1+i)^r} \quad \text{para cálculo de flujo de dinero}$$

$$0 = - 1'000,000 + \frac{381.600}{(1+i)} + \frac{381.600}{(1+i)^2} + \frac{357.600}{(1+i)^3} + \frac{465.000}{(1+i)^4} + \frac{473.200}{(1+i)^5}$$

$$0 = - 1'000,000 + \frac{381.300}{(1+0.52)^1} + \frac{381.600}{(1+0.52)^2} + \frac{357.600}{(1+0.52)^3} + \frac{465.000}{(1+0.52)^4} + \frac{473.200}{(1+0.52)^5}$$

$$0 = - 1'000,000 + \frac{381.600}{(1.52)^1} + \frac{381.600}{(1.52)^2} + \frac{357.600}{(1.52)^3} + \frac{465.000}{(1.50)^4} + \frac{473.200}{(1.54)^5}$$

$$0 = - 1'000,000 + \frac{381.600}{1.52} + \frac{381.600}{2.3104} + \frac{357.600}{3.511808} + \frac{465.000}{5.0625} + \frac{473.200}{8.6617}$$

$$0 = - 1'000,000 + 251.053 + 1651166 + 101828 + 91852 + 54631$$

$$0 = - 1'000,000 + 664530$$

$$0 = - 335470 \quad \text{para el primer año nos da negativo}$$

Para efectos de simulación, estos pasos y cálculos se repiten cuantas veces sean necesarios y a partir de los resultados que se vayan obteniendo se determina la distribución de la TIR, para poder seleccionar la que mejor convenga y poder formular afirmaciones probabilísticas con respecto a la tasa interna de retorno, en la toma de decisiones.

### V.9.2. Simulación de inventarios.

Un segundo ejemplo en donde se puede apreciar la utilización de la simulación Monte Carlo, es aquel que se refiere a un problema sencillo de inventarios\*.

El problema trata básicamente de la determinación de la cantidad pedida y el punto de pedido para originar un sistema de costo mínimo total, a partir de la siguiente información.

Se utilizan distribuciones teóricas a fin de aproximar las distribuciones de la demanda y del tiempo de anticipación de los pedidos, esto se hace con el propósito de mantener cierta cantidad de bienes y poder satisfacer oportunamente la demanda.

Se supone que la demanda de un artículo, está normalmente distribuida por una medida de 200 unidades/semana y que la distribución del tiempo de anticipación genera una media de 1 unidad/semana.

El costo de hacer un pedido es de \$ 90 y el costo de mantenimiento de 1 unidad por semana es de 10 centavos.

Hay que aclarar que antes de comenzar la simulación, debemos seleccionar un punto de partida para de ahí realizar ciertas suposiciones.

En la simulación que sigue se ha escogido una cantidad

\* Ejemplo de simulación Monte Carlo sobre inventarios tomado de SHAMBLIN, James Investigación de Operaciones, un enfoque fundamental, pág. 180.

constante de pedido de 600 unidades y un punto de pedido de 200 unidades ó menos.

Las relaciones y cálculos supuestos se obtuvieron a partir de las siguientes relaciones:

$$Q = \frac{2C_1D}{C_2} = \frac{2(90)(200)}{0.1} = 600 \text{ unidades}$$

de donde:  $C_1$  = costo del pedido  
 $D$  = media de la demanda  
 $C_2$  = costo de mantenimiento

El punto de pedido =  $\bar{D} \times L = 200(1) = 200$  unidades

de donde:  $\bar{D}$  = media de la demanda  
 $L$  = media del tiempo de anticipación

También debe tomarse una decisión con respecto al nivel inicial de inventario. Para efectos de este ejemplo se utiliza un nivel inicial de 600 unidades; de hecho este nivel puede ser escogido arbitrariamente.

En este problema se supone constante la tasa de demanda dentro de cualquier período de 1 semana. Además, se supone que el nivel de inventario se revisa al final de cada semana.

Si en este momento el inventario fuese mayor que el punto de pedido, es lógico pensar que no se hace pedido. Sin embargo si el nivel fuese de 200 unidades o menos, entonces se tiene que hacer un pedido de 600 unidades.

El siguiente paso consiste en asignar intervalos en los cuales van a estar comprendidos los números aleatorios que

tome cada variable en estudio, tanto a la demanda como al tiempo de anticipación.

También se utiliza una diferencia de 50 unidades en la demanda de artículos por semana y una diferencia de 1 día para el tiempo de anticipación. De hecho se puede tomar otras diferencias ya que esto es arbitrario.

A continuación se presentan los cuadros respectivos a la demanda y tiempo de anticipación en donde se detallan los siguientes factores necesarios para realizar la simulación del ejemplo.

- Valor de cada demanda y del tiempo de anticipación.
- Límites inferior y superior que delimitan el espacio de celda de 50 unidades para la demanda, los cuales se calculan de la siguiente manera; se suman los valores correspondientes a cada dos semanas y se saca el promedio para el límite inferior; para el límite superior se le suman las 50 unidades de celda al límite inferior, esta en vista de que pueden ser demandadas cantidades tanto de una semana como parte de la siguiente.

Concretamente, y para efectos de nuestra ilustración calculamos el límite superior e inferior para la segunda semana, con los valores que aparecen en la siguiente tabla.

Para la primera semana tenemos un valor de 50 unidades y para la segunda un valor de 100; por lo tanto el límite inferior será igual a:  $100 + 50/2 = 75$

Para el límite superior, a este valor de 75 le agregamos el espacio de celda de 50 para un total de 125.

El mismo procedimiento se utiliza para la determinación de los respectivos límites de el tiempo de anticipación.

- La probabilidad de ocurrencia de cada valor de distribución de cada variable para los dos fenómenos estudiados.
- Los intervalos o números índices de cada uno.
- Los números aleatorios de cada variable.
- Las probabilidades acumulativas respectivas.

Para la demanda tenemos:

Valor de la demanda	Límite inf. de celda	Límite sup. de celda	Probab.	Probab. acumul.	Números índice
50	---	75	0,006	0,006	000-005
100	75	125	0,061	0,067	006-066
150	125	175	0,242	0,309	067-308
200	175	225	0,383	0,692	309-691
250	225	275	0,241	0,933	692-932
300	325	375	0,006	1,000	933-999
400	375	---	---	1,000	---

Para el tiempo de anticipación:

Tiempo de anticipac. x	Límite inf. de celda	Límite sup. de celda	Probab.	Probab. acumul.	Número índice
1	0	1.5	0.78	0.78	00 - 77
2	1.5	2.5	0.14	0.92	78 - 91
3	2.5	3.5	0.05	0.97	92 - 96
4	3.5	4.5	0.02	0.99	97 - 98
5	4.5	5.5	0.01	1.00	99

A continuación presentamos la tabla resumen de simulación del presente ejemplo, para un periodo de 16 semanas, con la cual soportaremos nuestra decisión de determinar la cantidad necesaria a pedir y el punto de pedido.

## Simulación del ejemplo:

Número de Semanas	demanda	número Aleatorio	nivel de inventario	tiempo de anticipación	número aleat.	Comentario
0			600			punto de - partida
1	150	201	450			
2	250	765	200	1	52	pedir 600h
	pedido de 600 =		800			recibir 600h
3	200	648	600			
4	150	196	450			
5	150	093	300			
6	250	705	50	2	82	pedir 600h
7	100	010	-50			
	pedido de 600		550			recibir 600h
8	100	020	450			
9	150	149	300			
10	200	398	100	1	35	pedir 600h
	pedido de 600		700			recibir 600h
11	250	865	450			
12	250	875	200	2	79	pedir 600h
13	150	174	50			
	pedido de 600 h		650			recibir 600h
14	300	975	350			
15	150	269	200	1	43	pedir 600h
	pedido de 600 h					
16	200	361	600			

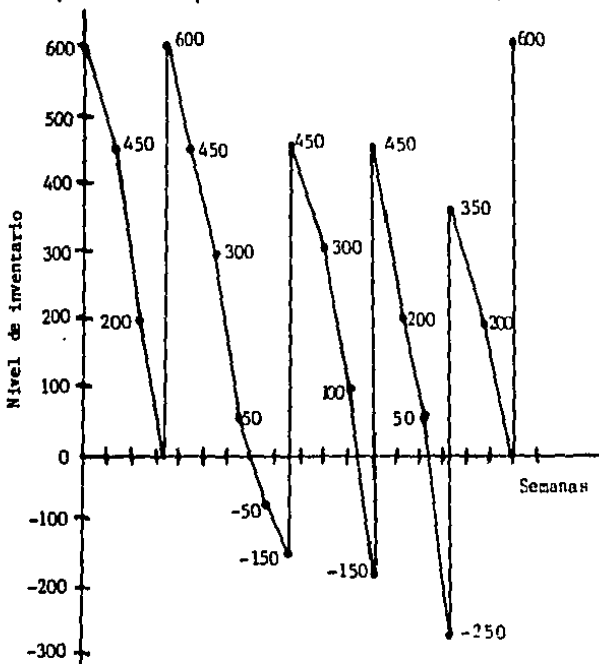
Por medio de esta simulación podemos saber el punto de pedido ya que anticipadamente nos damos cuenta de cuando debemos realizar el pedido a fin de no tener déficit en inventario que redunde en perjuicio de las ventas; asimismo podemos determinar que cantidad pedir con el propósito de cubrir ya sea el déficit presentado por posibles fallas de funcionamiento



o de satisfacer adecuadamente la demanda.

Sabemos que el número de pedidos que se presentan en la tabla es de 5 necesarios para mantener las provisiones de artículos suficientes y el tiempo de anticipación en dos ocasiones fue de 2 consecuencias del no reaprovisionamiento oportuno hasta el caso de presentarse déficit.

A continuación presentamos una gráfica de los resultados de simulación en donde podemos apreciar los momentos de pedidos y los puntos donde se determinan dichos pedidos, al igual que los tiempos de déficit de inventario.



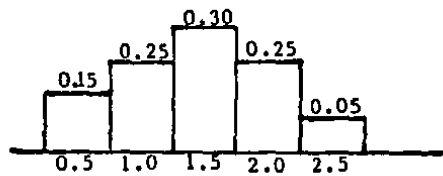
Gráfica No. 9 Simulación de inventarios

La anterior figura también nos puede servir de apoyo para la toma de una decisión, ya que es un medio por el cual podemos apreciar mejor el desempeño y el momento de los fenómenos que pueden presentarse en un momento determinado.

### V.9.3. Simulación de un sistema de colas.

Un tercer ejemplo de simulación Monte Carlo es aquel que nos presenta HILLIER/LIBERMAN\* para analizar problemas de colas probabilísticas y poder evaluar diferentes estrategias también probabilísticas.

Se parte de una distribución de tiempo entre llegadas tal como lo muestra la siguiente figura y cuadro respectivamente:



Tiempo entre llegadas; horas

tiempo entre llegadas	Probabilidad	Probabilidad acumulada	Números índice ó intervalos
0.5	0.15	0.15	00 - 14
1.0	0.25	0.40	15 - 39
1.5	0.30	0.70	40 - 69
2.0	0.25	0.95	70 - 94
2.5	0.05	1.00	95 - 99

\* HILLIER/LIBERMAN "Introducción a la Investigación de Operaciones".

La anterior distribución describe el tiempo entre llegadas a un solo canal de servicio y que el tiempo de servicio está exponencialmente distribuido.

El problema consiste en determinar el tiempo medio de servicio de manera que el costo total del sistema sea mínimo.

El costo total del sistema está dado por la siguiente ecuación:

$$CT = \text{costo del tiempo de espera} + \text{costo del servicio}$$

El procedimiento de este problema consistirá en seleccionar diferentes tiempos medios de servicio y simular el sistema para cada valor seleccionado.

El costo total de cada tiempo de servicio se puede calcular y evaluar.

Para el anterior ejemplo, el tiempo medio entre llegadas es de 1.5 horas. Este valor proporciona un punto de partida para seleccionar el tiempo medio de servicio, ya que este tiempo debe ser igual o menor que el tiempo medio entre llegadas. De lo contrario, si fuese mayor la cola crecería cada vez más.

Para efectos de simplificación en el presente ejemplo se utilizará un tiempo medio de servicio de 1.2 horas y un costo de servicio igual a \$20 por hora.

Para simular los tiempos de servicio se utiliza la ecuación siguiente:

$$x = -\theta \log r$$

De donde  $X$  es la variable a simular, en este caso es el tiempo de servicio.

$r$  = es el número aleatorio del tiempo de servicio.

Para simplificar cálculos, se utilizan números aleatorios de un solo dígito en la simulación y los tiempos de servicio se redondean un decimal.

La siguiente tabla nos muestra los resultados de la simulación de ocho llegadas y sobre la cual se podrán hacer nuevas suposiciones para tomar decisiones y proceder a adoptar una determinación.

Como condición inicial, se supone que la primera llegada ocurre después de abrir la estación de servicio o sea de 1 hora para este caso.

#### Simulación del caso

Número de llegadas	Tiempo entre llegadas	Nos. aleatorios entre llegadas	No. aleatorio $r$ del tiempo serv.	tiempo de serv. $X = -1.2 \log r$
1	1.0	34	5	0.4
2	1.5	43	5	0.4
3	1.5	40	6	0.3
4	1.0	15	2	0.8
5	0.5*	05	2	0.8*
6	1.0* <sub>1</sub>	25	4	0.5* <sub>1</sub>
7	2.0	83	1	1.2
8	1.0* <sub>2</sub>	33	9	0.1
				4.5

\* primer tiempo de espera de 0.3

\*<sub>1</sub> segunda espera en la cola de 0.1

\*<sub>2</sub> tercera espera en la cola de 0.2

A partir de esta tabla de simulación podemos calcular el costo total de espera y el costo total de servicio de la siguiente manera, suponiendo que el costo de espera por 1 unidad es de \$5 por hora.

Primero calculamos el tiempo total de espera:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo total de espera} &= \text{tiempo de espera en el servicio} + \\ &\quad \text{tiempo de espera en la cola} \\ &= 4.5 + 0.3 + 0.1 + 0.1 = 5.1 \text{ horas} \end{aligned}$$

El tiempo total para atender las 8 llegadas es de 8.8 horas.

Por lo tanto el costo total de 8.8 horas de operación es de:

$$CT = 5(5.1) + 20(8.8) = \$ 201.50$$

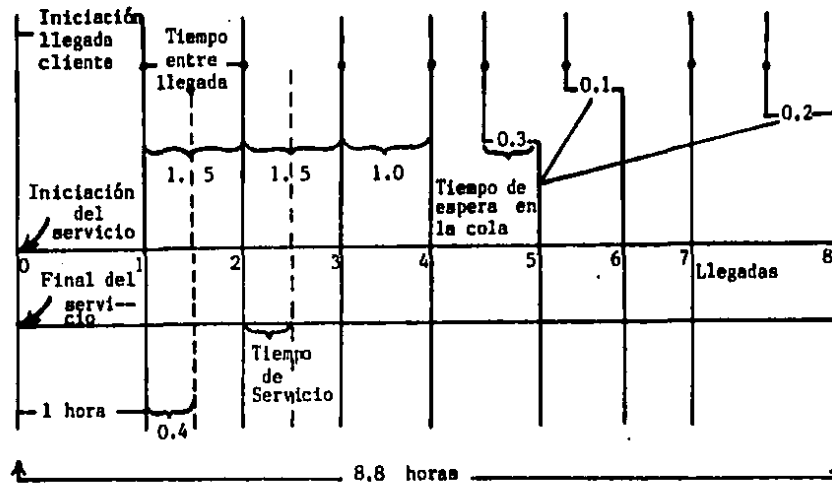
Donde el costo promedio de servicio por hora es igual a:

$$\text{Costo promedio por hora} = \frac{201.50}{8.8} = \$22.90$$

El tiempo total de espera y el tiempo total de la operación lo podemos apreciar mejor en la gráfica No. 10.

Claro está que en casos reales se deben utilizar tiempos de simulación mucho más largos y ensayar otras condiciones diferentes de servicio.

Este tipo de simulación sobre colas generalmente se utiliza en instalaciones que ejecutan algún tipo de trabajo o el sumi-



Gráfica No. 10 Representación gráfica de simulación en teoría de colas.

nistro de un servicio.

Entre las actividades que más destacan para ser simuladas están las firmas de cartas, automóviles a estacionar, barcos a cargar, partes para ensamblar, personas que esperan un servicio y en donde se pueden presentar las siguientes situaciones.

Por lo general a todas estas actividades se les denomina clientes en vista de que son personas las que las diligencian.

Si los clientes llegan con mucha frecuencia tendrán que esperar por el servicio o irse sin recibirlo. Si llegan con poca frecuencia las instalaciones que suministran el servicio tendrán que esperar, o sea permanecer ociosas, hasta que lleguen los clientes.

Los clientes que llegan y esperan y las instalaciones ociosas forman lo que se ha denominado línea de espera o simplemente cola.

El orden en el cual se atiende a los clientes que esperan el servicio se llama disciplina de cola; este orden puede ser, primero en llegar como en los bancos primero en recibir el servicio, o en función de la edad, urgencia o cualquier otro sistema de prioridad que se desee. Pero estos clientes también se pueden seleccionar en forma aleatoria, como se hace detrás de los mostradores atestados en las tiendas.

Cuando una instalación puede atender un solo cliente a la vez se le llama punto de servicio. Si el servicio se lleva a cabo en etapas siguiendo una secuencia de puntos de servicio se llama línea de servicio. Si existen varios puntos o líneas que atender a varios clientes simultáneamente, se les llama canales, los cuales pueden prestar un mismo servicio como

el caso de los supermercados o estar especializados como en el banco.

Como ejemplos de esto tenemos: en las carreteras de cuota, generalmente hay varias casetas de peaje para autos pequeños y una sola para camiones, las cafeterías tienen frecuentemente más de un canal. Varios puntos de servicio pueden alimentar a un solo subsecuente, como el caso de las taquillas de boletos en un teatro, todos pasan por un solo recolector de boletos en la entrada.

También se presenta el caso en el cual un solo punto de servicio puede dispersar a los clientes en varios canales de servicio posteriores a él, como es el caso de un empleado de información en una tienda de departamentos o en algunas oficinas del sector oficial.

Por consiguiente, siempre que lleguen clientes o que las instalaciones tengan que esperar, se genera el proceso o sistema de colas, en donde se presentan problemas como;

- Determinar si la tasa de llegada de los clientes o el número de instalaciones de servicio disponibles están bajo control.
- Si hay costos asociados al tiempo de espera de los clientes y al tiempo ocioso de las instalaciones.

Por lo tanto, se deben programar las llegadas o el aprovisionamiento de las instalaciones o ambas, con el objetivo de minimizar la suma de los costos por estas dos variables.

En general, un modelo de simulación de colas, expresa el costo total como la suma de los dos costos, o sean las



correspondientes a los clientes esperando y las de las instalaciones ociosas.

A su vez estos costos son funciones de las distribuciones en los problemas simulados y que son funciones de las variables del modelo respectivo.

#### V.10 La simulación financiera

La simulación financiera en sentido general es una metodología, es un método formal para experimentar a través de un modelo matemático con el propósito de entender mejor las situaciones financieras de una empresa que se están formulando para ser analizadas y estudiadas de tal forma que aseguren mejores cursos de acción de tipo financiero-administrativo.

Es por esto que la técnica de formulación de modelos financieros más utilizada es la simulación. El espectro continuo de actividades que quedan cobijadas bajo la denominación general de formulación financiera es verdaderamente muy amplio y sus enfoques y aplicaciones van desde muy simples hasta el uso de métodos muy sofisticados.

Con el fin de llevar a cabo un experimento de simulación financiera se debe primero formular un modelo de una situación en particular.

El modelo puede ser tan simple como una formulación de un presupuesto o puede ser un diseño más sofisticado mediante el uso de ecuaciones con varias variables a las cuales se les asigna números aleatorios a través de una distribución de probabilidad previamente establecida. En cualquiera de estos dos casos debe existir la presencia de un modelo matemático para el estudio del sistema que se esté simulando.

La existencia de un modelo presupone todos los pasos necesarios para la construcción de los mismos, pasos que quedaron ampliamente detallados en el capítulo sobre modelos. Por lo tanto se da por cumplido las etapas de selección de variables, identificación de relaciones, estimación de parámetros, etc.

Es necesario aclarar que cuando se utiliza la simulación el modelo no se resuelve, sencillamente realizamos una serie de experimentos en él.

La simulación financiera tiene sus bases en el concepto de experimentación, los experimentos se caracterizan generalmente por la observación y la repetición. El elaborador del modelo observa los efectos de los diferentes valores o estados de las variables o supuestos sobre las medidas de resultados del modelo. De la forma como se lleve a cabo la experimentación en el modelo depende el éxito en la formulación de la simulación desde el punto de vista técnico.

#### V.10.1 Modelos de simulación financiera probabilística

Los modelos probabilísticos poseen como característica distintiva la distribución probabilística de una o más variables.

Cabe destacar que las distribuciones de probabilidad se pueden obtener de dos maneras: de la opinión del especialista o de quienes tienen a su cargo el manejo de ventas por ejemplo, por un lado o a partir de los datos históricos que nos representan las secuencias y las probabilidades de ocurrencia.

Para construir una distribución de probabilidad para una variable aleatoria se requieren dos elementos esenciales a

saber: valores razonables, lo cual significa la utilización de valores para las variables que sean plausibles y que la selección debe estar delimitada a un número menor posible para cada situación.

En cuanto a las probabilidades de ocurrencia, estas deben ajustarse a las propiedades generales de probabilidad, entre las que se destacan que cada una debe ser mayor o igual a cero y que la suma de todas debe ser igual a 1.

Algo que se debe tener en cuenta al formular un modelo probabilístico es la determinación de cuantas variables en la simulación debe considerarse como probabilísticas. Sin embargo, debemos recordar que si por lo menos una variable se considera probabilística tenemos una simulación probabilística, pero la determinación correcta es que sean tan pocas como sea posible, por razones de tiempo, de costo y de no ir a distorsionar la base de resultados para la toma de una decisión.

Una vez que quien elabora el modelo ha estimado todos los valores para las variables probabilísticas, se puede proceder al diseño del experimento de simulación financiera.

La principal justificación para desarrollar un modelo de simulación probabilística, en lugar de un modelo más simple, es permitir a quien elabora un modelo financiero tener una idea más clara del riesgo inherente en una situación de decisión. Mediante este tipo de simulación la persona encargada de la dirección obtiene una descripción visual del nivel de riesgo inherente en la situación de selección que se esté modelando; descripción visual ya que los problemas de simulación los podemos representar gráficamente como apoyo para tomar decisiones.

Por otro lado, la selección de un valor para las variables probabilísticas lo hacemos de la siguiente manera: se asigna para cada una de las variables un valor de muestra que debe estar comprendido entre el rango de valores posibles, los cuales deben estar condicionados a la distribución de probabilidad dada. En otras palabras, una vez que hayamos seleccionado el número de valores para cada una de las variables, sus frecuencias deben comportarse de acuerdo con la distribución dada.

Además, mientras más corramos el modelo más se deberán acercar los resultados a la distribución de probabilidad. Si el número de observaciones es muy bajo, el patrón resultante podría no reflejar el estado a que se pretende llegar; originando representaciones inadecuadas del impacto de las variables sobre la medida de rendimiento, el número mínimo de corridas debe ser de cien.

A continuación se presentan algunas aplicaciones de simulación financiera\*.

Una empresa está tratando de decidir cual será el efecto de las operaciones del año siguiente sobre ciertas variables financieras seleccionadas sí:

- Mantiene la estructura actual tanto financiera como de operación.
- Amplia la base de sus activos en \$300.00 y financia las operaciones emitiendo obligaciones de \$300.00 con vencimiento a 20 años y con un interés del 8%.

\* BOWLIN, OSWALD. "Análisis financieros", Cambios de activos financieros, Simulación.

La estructura financiera actual es la siguiente:

- Pasivo a corto plazo sin intereses	\$100.000
- Documentos por pagar al banco (9%)	100.000
- Obligaciones de hipoteca al (7%)	200.000
- Acciones preferentes a \$100 valor nominal (8%)	100.000
- Acciones comunes a \$10 valor nominal de 50,000	<u>500.000</u>
Total de reclamaciones sobre los activos	\$1'000.000

La compañía debe cubrir pagos mensuales de interés por \$23,000 y pagar dividendos por \$8,000 sobre las acciones preferentes.

Si se realiza la expansión de los activos la cantidad anual de intereses subirá a \$47,000..

Los cargos aumentados de intereses al reaccionar con la productividad incrementada, resultante de la adquisición del activo, representarán un problema substancial de planeación, el cual puede aclararse mediante el uso de la simulación Monte Carlo.

Para efectos de solución se presentan las siguientes preguntas.

- Cuales son las utilidades por acción y el porcentaje de rendimiento sobre el capital contable, esperados para el año siguiente.
- Cuales son las probabilidades de que las utilidades por acción y el porcentaje de rendimiento sobre el capital contable sean negativos.
- Cuales son las posibilidades de que las utilidades por

acción del año siguiente sean igual o menor que el nivel promedio obtenido de \$0.41 durante los últimos 5 años?

- Cual es el nivel esperado de utilidad antes de intereses e impuestos?

Por consiguiente son dos opciones:

- Mantener la estructura actual
- Ampliar los activos en \$300,000

Información:

- Distribución de probabilidad de ingresos durante el periodo de simulación.
- Distribución de probabilidad de las razones de los costos variables a ventas durante el periodo de simulación.

No. expansión:

Ventas \$ miles	relación CV/ventas	Probabilidad y C. U.	Probabilidad acumulada	Intervalos
400	0.60	0.05	0.05	0 - 5
500	0.60	0.10	0.15	6 - 15
600	0.62	0.15	0.30	16 - 30
700	0.62	0.20	0.50	31 - 50
800	0.65	0.20	0.70	51 - 70
900	0.70	0.10	0.95	71 - 85
1000	0.70	0.10	0.95	86 - 95
1200	0.70	0.05	1.00	96 - 99
		1.00		

## Expansión:

Ventas miles	Probabilidad	Probabilidad acumulada	Intervalos
700	0.10	0.10	0 - 10
1000	0.20	0.30	11 - 30
1300	0.40	0.70	31 - 70
1350	0.20	0.90	71 - 90
1500	0.10	1.00	91 - 99
	<u>1.00</u>		

## Expansión:

Relación costos v/vtas.	Probabilidad	Probabilidad acumulada	Intervalos
0.58	0.10	0.10	0 - 10
0.59	0.10	0.20	11 - 20
0.60	0.10	0.30	21 - 30
0.61	0.10	0.40	31 - 40
0.62	0.10	0.50	41 - 50
0.63	0.10	0.60	51 - 60
0.64	0.10	0.70	61 - 70
0.65	0.10	0.80	71 - 80
0.66	0.10	0.90	81 - 90
0.67	0.10	1.00	91 - 99
	<u>1.00</u>		

La estimación de los costos fijos es:

- Si no se realiza la expansión \$200,000
- Si se realiza la expansión es de \$220,000
- Impuestos del 50%

Para poder desarrollar la simulación necesitamos además

de la anterior información un modelo probabilístico de planeación financiera.

Dicho modelo está representado por:

$$S^* - (VC^* + FC) - I(1-t) - P = UAC$$

De donde:

S = ingresos anticipados por ventas que se generarán durante el período de planeación

CV = costos variables anticipados que ocurrirán durante el período de planeación

\* = variables tomadas al azar por tratarse de simular

FC = costos fijos anticipados incurridos durante el período de planeación, excluyendo los cargos financieros y los impuestos

I = gastos por intereses anticipados incurridos durante el período

t = porcentaje del impuesto sobre la renta

P = dividendos sobre acciones preferentes pagadas durante el período de planeación

UAC = utilidades anticipadas disponibles para las acciones comunes

A continuación se presenta un estado de resultados tomado de una prueba de simulación.



## Con expansión:

Ventas*	\$ 1'000,000
Costos variables* (CV)	<u>660,000</u>
Ingresos antes de costos fijos	340,000
Costos Fijos (CF)	<u>220,000</u>
Utilidad antes de financieros e impuestos	120,000
Gastos Financieros (I)	<u>47,000</u>
Utilidad antes de impuestos (UAI)	73,000
Impuestos (50%) (T)	<u>36,500</u>
Utilidad neta	36,500
Dividendos preferentes (P)	<u>8,000</u>
Utilidad disponible a los accionistas (UAC) comunes	<u>28,500</u>

Porcentaje de rendimiento sobre acciones comunes PRAC = 28,500/500,000 5.7%

Utilidad por acción UPA = 28,500/50.00 0.57

Por consiguiente si se realiza la expansión tenemos como resultados;

UAC = \$28,500

PRAC = 5.7%

UPA = 0.57

## Sin expansión:

Ventas*	\$ 500,000
Costos variables	<u>350,000</u>
Ingresos antes de costos fijos	150,000
Costos fijos	<u>200,000</u>
Utilidad antes de financieros e impuestos	50,000

Costos financieros	<u>23,000</u>
Utilidad antes de impuestos	73,000
Impuestos 50%	<u>- 0 -</u>
Utilidad neta	- 0 -
Dividendos preferentes	<u>3,000</u>
Utilidades disponibles a los accionistas comunes	<u>81,000</u>

PRAC	=	-81,000/500,000	=	-16.2%
UPA	=	-81,000/500,000	=	- 1.62
UAC o pérdida	=	-81,000	=	

A continuación se presenta un cuadro resumen de simulación para once corridas con expansión:

U A C	P R A C (%)	U P A
28,500	5.7	\$ 0.57
1,500	0.3	0.03
53,500	10.7	1.07
8,500	1.7	0.17
88,000	17.6	1.76
99,000	19.8	1.98
118,500	23.7	2.37
73,000	14.6	1.46
73,000	14.6	1.46
105,500	21.1	2.11
<u>121,750</u>	<u>24.35</u>	<u>2.435</u>
<u>753,750</u>	<u>150.75</u>	<u>15.075</u>

Posteriormente se calcula el valor promedio de cada una de las variables estudiadas con el propósito de obtener un solo valor para cada uno de ellos y tomar una decisión sobre el resultado global. Para esto se suman cada una de las columnas y se divide por el número de corridas.

Resultado final de simulación con expansión:

Utilidad por accionistas comunes UAC =  $753750/11$  = \$ 68.523  
 Utilidad por acción = UPA =  $15.075/11$  = 1.37  
 Porcentaje de rendimiento sobre acciones comunes  
 PRAC =  $\frac{150.75}{11}$  = 13.7%

11

También se presenta el resultado final de simulación sin expansión así:

PRAC = - 0.95%  
 UPA = - 0.095  
 UAC = - 4.900

Para efectos de este ejemplo y observando los resultados presentados en cada una de las opciones de expansión y no expansión podemos darnos cuenta que convendría más realizar la expansión de activos para generar utilidades.

V.10.2 Simulación del riesgo de insolvencia de fondos\*

En este ejemplo se utiliza un modelo matemático para simular el riesgo de insolvencia de fondos de una firma. El riesgo de insolvencia de fondos se define simplemente como la probabilidad de que el saldo final de caja descienda debajo de cero.

Existe un acuerdo general, en que el valor de una firma varía según el grado de efecto de palanca financiera de su estructura de capital. Cuando se incrementa la estructura de capital se generan ciertos riesgos para una empresa.

\* Ejemplo que nos presenta MAO, James en su libro de Análisis - Financiero, en el capítulo sobre simulación de decisiones sobre el capital en giro, pág. 497.

Los riesgos aceptados por una firma que se basan en el efecto de palanca financiera incluyen no solo la mayor variabilidad de los ingresos, sino también el riesgo de insolvencia de fondos.

Sin embargo, la estimación del riesgo por los accionistas a veces no es precisa y puede ocurrir que el riesgo implicado en la estructura de capital que incrementa su valor sea tan elevado que exija medidas precautorias especiales. Por lo tanto la empresa debe evaluar independientemente el grado de riesgo sobre la base de la información más completa posible.

En este ejemplo se expone un modelo probabilístico simple para determinar el riesgo de insolvencia de fondos asociados con una magnitud dada de financiación de la deuda.

El modelo se propone determinar la probabilidad de que el interés de una magnitud dada de deuda pueda imponer a una compañía una situación de insolvencia de fondos en el caso de una recesión general.

El enfoque básico consiste en formular pronósticos acerca de:

- La intensidad y la duración de las posibles disminuciones de las ventas y
- La medida en que puede prolongarse el período medio de recaudación de las cuentas exigibles.

Estos dos pronósticos suministran la base que permite inferir el comportamiento probable de los ingresos y egresos de fondos.

Por otro lado, como el propósito es determinar el riesgo por insolvencia de fondos, concentraremos la atención únicamente en los egresos que deben afrontarse para garantizar la continuidad de la empresa. Dentro de estos indispensables egresos se incluyen erogaciones imperativas como los gastos por interés, las obligaciones impositivas y los gastos operativos de ventas y administración, necesarios para mantener las ventas; pero se excluyen las erogaciones discrecionales como los dividendos, la expansión de la planta y las adquisiciones en general.

Para poder expresar matemáticamente el modelo debemos tener en cuenta las siguientes notaciones y en donde se utiliza la tilde ( $\sim$ ) para distinguir las variables aleatorias de las constantes:

- $K_0$  = saldo de caja al comienzo de la recesión
- $\tilde{K}_1$  = saldo de caja al final de la recesión
- $\tilde{C}_1$  = recaudación de cuentas exigibles durante la recesión
- $s_0$  = ventas a crédito diarias antes de la recesión
- $\tilde{s}_1$  = ventas a crédito diarias durante la recesión
- $n$  = duración de la recesión en días
- $\tilde{S}_1$  = ventas totales durante la recesión
- $\tilde{V}_1$  = gastos variables totales de fondos durante la recesión (excluidos los impuestos)
- $b$  = índice constante entre los gastos variables de fondos y las ventas
- $f_1$  = Gastos fijos diarios de fondos (excluidos los intereses) durante la recesión
- $F_1$  = gastos fijos totales de fondos (excluidos los intereses) durante la recesión, iguales a  $f_1 n$

- $f'_1$  = gastos fijos diarios no en efectivo durante la recesión  
 iguales a  $f'_1 n$
- $\widetilde{\Delta m}$  = período promedio de recaudación de las cuentas exigibles  
 antes de la recesión, medido en días
- $i$  = gastos diarios de intereses
- $I$  = pago total por intereses durante la recesión, igual a  $nxi$
- $r$  = tasa impositiva sobre el ingreso neto de la empresa
- $\widetilde{T}$  = pago impositivo total durante la recesión igual a  
 $= r [S_1 (i-b) - (F_1 + f'_1 + I)]$

En el supuesto de que la deuda pueda reembolsarse bien al vencimiento, el saldo de caja al final de la recesión  $\widetilde{K}_1$  está dada por la expresión:

$$\widetilde{K}_1 = K_0 + \widetilde{C}_1 - \widetilde{V}_1 - F_1 - I - \widetilde{T}$$

Es decir el saldo de caja final, es igual al saldo de caja inicial más las recaudaciones menos los gastos fijos y variables de fondos menos los intereses y los impuestos.

Si se conoce la distribución conjunta de probabilidades para  $\widetilde{s}_1$  y para  $\widetilde{\Delta m}$ , puede usarse la ecuación siguiente para calcular el riesgo de insolvencia de fondos, que simplemente se trata de la probabilidad del hecho de que  $\widetilde{K}_1 < 0$ .

$$\text{Formula} = \widetilde{K}_1 = K_0 + [s_0 m + \widetilde{s}_1 (n - m - \widetilde{\Delta m})] - b \widetilde{s}_1 n - f_1 n - i n - r [\widetilde{s}_1 n (i - b) - (f_1 n + f'_1 n + I)]$$

Distribución conjunta de probabilidad de  $\widetilde{s}_1$  y  $\widetilde{\Delta m}$

$\tilde{K}_1$	$\Delta n$	10 días	20 días	30 días	40 días	Probabilidad acumulada
80		0.05	0.02	0.02	0.01	0.10
70		0.16	0.12	0.08	0.04	0.04
60		0.04	0.08	0.12	0.16	0.40
50		<u>0.01</u>	<u>0.02</u>	<u>0.02</u>	<u>0.05</u>	<u>0.10</u>
		0.26	0.24	0.24	0.26	1.00

Las probabilidades condicionales se presentan como sigue, para el periodo de recesión:

Período de recuperación	10 días	20 días	30 días	40 días
Ventas	Probabilidades			
80	0.05	0.02	0.02	0.01
70	0.04	0.03	0.02	0.01
60	0.01	0.02	0.03	0.04
50	0.01	0.02	0.02	0.05

La empresa presenta además la siguiente información adicional:

La empresa espera una utilidad antes de intereses e impuestos por \$75 y cuenta con una cantidad máxima de \$471.45 si se la financia con una deuda de \$197.

Partiendo de que la deuda  $L = \$197$ , entonces aplicando la ecuación de  $\tilde{K}_1$  encontramos su valor que es igual a  $K_1 = 0.08881$  de donde el interés total es igual a  $K_1 \times L = \$17.50$

La empresa desea saber si una deuda de \$197 que incrementa el valor disponible, supera la capacidad de deuda de la empresa más específicamente consiste en determinar si la empresa será

incapaz de satisfacer las obligaciones representadas por el problema de pago de intereses en caso de una recesión general.

- Los gastos variables de fondos son iguales al 30% de las ventas
- Los gastos fijos de fondos son iguales a \$40 diarios
- Los gastos fijos no en efectivo, principalmente la depreciación son iguales a 4.17 diarios
- El impuesto a los réditos netos de las sociedades anónimas alcanza el 50%
- El saldo de caja al comienzo de la recesión era de \$26
- Si hay recesión se espera que dure 360 días o 1 año

Por lo tanto tenemos que:

$$\begin{aligned}
 K_0 &= \$26 \\
 s_0 &= \$1 \text{ diario} \\
 m &= 30 \text{ días} \\
 n &= 360 \text{ días} \\
 b &= 0.30 \\
 f_1 &= \$40 \\
 f'_1 &= \$4.17 \\
 n.i &= \$17.50 \\
 r &= 0.5
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que  $\tilde{s}_1$  = ventas diarias durante la recesión y  $\tilde{\Delta}_m$  = aumento del promedio de días para recolectar cuentas exigibles tiene una distribución de probabilidad conjunta, calculamos  $\tilde{K}_1$ , o sea el saldo final de fondos al final



del período de recesión.

Con la información anterior, se realizaron cuatro corridas para cada una de las variables, lo cual se sintetiza en el siguiente cuadro resumen de los  $\tilde{k}_1$ .

Resultados y probabilidad del saldo de caja  
al final de la recesión

$k_1$ \$	Ventas \$ $s_1$	período de re- caudación $\Delta_m = \text{días}$	probabilidad del hecho
51.55	80	10	0.05
43.55	80	20	0.02
35.55	80	30	0.02
27.55	80	40	0.01
42.90	70	10	0.06
35.90	70	20	0.12
28.90	70	30	0.08
21.90	70	40	0.04
21.70	60	10	0.04
15.70	60	20	0.08
9.70	60	30	0.12
3.70	60	40	0.16
0.50	50	10	0.01
- 4.50	50	20	0.02
- 9.50	50	30	0.02
-14.50	50	40	0.05

Según el resultado de aplicar la fórmula para calcular  $\tilde{k}_1$  el cual obtiene un resultado 0.09 podemos decir que  $\tilde{k}_1 < 0$ , esto quiere decir que si la empresa contrae una deuda

\$197 tiene una probabilidad de insolvencia de fondos de 0.09 en el caso de una recesión general.

Este valor de 0.09 es el porcentaje de las veces en que  $\tilde{K}_1$  es menor que cero, se suman estas cantidades y luego se divide por el número de corridas que dieron menores que cero y por último se lo lleva a porcentaje.

Otra forma de determinar el 0.09 de posibilidades de insolvencia es: sumar las probabilidades de las corridas de  $\tilde{K}_1$  que son negativas, en este caso concreto será:

$$\begin{array}{r} - 4.50 \\ - 9.50 \\ -14.50 \end{array} \left. \begin{array}{l} P = 0.02 \\ P = 0.02 \\ P = 0.05 \end{array} \right\} 0.09^*$$

## RESUMEN

En el presente capítulo se presentan aspectos muy importantes para poder llevar a cabo la implantación de lo que hoy en día se conoce como simulación Monte Carlo.

En la primera parte se presentan algunas definiciones de simulación en sentido general, así como el concepto respectivo, con el propósito de dar una idea de lo que se deriva como simulación Monte Carlo ya que esta parte es algo más específica.

El método Monte Carlo es una parte de la simulación que trabaja mediante el uso de números aleatorios a través de una distribución de probabilidad consecuencia de los continuos cambios que presentan las entidades en su comportamiento actual. Es necesario aclarar que este método necesita de la ayuda del computador para su realización.

También se presentan los principales pasos que se deben tener en cuenta para su implantación en la simulación de problemas o en el estudio de un determinado sistema. Dichos pasos están debidamente ejemplificados con el propósito de verificar su real utilización y los beneficios que nos pueden generar al momento de entrar a decidir alguna opción de las muchas que se pueden presentar.

El uso de la simulación de este tipo, está encaminada a tratar de brindar diferentes cursos de acción sobre ciertas situaciones o áreas problema, los cuales, serán de gran beneficio para los encargados de tomar decisiones, de ahí que se debe saber determinar cuando verdaderamente se requiere de los servicios de esta técnica. Es por esto que aquí se presentan algunas de las posibles situaciones en las que se puede requerir de su uso.

posteriormente, se presentan las principales ventajas y desventajas que se deben analizar cuidadosamente al momento de entrar a decidir sobre si se debe o no implantar el método Monte Carlo.

El uso de la simulación hoy en día es bastante diversificado y sería muy difícil proceder a limitar los campos o los sistemas en donde puede llevarse a cabo; sin embargo se relacionan algunos en los cuales se determinan situaciones específicas en donde se puede implementar, tales como los sistemas de colas, de inventarios, de inversión, de aspectos económicos, de aspectos financieros entre otros, sistemas que se demuestran con ejemplos que nos proporcionan algunos autores de reconocida trayectoria en estos campos.

La simulación financiera, se considera como una metodología que mediante el uso de modelos matemáticos se pueden estu-

diar y analizar todo un conjunto de situaciones financieras que queden enmarcados bajo este rubro. En este capítulo se proporcionan algunos modelos de simulación financiera, en donde se destacan los probabilísticos, característica del método Monte Carlo con su respectivo caso práctico, en donde se destaca la necesidad de decidir sobre el efecto de ciertas operaciones, sobre ciertas variables financieras previamente seleccionadas y que los directivos deben advertir. Asimismo se presenta un caso práctico sobre simulación sobre el riesgo de insolvencia de fondos y su probabilidad de que el saldo final de caja descienda debajo de cero.

Por último se detallan dos ejemplos por computadora, utilizando el lenguaje BASIC, sobre inventarios y teoría de colas, en donde se pueden observar los beneficios en la utilización Monte Carlo y los beneficios en el uso de la computadora en auxilio de su determinación e implantación respectivas.

## APENDICE

Ejercicios de simulación de líneas de espera por computadora utilizando el lenguaje BASIC, correspondiente a los problemas de colas de una estación de servicio.

El presente ejercicio se puede aplicar también en centrales eléctricas, centrales telefónicas, muelles, bancos, gasolineras, tiendas de servicios y otras.

Posteriormente un ejercicio de simulación de inventarios utilizando el lenguaje BASIC, al igual que el anterior.

Por último se proporciona un tabla de números aleatorios para ser utilizado en la generación de números aleatorios necesarios para llevar a cabo la práctica de simulación del presente trabajo.

**Ejercicios:**

A continuación se presentan dos modelos de simulación de línea de espera uno con incremento fijo del tiempo y el otro con incremento variable de tiempo, cada vez que ocurre un evento (llegada y terminación de servicios).

Para poder desarrollar estos dos modelos se utilizará un sistema de una sola estación de servicio, para los cuales también se da su solución teórica que se puede obtener fácilmente, aunque es obvio que la simulación se aplica a modelos más complejos sin solución teórica. Sin embargo por tratarse de una representación básica se utilizan estos modelos sencillos.

Ejemplo 1.- Modelo con incremento variable de tiempo, por evento.

**Datos:**

Se supone el tiempo entre llegadas y el tiempo de servicio como valores de variable estocástica con parámetros conocidos  $\lambda$  y  $\mu$  que se dan al comienzo del ejercicio, junto con la cantidad de eventos (llegadas), a simular y un número aleatorio como valor inicial para arrancar el generador de números aleatorios.

**Equivalencias:**

- N = Cantidad de eventos a simular
- L =  $\lambda$  = tasa media de llegadas (unidades/tiempo)
- M =  $\mu$  = tasa media de servicio (unidades/tiempo)
- A = (i) = tiempo entre llegadas (entre la i-1 y la i)
- S = (i) = tiempo de servicio de la unidad i

- $T_1 = (i)$  = tiempo de espera de la unidad  $i$   
 $T_2 = (i)$  = tiempo ocioso del servidor en espera de la unidad  $i$   
 $T_3 = (i)$  = tiempo de espera total hasta la salida de la unidad  $i$ .  
 $T_4 = (i)$  = tiempo ocioso total hasta la salida de la unidad  $i$ .

Para efectos de la utilización del lenguaje BASIC en el presente trabajo, presentamos un diagrama de flujo, correspondiente a un modelo de simulación de línea de espera. Ver gráfica N° 12.

Se supone un comportamiento exponencial tanto del intervalo entre llegadas como del tiempo de servicio y se utiliza la fórmula  $X = -\ln r$ , donde  $r$  es un número aleatorio con distribución uniforme.

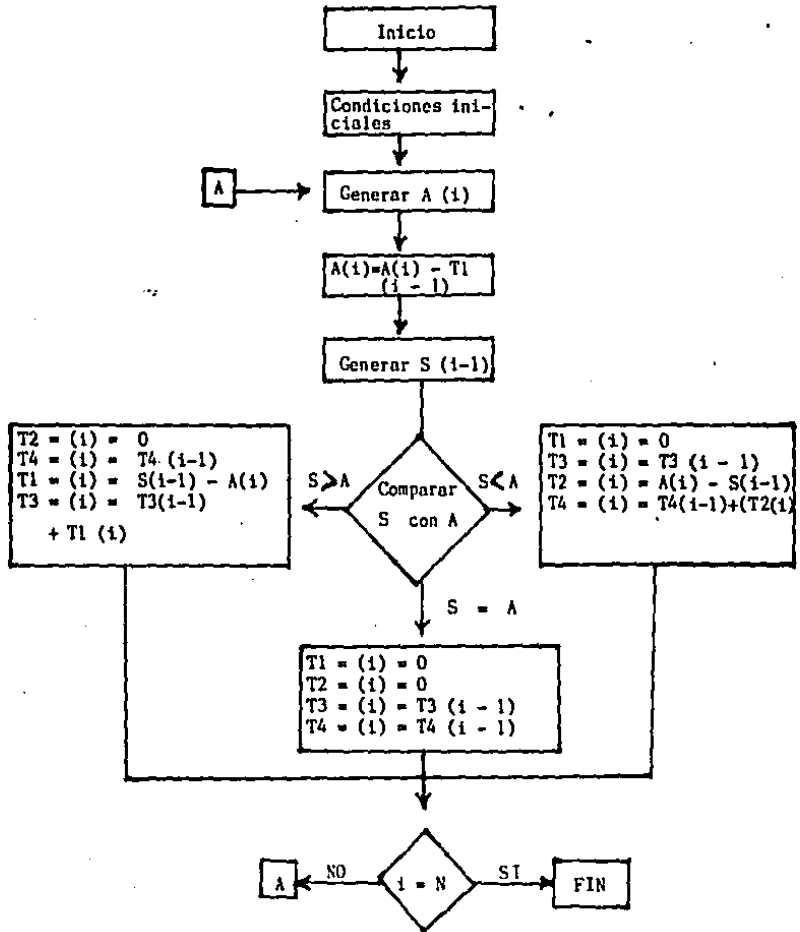
Además de los resultados de la simulación el programa también calcula los resultados que se obtendrían utilizando un modelo teórico.

Se hicieron dos corridas de simulación que se muestran más adelante. En la primera estación de servicio permanece ociosa un 65% del tiempo (13.4 unidades de tiempo de un total de 20.68) y los usuarios tienen que esperar un promedio de 0.205 unidades de tiempo.

En la segunda corrida la estación de servicio permanece ociosa un 41% del tiempo (10.98 unidades de tiempo de un total de 26.641) y los usuarios tienen que esperar un promedio de 0.25 unidades de tiempo.

La diferencia en los resultados de las dos corridas se

DIAGRAMA DE FLUJO PARA UN MODELO DE SIMULACION DE LINEA  
DE ESPERA CON INCREMENTO VARIABLE DE TIEMPO, EN UNA  
ESTACION DE SERVICIO



Gráfica No. 11 Diagrama de flujo para simulación de colas por computadora.



debe a los valores de la tasa media de llegadas y de servicio, 1 y 1.5 en la primera corrida y 2 y 4 en la segunda, respectivamente. Debido a que en la segunda el tiempo de servicio es 100% mayor que el intervalo entre llegadas, mientras que en la primera es sólo 50% mayor; en la segunda corrida la estación de servicio permanece ociosa menos tiempo y los usuarios tienen que esperar más tiempo en la cola para ser atendidos.

A continuación se presenta el programa codificado en BASIC y los resultados obtenidos para diferentes valores de los datos de entrada.

```

2  REM PROGRAMA QUE SIMULA UN SISTEMA DE ESPERA CON UNA ESTACION
   REM DE SERVICIO CON DISTRIBUCION EXPONENCIAL DE LLEGADAS Y DE
4  REM SERVICIO Y CON INCREMENTOS VARIABLES DE TIEMPO. JJRH
6  DIM A(100), S(100), T1(100), T2(100), T3(100), T4(100)
7  DIM B (100)
10 A(1) = 0
15 T1(1) = 0
20 T2(1) = 0
25 T3(1) = 0
27 T4(1) = 0
30 PRINT* ESCRIBA NO. DE LLEGADAS (EVENTOS), TOTAL*
35 INPUT N
36 PRINT* ESCRIBA EL VALOR DE LAMBDA Y MHU (UNIDS./TIEMPO)*
37 INPUT L, M
40 PRINT* ESCRIBA NO. ENTERO POSITIVO PARA GENERAR NO. ALEAT*
45 INPUT R
47 R(1) = RND(R)
50 FOR I = 2 TO N
52 FOR J = 1 TO 2

```

```

54 X(J) = RND(R)
56 NEXT J
65 A(I) = -LOG[X (1)]/L
67 A(1) = ABS[A(1)]
70 B(1) = A(1) - T1 (1-1)
85 s(I-1) = -LOG [X(2)]/M
87 S(I-1) = ABS [S(I-1)]
90 IF S (I-1) = B(I) THEN GOTO 105
95 T1(I) = 0
97 T3(I) = T3(I-1)
99 T2(I) = B(I) - S(I-1)
101 T4(I) = T4(I-1) + T2(I)
103 GOTO 128
105 IF S (I-1) = B(I) THEN GOTO 120
108 T2(I) = 0
110 T4(I) = T4(I-1)
113 T1(I) = S(I-1) - B(I)
115 T3(I) = T3(I-1) + T1(I)
118 GOTO 128
120 T1 (I) = 0
122 T2(I0) = 0
125 T3(I) = T3(I-1)
127 T4(I) = T4(I-1)
128 NEXT I
127 PRINT TAB(20); "RESULTADOS DE LA SIMULACION"
130 PRINT TAB(20); "RESULTADOS DE LA SIMULACION"
131 PRINT "INT. ENTRE", "TIEMPO DE", "TIEMPO DE", "TIEMPO"
132 PRINT "LLEGADAS , "SERVICIO", "ESFERA ", "OCTIOSO"
133 PRINT
134 FOR I=1 TO N
135 PRINT A(I), S(I), T1(I), T2(I)
136 NEXT I
137 PRINT
138 PRINT "T. TOTAL", "T. TOTAL"

```

```
139 PRINT "ESPERA", "OCIOSO"
140 PRINT
141 FOR I=1 TO N
142 PRINT T3(I), T4(I)
143 NEXT I
144 PRINT
145 E2 = T3(N)/N _____
146 E3 = T4(N)/N
147 PRINT
148 PRINT "TIEMPO TOTAL ESPERADO = ", T3(N)
149 PRINT "MEDIA DEL TIEMPO TOTAL DE ESPERA = ", E2
150 PRINT "TIEMPO TOTAL OCIOSO = ", T4(N)
151 PRINT "MEDIA DEL TIEMPO TOTAL OCIOSO = ", E3
152 REM VALORES SEGUN MODELO TEORICO DE LINEAS DE ESPERA
154 E1 = L/(M*(M-L))
156 L1 = L**2/[M*(m-L)]
158 N1 = L/(M-L)
160 F1 = L/M
162 PRINT
164 PRINT
166 PRINT TAB(20); "RESULTADOS TEORICOS"
167 PRINT TAB(20); "RESULTADOS TEORICOS"
168 PRINT TAB(10); "MEDIA DEL TIEMPO DE ESPERA = ", E1
169 PRINT TAB(10); "LONGITUD DE COLA ESPERADA = ", L1
170 PRINT TAB(10); "NO. ESPERADO UNIDADES EN SISTEMA = ",
    N1
172 PRINT TAB(10); "% ESTACION SERVICIO OCUPADA + ", F1
175 STOP
180 END
```

\* RUNNING 8683

ESCRIBA NO. DE LLEGADAS (EVENTOS) TOTAL

\* ?

?20

ESCRIBA EL VALOR DE LAMBDA Y MHU (UNIDS./TIEMPO)

? 1 + 1.5

ESCRIBA NO. ENTEROPOSITIVO PARA GENERAR NOS. ALEAT.

? 235

RESULTADOS DE LA SIMULACION

INT. ENTRE LLEGADAS	TIEMPO DE SERVICIO	TIEMPO DE ESPERA	TIEMPO OCIOSO
0	.11330793178	0	0
2.1528737175	.16504560037	0	2.0395657857
1.0372694648	.08649907307	0	.87222386447
.47840804372	1.9382698478	0	.39190897065
1.2929644776	.18603880796	.64530537017	0
.67282555167	.50953184869	.15851862646	0
.12670170307	.42578146762	.54134877208	0
4.7379436036	.06645878468	0	3.7708133639
1.2081873819	.07261503818	0	1.1417285972
1.3143555589	.05757794796	0	1.2417405207
1.3045034520	.45680604080	0	1.2469255040
.05325138447	.29816080629	.40355465633	0
1.1649753369	.06444853293	0	.46325987431
.67954263934	.25298980669	0	0.6150941064
1.6811386571	.75729873984	0	1.4281488504
.43540767128	.25391095156	.32189106856	0
.83176357811	.94878523187	0	.25596155800
.00245059355	0.4759929634	.94633463832	0
.76069933392	.51022759272	0.6616282670	0
.74778774252	0	.42406811800	0

T. TOTAL ESPERA	T. TOTAL OCIOSO	
0	0	
0	2.0395657857	
0	2.9117896502	
0	3.3036986208	
.64530537017	3.3036986208	
.80382399663	3.3036986208	
1.3451727687	3.3036986208	
1.3451727687	7.0745119847	
1.3451727687	8.2162405819	
1.3451727687	9.4579811026	
1.3451727687	10.704906607	
1.7487274250	10.704906607	
1.7487274250	11.168166481	
1.7487274250	11.783260587	
1.7487274250	13.211409438	
2.0706184936	13.211409438	
2.0706184936	13.467370996	
3.0169531319	13.467370996	
3.6785813997	13.467370996	
4.1026495177	13.467370996	
TIEMPO TOTAL ESPERADO =	4.1026495177	
MEDIA DEL TIEMPO TOTAL DE ESPERA =		.20513247589
TIEMPO TOTAL OCIOSO =	13.467370996	
MEDIA DEL TIEMPO TOTAL OCIOSO =		.67336854978

RESULTADOS TEORICOS

MEDIA DEL TIEMPO DE ESPERA	1.3333333333
----------------------------	--------------

LONGITUD DE COLA ESPERADA = 1.333333333  
 NO. ESPERADOUNIDADES EN SISTEMA = 2  
 % ESTACION SERVICIO OCUPADA = .6666666667  
 # ET = 2:25.5 PT = 0.6 IO = 1.0

# RUNNING 8583

ESCRIBA NO. DE LLEGADAS (EVENTOS) TOTAL

77?

60

ESCRIBA EL VALOR DE LAMBDA Y MHU (UNIDS./TIEMPO)

72,4

ESCRIBA NO. ENTERO POSITIVO PARA GENERAR NOS. ALEAT.

7123

#### RESULTADOS DE LA SIMULACION

TIEMPO TOTAL ESPERADO = 14.994655396  
 MEDIA DEL TIEMPO TOTAL DE ESPERA = .24991092326  
 TIEMPO TOTAL OCIOSO = 10.983742797  
 MEDIA DEL TIEMPO TOTAL OCIOSO = .18306237995

#### RESULTADOS TEORICOS

MEDIA DEL TIEMPO DE ESPERA = 0.25  
 LONGITUD DE COLA ESPERADA = 0.5  
 NO. ESPERADOUNIDADES EN SISTEMA = 1  
 % ESTACION SERVICIO OCUPADA = 0.5  
 # ET = 4:55.7 PT = 1.0 IO = 1.1

Ejemplo 2: Modelo con incremento fijo de tiempo:

Datos:

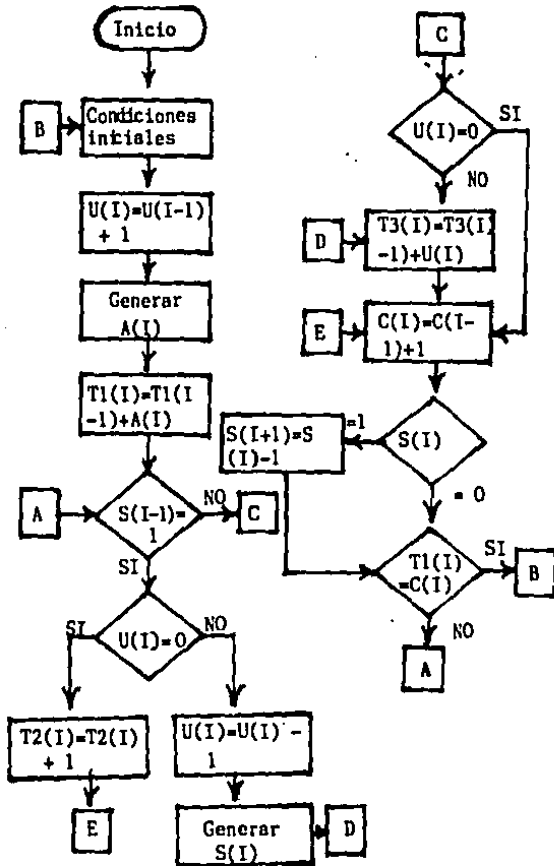
Se suponen el tiempo entre llegadas y el tiempo de servicio como valores de variable estocástica con distribución experimental con parámetros conocidos ( $\lambda$  y  $\mu$ ), que junto con el número de unidades de tiempo a simular (N) y un número positivo para arrancar el generador de números aleatorios.

Equivalencias:

- A (i) = Tiempo entre la llegada de dos unidades consecutivas al sistema.
- S (i) = Tiempo de servicio faltante en el tiempo i
- T1(i) = Tiempo total de llegadas hasta el tiempo i
- T2(i) = Tiempo total ocioso (la estación de servicio) hasta el tiempo i.
- T3(i) = Tiempo total de espera de las unidades que llegan hasta el tiempo i.
- U9i) = Número de unidades esperando servicio en el tiempo i
- C(i) = Reloj (número de unidades de tiempo que han pasado desde el comienzo de la simulación)
- N = Número de unidades de tiempo de que consta la simulación.
- L =  $\lambda$  = Tasa media de llegadas (unidades que llegan/tiempo)
- M =  $\mu$  = Tasa media de servicio (unidades que llegan/tiempo)
- R = Número entero positivo para generar números aleatorios (valor inicial).

A continuación se presenta el diagrama de flujo para este tipo de ejemplo. Ver gráfica No. 13.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO DE SIMULACION DE LINEA DE ESPERA CON INCREMENTO FIJO DE TIEMPO Y UNA ESTACION DE SERVICIO



Gráfica No. 12 Diagrama de flujo en simulación de líneas de espera con incremento fijo de tiempo.



En este caso se hicieron dos corridas de simulación de un sistema de línea de espera con una estación de servicio, con un incremento fijo de una unidad de tiempo.

En la primera corrida la estación de servicio permanece ociosa un 32% del tiempo (16 unidades de tiempo de un total de 50) y los usuarios tienen que esperar un promedio de 0.16 unidades de tiempo.

En la segunda corrida la estación de servicio permanece ociosa un 33% del tiempo (32 unidades de tiempo de un total de 100) y los usuarios tienen que esperar un promedio de 1.79 unidades de tiempo.

Las diferencias entre las dos corridas son los resultados del tiempo promedio de espera (0.16 y 1.79 unidades de tiempo) ocasionados por las diferencias en las tasas medias de llegadas (2 y 1) y en los tiempos de simulación (50 y 100) respectivamente.

La ventaja de la simulación, que se puede apreciar de estos dos ejemplos de líneas de espera, es la posibilidad de probar varias alternativas cambiando las condiciones del sistema sin afectarlo en la realidad. Por ejemplo, agregando otra estación de servicio, cambiando la eficiencia en el tiempo de servicio, introduciendo prioridades de atención, etc., hasta encontrar la alternativa más conveniente y entonces implementar ésta en el sistema real. Otra ventaja es que podemos utilizar como unidad de tiempo del modelo de simulación, aquella que se adapte mejor al período que se quiere simular (segundos, minutos, horas, días, etc.), con la única condición de que sea la misma en toda la simulación.

A continuación se presenta el listado del programa en

BASIC y los datos y resultados en las dos corridas.

```

2  REM PROGRAMA QUE SIMULA UN SISTEMA DE ESPERA CON UNA SOLA
  ESTACION
3  REM DE SERVICIO Y CON DISTRIBUCION EXPONENCIAL DE LLEGADAS
  Y DE
4  REM SERVICIO Y CON INCREMENTO FIJO DE TIEMPO, JJRH.
8  DIM A(300), C(300), T1(300), T2(300), T3(300), S(300),
  U(300)
11 PRINT ESCRIBA NO. UNIDADES DE TIEMPO DE LA SIMULACION
14 INPUT*N
17 PRINT ESCRIBA EL VALOR DE LAMBA Y MHU(UNIDS./TIEMPO)*
18 INPUT L.M.
20 PRINT *ESCRIBA NO. ENTERO POSITIVO PARA GENERAR NOS. ALEA-
  TORIOS*
21 INPUT R
24 A(0) =0
26 T1(0) = 0
28 T2(0) = 0
30 T3(0) = 0
32 S(0) = 0
34 C(0) = 0
36 U(0) = 0
40 FOR I = 1 TO N
43 FOR J = 1 TO 2
46 X(J) = RND(R)
48 NEXT J
50 IF T1(I-1)-C(I-1) 0 THEN GOTO 69
52 U(I) = U(I-1)+1
55 A(I) = -LOG[X(1)]/L
56 A(I) = 10*A(I)
58 A(I) = INT[A(I)]
59 IF A(I) 0 THEN GOTO 61
60 A(I) = A(I) +10

```

```
61 T1(I) = T1(I-1)+A(I)
64 GOTO 75
69 U(I) = U(I-1)
72 T1(I) = T1(I-1)
75 IF S(I-1) = 1 THEN GOTO 99
78 IF U(I)=0 THEN GOTO 90
80 T2(I) = T2(I-1)
83 T3(I) = T3(I-1) + U(I)
85 C(I) = C(I-1) + 1
87 GOTO 117
90 T2(I) = T2(I-1)
92 T3(I) = T3(I-1)
94 C(I) = C(I-1) + 1
96 GOTO 117
99 IF U(I) = 0 THEN GOTO 112
102 U(I) U(I) - 1
104 S(I) = LOG[X(2)]/M
105 S(I) = 10*S(I)
106 S(I) = INT[S(I)]
107 IF S(I) 0 THEN GOTO 109
108 S(I) = S(I) + 10
109 T2(I) = T2(I-1)
110 GOTO 83
112 T2(I) = T2(I-1) + 1
114 GOTO 92
117 IF S(I) = 1 THEN GOTO 125
120 S(I+1) = S(I)
122 GOTO 133
125 S(I-1) = S(I)-1
133 NEXT I
136 PRINT TAB(20); "RESULTADOS DE LA SIMULACION"
137 PRINT TAB (20); "RESULTADOS DE LA SIMULACION"
138 PRINT
```

```

140 PRINT "TIEMPO"; "INT. DE"; "NO. UNI"; "TIEMPO"; "TIEMPO"
141 PRINT "DEL "; "LLEGA-"; "DE SER"; "DADES"; "TOTAL";
    "TOTAL";
142 PRINT "RELOJ "; "DAS 2; "VICIO"; "ESPERA"; "ESPERA";
    "OCIOSO"
143 PRINT "-----"
149 FOR I=1 TO N
152 PRINT TAB(2); C(I); TAB(9); A(I); TAB(16); S(I); TAB(23);
    U(I); TAB(30);
153 PRINT T3(I); TAB(37); T2(I)
154 PRINT
155 NEXT I
156 E2 = T3(N)/N
160 E3 = T2(N)/N
161 PRINT
162 PRINT "TIEMPO TOTAL ESPERADO = ", T3(N)
165 PRINT "MEDIA DEL TIEMPO TOTAL DE ESPERA = ", E2
168 PRINT "TIEMPO TOTAL OCIOSO + ", T2(N)
171 PRINT "MEDIA DEL TIEMPO TOTAL OCIOSO = ", E3
173 REM VALORES SEGUN MODELO TEORICO DE LINEAS DE ESPERA
176 E1 = L/[M*(M-L)]
179 O1 = (1-L)*C(N)

182 L1 = L**2/[M*(M-L)]
185 N1 = L/(M-L)
188 F1 = L/M
190 PRINT
192 PRINT
195 PRINT TAB(20); "RESULTADOS TEORICOS"
196 PRINT TAB(20); "-----"
197 PRINT "MEDIA DEL TIEMPO DE ESPERA = ", E1
200 PRINT "MEDIA DEL TIEMPO OCIOSO = ", O1
203 PRINT "LONGITUD ESPERADA DE LA COLA = ", L1

```

205 PRINT "NO. ESPERADO DE UNIDADES EN EL SISTEMA = ", N1  
 207 PRINT "% TIEMPO CON LA ESTACION DE SERVICIO OCUPADA =  
 ", F1  
 210 STOP  
 212 END

# RUNNING 8950

ESCRIBA NO. UNIDADES DE TIEMPO DE LA SIMULACION

#?

?50

ESCRIBA EL VALOR DE LAMBDA Y MHU (UNIDS./TIEMPO)

?2,4

ESCRIBA NO. ENTERO POSITIVO PARA GENERAL NOS. ALEATORIOS

?15

RESULTADOS DE LA SIMULACION

TIEMPO DEL RELOJ	INT. DE LLEGA-- DAS	TIEMPO DE SER- VICIO	NO. UNI- DADES ESPERA	TIEMPO TOTAL ESPERA	TIEMPO TOTAL OCIOSO
1	4	2	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	2
5	1	7	0	0	2
6	0	6	0	0	2
7	0	5	0	0	2
8	0	4	0	0	2
9	0	3	0	0	2
10	0	2	0	0	2
11	0	1	0	0	2
12	0	0	0	0	3

TIEMPO DEL RELOJ	INT. DE LLEGA-- DAS	TIEMPO DE SER VICIO	NO. UNI- DADES ESPERA	TIEMPO TOTAL ESPERA	TIEMPO TOTAL OCIOSO
13	0	0	0	0	4
14	0	0	0	0	5
15	4	1	0	0	5
16	0	0	0	0	6
17	0	0	0	0	7
18	0	0	0	0	8
19	7	8	0	0	8
20	0	7	0	0	8
21	0	6	0	0	8
22	0	5	0	0	8
23	0	4	0	0	8
24	0	3	0	0	8
25	0	2	0	0	8
26	3	1	1	1	8
27	0	6	0	1	8
28	0	5	0	1	8
29	6	4	1	2	8
30	0	3	1	3	8
31	0	2	1	4	8
32	0	1	1	5	8
33	0	4	0	5	8
34	0	3	0	5	8
35	10	2	1	6	8
36	0	1	1	7	8
37	0	2	0	7	8
38	0	1	0	7	8
39	0	0	0	7	9
40	0	0	0	7	10
41	0	0	0	7	11

TIEMPO DEL RELOJ	INT. DE LLEGA-- DAS	TIEMPO DE SER VICIO	No. UNI- DADES ESPERA	TIEMPO TOTAL ESPERA	TIEMPO TOTAL OCIOSO
42	0	0	0	7	12
43	0	0	0	7	13
44	0	0	0	7	14
45	3	1	0	7	14
46	0	0	0	7	15
47	0	0	0	7	16
48	2	3	0	7	16
49	0	2	0	7	16
50	4	1	1	8	16
TIEMPO TOTAL ESPERADO -				8	
MEDIA DEL TIEMPO TOTAL DE ESPERA -					0.16
TIEMPO TOTAL OCIOSO -				16	
MEDIA DEL TIEMPO TOTAL OCIOSO -					0.32

RESULTADOS TEORICOS

MEDIA DEL TIEMPO DE ESPERA -	0.25	
MEDIA DEL TIEMPO OCIOSO -	25	
LONGITUD ESPERADA DE LA COLA -		0.5
NO. ESPERADO DE UNIDADES EN EL SISTEMA -		1
% TIEMPO CON LA ESTACION DE SERVICIO OCUPADA -		0.5
# ET = 3:14.8 PT = 1.0 IO = 1.0		

R

# RUNNING 8976

ESCRIBA NO. UNIDADES DE TIEMPO DE LA SIMULACION

73/

100

ESCRIBA EL VALOR DE LAMBDA Y MHU (UNIDS./TIEMPO)

?1, 1.5

ESCRIBA NO. ENTERO POSITIVO PARA GENERAR NOS. ALEATORIOS

?57

RESULTADOS DE SIMULACION

TIEMPO TOTAL ESPERADO =	179	
MEDIA DEL TIEMPO TOTAL DE ESPERA =		1.79
TIEMPO TOTAL OCIOSO =	33	
MEDIA DEL TIEMPO TOTAL OCIOSO =		0.33

RESULTADOS TEORICOS

MEDIA DEL TIEMPO DE ESPERA =	1.3333333333	
MEDIA DEL TIEMPO OCIOSO =	33.3333333333	
LONGITUD ESPERADA DE LA COLA =		1.3333333333
NO. ESPERADO DE UNIDADES EN EL SISTEMA =		2
Z TIEMPO CON LA ESTACION DE SERVICIO OCUPADA =		.666666666667
# ET = 5:18.4 PT = 1.4 IO = 0.9		



### Modelo de Simulación de Inventarios

Los sistemas de inventarios también pueden ser simulados con gran utilidad. Los sistemas de inventarios se estudian para determinar las cantidades que se deben ordenar (o producir) cuando debe hacerse y el período entre cada reorden (o tiempo de conducción de la producción) de tal manera que el costo total sea mínimo. Este costo total es la suma del costo por mantener en inventario, el costo por llegar a faltar en el inventario determinado número de unidades cuando fueron necesitadas.

En este ejemplo se presenta un sistema de inventario con demanda diaria (en días de producción) -con distribución uniforme) y con tiempo de conducción de la producción o tiempo para volver a ordenar (en días) -con distribución uniforme. Cada día el nivel del inventario va reduciéndose por la demanda que es menor o igual al punto de reorden y cuando esto sucede se envía una orden de producción de una cantidad óptima y agrega esta cantidad al nivel del inventario.

Cuando el inventario se hace negativo se calcula el costo por faltantes, en este caso el inventario se hace igual a cero. Se actualizan aquí los costos por mantener el inventario y si el nivel del inventario no ha bajado hasta el nivel del punto de reorden, se genera una nueva demanda diaria y se repite el procedimiento. Cuando el nivel del inventario es menor o igual al punto de reorden se averigua si existe alguna orden de producción pendiente; si no es así se coloca una y se actualizan los costos por perder nuevas órdenes. Luego se genera un tiempo de conducción para esta nueva orden el cual se suma al tiempo de reloj para determinar cuando se cubrirá la nueva orden.

Las corridas de corta duración que se presentan como ejemplo a continuación, nos muestran los valores de las demandas diarias, los tiempos de conducción de la producción, los niveles que va teniendo el inventario, la cantidad óptima a ordenar y el punto de reorden. Por otro lado también proporciona los costos totales por mantener inventario, por faltantes y por pedir nuevas órdenes, así como la desviación estándar de la demanda.

Definición de variables y parámetros:

- D (I).- Demanda diaria (en días de producción),  $I = 1, 2, \dots, M$ .
- TI(J).- Tiempo de conducción de la producción o tiempo para volver a ordenar (días),  $J = 1, 2, \dots, N$ .
- C 1.- Costo de mantener en inventario
- C 2.- Costo de implantación por orden.
- C 3.- Costo por falta o ruptura de inventario.
- K.- Constante tal que la probabilidad de quedarse sin inventario (igual a cero unidades) Sea alfa.
- I.- Nivel del inventario inicial.
- T.- Tiempo total de la simulación.
- R.- Reloj.
- T3.- Tiempo en que se debe completar una orden de producción.
- N 1.- Nivel actual del inventario.
- D 1.- Demanda diaria promedio (en días de producción) para M días anteriores.
- S.- Desviación estándar de la demanda calculada como promedio móvil de M días anteriores.
- T 4.- Tiempo medio de conducción de la producción como promedio móvil: de N días anteriores.
- O 1.- Orden correspondiente a la cantidad óptima.
- O 2.- Punto de reorden.

- T 5.- Costos total de mantener en inventario
- T 6.- Costo total de implementación de órdenes
- T 7.- Costo total de faltantes

A continuación se presentan cuatro corridas del modelo de inventarios con distribuciones uniformes tanto de la demanda diaria como del tiempo de conducción de la producción.

Primera corrida.- Datos: Número de valores de la demanda diaria ( $M=50$ ) y días de conducción de la producción ( $N=20$ ). Los costos unitarios por mantener, por implantar una orden de producción (por pedir) y por faltantes son de \$ 3, \$ 4 y \$ 5 respectivamente. A la constante  $K$  se le dió en todos los ejemplos el valor de uno, a excepción del tercero, en el cual vale 10.

En esta corrida se empieza con un inventario de 100 unidades y la duración de la simulación es de 50 días. Los valores de la demanda diaria pueden estar entre 1 y 5 unidades con igual probabilidad, los valores del tiempo de conducción de la producción pueden ser de 1 a 12 días. En este ejemplo se generan 50 números que representa la demanda cada día, en el momento en el que el reloj (en días) coincide con el tiempo en que se debe completar una orden, se genera otro tiempo de conducción de la producción (en este ejemplo se llegan a generar 2), el valor del inventario al llegar a cero se queda en este valor ya que el punto de reorden es 1 hasta que el valor del inventario es cero. El costo total por mantener en inventario es de \$5487 y como el costo por unidad es de \$3, significa que en los 50 días se mantuvieron en inventario 1829 unidades. El costo total por implementar nuevas órdenes de producción fue de \$8, esto es que se implementaron dos órdenes (con duración de 6 y 7 días) ya que el costo es de \$4. El costo total por faltante fué de \$135 lo que implica

que llegaron a faltar 27 unidades para cubrir la demanda, pues el costo por unidad faltante es de \$5. La desviación estándar de la demanda calculada fue de 1.216 unidades.

Segunda corrida: En esta corrida se meten como datos los mismos datos que en la anterior. En este caso se simulan 100 días de demanda con un inventario inicial de 180 unidades. El costo total por mantener inventario fue de \$19,173 (6391 unidades), el costo por implementar fue de \$ 20 (5 órdenes de producción con duración de 7,6,7, y 10 días). En el día 74 el inventario llega a cero y así continúa excepto en los días 93 y 100 en que llega a 1 y 2 unidades respectivamente. El punto de reorden y la cantidad óptima a ordenar llegan al final a un valor de tres unidades. El costo por faltantes fue de \$245 (52 unidades faltantes). Por ser este periodo demasiado extenso (100 días) en los resultados sólo se presenta la situación del sistema en los días inicial y final.

Tercera corrida: En esta corrida los costos de mantener en inventario y por faltantes son iguales que en los casos anteriores (3 y 5). El costo por implantar una nueva orden de producción (ó costo por medir nuevas órdenes) fue subido a \$10. El inventario inicial es de 40 unidades.

El costo total por mantener en inventario fue de \$897 (299 unidades), el costo total por implantar nuevas órdenes fue de \$80 (8 órdenes implantadas), y el costo total por faltantes fue de \$435 (87 unidades), todo esto durante un periodo de simulación de 60 días.

En este caso en que se subió C2 a \$10, el inventario queda en cero el día 17, observándose así hasta el día 31 en que sube a uno, en el día 32 se vuelve a quedar en cero, el día 37 otra vez sube a uno, el día 38 baja a cero, hasta el día 47

en que sube a 3, subiendo el día 48 a cuatro, bajando a 2 el día 49, etc.

Cuarta corrida: En esta corrida, como en las tres anteriores, el nivel del inventario empieza a declinar rápidamente desde 40 unidades a cero en los primeros 16 días, llegando a subir en dos ocasiones a 3 y en una a 4 solamente. En todos los casos el costo total por mantener el inventario fué de \$909 (303 unidades), el costo de implantación nuevas ordenes de producción \$140 (14 unidades) y el costo por faltantes \$515 (103 unidades).

A continuación se presenta el listado del programa en BASIC y las 4 corridas:

```

5    REM PROGRAMA DE SIMULACION DE UN SISTEMA DE INVENTARIO
    CON DEMANDA
10   REM Y TIEMPO DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION UNIFORMEMENTE
    DISTRIBUIDAS
11   REM
25   PRINT "SIMULACION INVENTARIO"
30   PRINT "ESCRIBA NO. VALORES DE LA DEMANDA DIARIA (M)
    Y EL No. DE DIAS"
35   PRINT "DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION (N) QUE SE DESEA
    SIMULAR"
40   INPUT M, N.
77   PRINT "ESCRIBA VALORES DE C1, C2, C3, K, IO, I"
78   INPUT C1, C2, C3, K, IO, I
79   PRINT "ESCRIBA 2 NOS. ALEATORIOS ENTEROS POSITIVOS"
80   INPUT Y, W
85   DIM R(20), D(200), C(200), N1(400), O1(200), O2(200)
    T1(200)
105  FOR I = 1 TO M
107  N1(I)=10

```

```
110 GOSUB 2000
112 D(I)=U
115 S1=S1+D(I)
120 C(I)=D(I)**2
125 R(I)=R(I-1)+1
130 D1=S1/M
135 T4=S3/N
140 S2=S2+C(I)
142 H=(S2/M)-(S1/M)**2
143 H=ARS(H)
145 S=SQR(H)
146 F=(2*D1*C2)/C1
147 F=ABS(F)
148 Q1=SQR(F)
149 Q2=SQR((C1+C3)/C3)
150 O1(I)=Q1*Q2
151 O1(I)=INT[O1(I)]
152 T4=ABS(T4)
155 O2(I)=t4*D1)+(K*SQR(T4)*S)
156 O2(I)=INT[O1(I)]
160 IF R(1) 1 GOTO 250
163 IF T3 R(1) GOTO 175
170 N1(I+1)=N1(I)+O1(I)
171 N1(1+1)=N1(1+1)-D(I)
173 GOTO 180
175 R1(I+1)=N1)-D(I)
180 IF N1(I+1) = 0 GOTO 195
185 T =T -N1(1+1)*C3
190 N1(I+1)=0
195 T5=T5+(N1(I+1))*[1]
200 IF O2(I) N1(I+1) GOTO 240
205 IF T3 R(1) GOTO 240
210 16+T6+C2
215 J=J+1
```

```

217 IF J R GOTO 240
220 GOSUR 2500
220 S3=S3+T1(J)
230 T3=R(1)+T1(J)
240 NEXT 1
250 PRINT TAB(15(;"RESULTADOS DE LA SIMULACION:
251 PRINT TAB(15);"-----"
252 PRINT
253 PRINT TAB(10;"VALORES DEL TIEMPO DE CONDUCCION DE LA
PRODUCCION"
254 PRINT
255 FOR J=1 TO N
256 PRINT TAB(5); T1(J)
257 NEXT J
258 PRINT
259 PRINT "TIEMPO";"DEMANDA";"NIVEL ";" CANTI- ";" PUNTO"
260 PRINT" DEL ";"DIARIA ";" DEL ";" DAD ";" DE
261 PRINT" RELOJ ";" ";"INVE- ";" OPTIMA ";"REORDEN"
262 PRINT" DIAS ";" ";"TARIO ";" ";" "
263 PRINT"-----"
264 FOR I=1 TO M
265 PRINT TAB(3);R(1);(TAB(11);D(1);TAB(19);N1(I);TAB(27);O1
(I)"
266 PRINT TAB(35);O2(I)
270 NEXT I
272 PRINT
273 PRINT"COSTO TOTAL DE MANTENER EN INVENTARIO = ";T5
274 PRINT"COSTO TOTAL POR PEDIR NUEVAS ORDENES =";T6
275 PRINT"COSTO TOTALPOR FALTANTES ="; '7
285 PRINT"DESVIACION ESTANDAR DE DEMANDA CALCULADA(PROME-
286 PRINT"DIO MOVIL DE";N;"DIAS ANTERIORES) =";S
288 GOTO 3033
2000 FOR L=1 TO 2

```

```

2001 Z(E)=RND(Y)
2002 U=1+(5-1)*2(1)
2003 U=INT(U)
2010 NEXT L
2015 RETURN
2500 FOR L=1 TO 2
2502 X(L)=RND(W)
2505 T1(J)=1+(12-1)**(1)
2511 T1(J)=INT[T1(J)]
2517 NEXT L
2526 RETURN
3055 END

```

RUNNING 1349

SIMULACION INVENTARIOS

ESCRIBA No. VALORES DE LA DEMANDA DIARIA (M) Y EL No.  
DE DIAS DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION (N) QUE SE DESEA  
SIMULAR

50,20

ESCRIBA VALORES DE C1,C2,C3,K,10,T

3,4,5,1,100,50

ESCRIBA 2 NOS. ALEATORIOS ENTEROS POSITIVOS

17,23

#### RESULTADO DE LA SIMULACION

7  
6

TIEMPO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO DE REORDEN
1	4	100	0	0
2	1	96	0	0
3	1	95	0	0
4	1	94	0	0
5	4	93	0	0

pasa



TIEMPO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO DE REORDEN
6	3	89	1	1
7	4	86	1	1
8	2	82	1	1
9	4	80	1	1
10	4	76	1	1
11	3	72	1	1
12	2	69	1	1
13	2	67	1	1
14	4	65	1	1
15	2	61	1	1
16	4	59	1	1
17	3	55	2	2
18	1	52	2	2
19	2	51	2	2
20	4	49	2	2
21	4	45	2	2
22	1	41	2	2
23	1	40	2	2
24	2	29	2	2
25	4	37	2	2
26	4	33	2	2
27	3	29	2	2
28	4	26	2	2
29	2	22	2	2
30	1	20	2	2
31	2	19	2	2
32	1	17	2	2
33	1	16	2	2
34	1	15	2	2
35	3	14	2	2
36	4	11	2	2
37	2	7	2	2
38	4	5	2	2
39	3	1	2	2
40	2	0	2	2
41	1	0	2	2
42	1	0	3	3
43	2	0	3	3
44	4	9	3	3
45	2	0	3	3
46	4	1	3	3
47	1	0	3	3
48	3	0	3	3
49	4	0	3	3
50	4	0	3	3

COSTO TOTAL DE MANTENER EN INVENTARIO = 5487  
 COSTO TOTAL POR PEDIR NUEVAS ORDENES = 8  
 COSTO TOTAL POR FALTANTES = 135  
 DESVIACION ESTANDAR DE DEMANDA CALCULADA (PROMEDIO  
 MOVIL DE 20 DIAS ANTERIORES) = 1.2165525061  
 #ET=2:57.9 PT=0.8 10-1.0

R

# RUNNING 1394

SIMULACION INVENTARIOS

ESCRIBA NO. VALORES DE LA DEMANDA DIARIA (M) Y EL NO. DE DIAS  
 DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION (N) QUE SE DESEA SIMULAR

7#?

100,50

ESCRIBA VALORES DE C1,C2,C3,K,10,T

73,4,5,1,180,100

ESCRIBA 2 NOS. ALEATORIOS ENTEROS POSITIVOS

73,5

## RESULTADOS DE LA SIMULACION

## VALORES DEL TIEMPO DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION

7

6

7

7

10

TIEMPO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO DE REORDEN
1	1	180	0	0
100	3	2	3	3

COSTO TOTAL DE MANTENER EL INVENTARIO = 19173

COSTO TOTAL POR PEDIR NUEVAS ORDENES = 20  
 COSTO TOTAL POR FALTANTES = 245  
 DESVIACION ESTANDAR DE DEMANDA CALCULADA (PROMEDIO  
 MOVIL DE 50 DIAS ANTERIORES) = 1.382196300  
 #ET=5:05.9 PT=1.3 IO=1.0

R

#RUNNING 1443

SIMULACION INVENTARIOS

ESCRIBA NO. VALORES DE LA DEMANDA DIARIA (M) Y EL NO. DE DIAS  
 DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION (N) QUE SE DESEA SIMULAR

???

60,12

ESCRIBA VALORES DE C1,C2,C3,K,IO,T

73,10,5,10,40,60

ESCRIBA 2 NOS. ALEATORIOS ENTEROS POSITIVOS

711,15

#### RESULTADOS DE LA SIMULACION

#### VALORES DEL TIEMPO DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION

5

1

9

6

10

1

6

8

0

0

0

0

TIEMPO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO DE REORDEN
1	2	40	0	0
2	4	38	1	1
3	2	34	1	1
4	2	32	1	1
5	4	30	1	1
6	4	26	1	1
7	3	22	1	1
8	1	19	1	1
9	2	18	2	2
10	2	16	2	2
11	1	14	2	2
12	2	13	2	2
13	3	11	2	2
14	4	8	2	2
15	2	4	2	2
16	2	2	2	2
17	4	0	2	2
18	1	0	2	2
19	1	0	2	2
20	3	0	2	2
21	3	0	3	3
22	1	0	3	3
23	1	0	3	3
24	4	0	3	3
25	2	0	3	3
26	4	0	3	3
27	3	0	3	3
28	3	0	3	3
29	2	0	3	3
30	2	0	3	3
31	4	1	3	3

TIEMO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO DE REORDEN
32	1	0	3	3
33	3	0	3	3
34	4	0	3	3
35	2	0	3	3
36	3	0	4	4
37	1	1	4	4
38	2	0	4	4
39	2	0	4	4
40	3	0	4	4
41	4	0	4	4
42	1	0	4	4
43	2	0	4	4
44	3	0	4	4
45	3	0	4	4
46	1	0	4	4
47	3	3	4	4
48	2	4	4	4
49	2	2	4	4
50	3	0	4	4
51	1	0	4	4
52	4	0	4	4
53	3	0	4	4
54	1	1	4	4
55	4	0	4	4
56	3	0	4	4
57	4	0	5	5
58	3	0	5	5
59	3	0	5	5
60	2	0	5	5

COSTO TOTAL DE MANTENER EN INVENTARIO = 897  
 COSTO TOTAL POR PEDIR NUEVAS ORDENES = 80  
 COSTO TOTAL POR FALTANTES = 435  
 DESVIACION ESTANDAR DE DEMANDA CALCULADA (PROME-  
 DIO MOVIL DE 12 DIAS ANTERIORES)=1.10 406995511  
 #ET=2:59.7 PT=0.9 IO=1.0

#

R

#RUNNING 1366

SIMULACION INVENTARIOS

ESCRIBA NO. VALORES DE LA DEMANDA DIARIA (M) Y EL NO. DE DIAS  
 DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION (N) QUE SE DESEA SIMULAR

#?

770,10

ESCRIBA VALORES DE C1,C2,C3,K,10T

73,10,5,1,40,70

ESCRIBA 2 NOS. ALEATORIOS ENTEROS POSITIVOS

?11,15

### RESULTADOS DE LA SIMULACION

#### VALORES DEL TIEMPO DE CONDUCCION DE LA PRODUCCION

5

1

9

6

10

1

6

8

2

4

TIEMPO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO, DE REORDEN
1	2	40	0	0
2	4	38	0	0
3	2	34	1	1
4	2	32	1	1
5	4	30	1	1
6	4	26	1	1
7	3	22	1	1
8	1	19	1	1
9	2	18	1	1
10	2	16	1	1
11	1	14	2	2
12	2	13	2	2
13	3	11	2	2
14	4	8	2	2
15	2	4	2	2
16	2	2	2	2
17	4	0	2	2
18	1	0	2	2
19	1	0	2	2
20	3	0	2	2
21	3	0	2	2
22	1	0	2	2
23	1	0	2	2
24	4	0	2	2
25	2	0	3	3
26	4	0	3	3
27	3	0	3	3
28	3	0	3	3
29	2	0	3	3

TIEMPO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO DE REORDEN
30	2	0	3	3
31	4	1	3	3
32	1	0	3	3
33	3	0	3	3
34	4	0	3	3
35	2	0	3	3
36	3	0	3	3
37	1	0	3	3
38	2	0	3	3
39	2	0	3	3
40	3	0	3	3
41	4	0	3	3
42	1	0	3	3
43	2	0	4	4
44	3	0	4	4
45	3	0	4	4
46	1	0	4	4
47	3	3	4	4
48	2	4	4	4
49	2	2	4	4
50	3	0	4	4
51	1	0	4	4
52	4	0	4	4
53	3	0	4	4
54	1	1	4	4
55	4	0	4	4
56	3	0	4	4
57	4	0	4	4
58	3	0	4	4



TIEMPO DEL RELOJ (DIAS)	DEMANDA DIARIA	NIVEL DEL INVENTARIO	CANTIDAD OPTIMA	PUNTO DE REORDEN
59	3	0	4	4
60	2	0	4	4
61	1	0	4	4
62	4	3	4	4
63	3	0	4	4
64	1	1	4	4
65	3	0	4	4
66	4	0	5	5
67	4	0	5	5
68	2	1	5	5
69	4	0	5	5
70	1	0	5	5

COSTO TOTAL DE MANTENER EN INVENTARIO = 909

COSTO TOTAL POR PEDIR NUEVAS ORDENES = 140

COSTO TOTAL POR FALTANTES = 515

DESVIACION ESTANDAR DE DEMANDA CALCULADA (PROMEDIO MOVIL DE 10 DIAS ANTERIORES) = 1.0781692722

#ET=3:48.1 PT=1.0 10=1.1

## Números aleatorios

49487	52802	28667	62058	87822	14704	18519	17889	45869	14454
29480	91539	46317	84803	86056	62812	33584	70391	77749	64906
25252	97738	23901	11106	86864	55809	22557	23214	15021	54268
69414	89353	70724	67893	23218	72452	03095	68333	13751	37260
77285	35179	92042	67581	67673	68374	71115	98166	43352	06414
52852	11444	71668	34534	69124	02760	06406	95234	87995	78560
98740	98054	30195	09891	18453	79464	01156	95522	06884	55073
85022	58736	12138	35146	62085	26170	25433	80787	96496	40579
17778	03840	21636	56269	08149	19001	67367	13138	02400	89515
81833	93449	57781	94621	90998	37561	59688	93299	27726	82167
63789	54958	33167	10909	40343	81023	61590	44474	39810	10305
61840	81740	60986	12498	71546	42249	13812	59902	27864	21809
42243	10153	20891	90883	15782	98167	86837	99166	92143	82441
45236	09129	53031	12260	01278	14404	40969	33419	14188	69557
40338	42477	78804	36272	72053	07958	67158	60979	79891	92409
54040	71253	88789	90203	54999	96564	00789	68879	47134	83941
49158	20908	44859	29089	76130	51442	34453	98590	37353	61137
80958	03808	83655	18415	96563	43582	82207	53322	30419	64435
07636	04876	61063	57571	69434	14965	20911	73162	33576	52839
37227	80750	08261	97048	60438	75053	05939	34414	16685	32103
99460	45915	45637	41353	35335	69087	57536	68418	10247	93253
60248	75845	37296	33783	42393	28185	31880	00241	31642	37526
95076	79089	87380	28982	97750	82221	35584	27444	85793	69755
20944	97852	26586	32796	51513	47475	48621	20067	88975	39506
30458	49207	62358	41532	30057	53017	10375	97204	98675	77634
38905	91282	79309	49022	17405	18830	09186	07629	01785	78317
96545	15638	90114	93730	13741	70177	49175	42113	21600	69625
21944	28328	00692	89164	96025	01383	50252	67044	70596	58266
36910	71928	63327	00980	32154	46006	62289	28079	03076	15619
48745	47626	28856	28382	60639	51370	70091	58261	70135	88259
32519	91993	59374	83994	59873	51217	62806	20028	26545	16820
75757	12965	29285	11481	31744	41754	24428	81819	02354	37895
07911	97756	89561	27464	25133	50026	16436	75646	83718	08533
89887	03328	76911	93168	56236	39056	67905	94933	05456	52347
30543	99488	75363	94187	32885	23887	10872	22793	26232	87356
68442	55201	33946	42495	28384	89889	50278	91985	58185	19124
22403	56698	88524	13692	55012	25343	76391	48029	72278	58586
70701	36907	51242	52083	43126	90379	60380	98513	85596	16528
69804	96122	42342	28467	79037	13218	63510	09071	52438	25840
65806	22398	19470	63653	27055	02606	43347	65384	02613	81668
43902	53070	54319	19347	59506	75440	90826	53652	92382	67623
49145	71587	14273	62440	15770	03281	58124	09533	43722	03856
47363	36295	62126	42358	20322	82000	52830	93540	13284	96496
26244	87033	90247	79131	38773	67687	45541	54976	17508	18367
72875	39496	06385	48458	30545	74383	22814	36752	10707	48774
09065	16283	61398	08288	00708	21816	35615	03102	02834	04116
68256	51225	92645	77747	33104	81206	00112	53345	04212	58476
38744	81018	41909	70458	72459	66136	97266	26490	10877	45022
44375	19619	35750	59924	82429	90288	61064	26489	87001	84273

## CAPITULO VI TEORIA DE JUEGOS

En la actualidad el mundo está lleno de situaciones conflictivas, de situaciones y áreas problema, lleno de conflictos y de oponentes que siempre están buscando superar a sus rivales o competidores. Podemos ver que existen siempre adversarios en conflicto, desde los conocidos juegos de azar, en las batallas militares, en las campañas de tipo político, en publicidad y propaganda, en situaciones de mercado nacional e internacional, etc., en donde se destaca el hecho de que el resultado que alcanzan estos aspectos dependen enormemente de las políticas y estrategias que escogen los adversarios. La teoría de juegos es una técnica de tipo matemático que trata sobre las características generales de todos estos tipos de situaciones problema en una forma general, y abstracta mediante el uso de ciertas técnicas auxiliares como es el caso concreto de los árboles de decisión. Desde el punto de vista muy particular, la teoría de juegos estudia y analiza los procesos de toma de decisiones de los adversarios con el fin de facilitar los cursos de acción que maximicen las situaciones operantes al momento de implantarse.

Mediante la aplicación de la teoría de juegos, se supone que es posible medir el comportamiento racional de aquellos que intervienen en los distintos juegos que se llevan a cabo, esta medición se hace con base en los resultados finales alcanzados. También existe la suposición de que el comportamiento racional de las personas ante situaciones de conflicto, están plenamente definido y representado por modelos matemáticos. El objetivo de los participantes en los juegos siempre buscan ganar el máximo sin exponerse peligrosamente ante un contrincente inteligente que también persigue el mismo objetivo.

Es por todo esto que la teoría de juegos ha adquirido tal importancia hoy en día en el mundo de los negocios modernos y que facilita los mecanismos y el procedimiento para seleccionar las mejores estrategias que proporcionen los adecuados cursos de acción por medio de los cuales se alcancen los mejores resultados posibles.

A continuación se proporcionan algunos conceptos, el procedimiento y ventajas en la utilización de ésta técnica.

#### VI.1. Antecedentes de la Teoría de Juegos.

La Teoría de Juegos constituye uno de los estudios matemáticos modernos, de situaciones en las cuales existen conflictos de intereses, con la cual se busca determinar las mejores estrategias con el fin de tratar de resolver aquellas situaciones conflictivas. Estas pueden caracterizarse como situaciones donde los participantes en pugna controlan algunas pero no todas las acciones que pueden llevarse a cabo. Se considera también la existencia de eventos aleatorios que determinan situaciones sobre las cuales los participantes pueden obtener diferentes valores.

La fundamentación matemática de la Teoría de Juegos se encuentran en los trabajos de J. Von Neumann escritos en 1928 y 1937, teniéndose también contribuciones de Boren en estudios hechos en 1921, 1924 y 1927.

J. Von Neumann dió el paso decisivo en 1928 al introducir el teorema de minimax; este teorema cobra verdadero interés en 1937, pues al estudiar el mismo Von Neumann en Economía, las ecuaciones de producción, siendo el tema y los métodos de distribución completamente ajenos a la Teoría de Juegos, le condujeron al mismo teorema y fué este hecho el que hizo

que la Teoría de Juegos y el teorema del minimax, tuvieron importancia y no solamente por sí mismos, sino por sus aplicaciones en teoría de funciones de decisión, de selección de alternativas y en la teoría de la utilidad mediante estrategias. Hasta antes de la publicación hecha en 1944 del libro de Neumann y Morgenstern, titulado "Theory of Games and Economic Behavior" no existían otros escritos que los antes mencionados; sin embargo desde la última guerra mundial el desarrollo y aplicación de la teoría de juegos, junto con otras técnicas de optimización han sido intensos.

## VI.2. Concepto General de Teoría de Juegos.

La técnica de Teoría de Juegos también se conoce con el nombre de teoría de los juegos de estrategia; y como se verá más adelante es una representación matemática que viene siendo bastante utilizada como apoyo para una mejor toma de decisiones en situaciones de conflicto o de competencia, ya sea en una manera formal o abstracta.

Inicialmente se utilizaron los juegos en situaciones militares posteriormente se hicieron aplicaciones en Economía y hoy en día se utilizan en todas aquellas situaciones de incertidumbre en las cuales no hay un opositor determinado.

Por consiguiente la teoría de juegos no nos enseña a jugar un determinado juego en particular, sino que nos ayuda a determinar los principios, los métodos y los procedimientos para una mejor selección y adopción de cursos de acción o estrategias que se consideren óptimas en situaciones de conflicto. Dicho de otra manera, la teoría de juegos más bien trata de los lineamientos generales de aquellas situaciones en donde se presentan intereses en conflicto, utilizando modelos matemáticos convenientes, con reglas bien definidas de actuación

y de una mejor selección de posibles resultados.

### VI.3. Algunas Definiciones de Teoría de Juegos.

A continuación se presentan algunas definiciones de autores muy conocidos en la aplicación y en el dominio de esta técnica.

Para los señores LIBERMAN/HILLER, la teoría de juegos se define como: La teoría de juegos es una teoría matemática que trata de las características generales de las situaciones de competencia de una manera formal abstracta. En particular esta teoría hace hincapié en los procesos de toma de decisiones por los adversarios.

La característica básica de esta definición radica en que, en muchas de estas situaciones de competencia el resultado final depende principalmente de la combinación de estrategias seleccionadas por los adversarios en conflicto, que pueden ser ejércitos, personas, empresas, equipos, etc.

La teoría de juegos según GALLAGHER y WATSON, en su libro sobre Métodos Cuantitativos para la toma de decisiones, en términos muy generales, comprende el uso de esta técnica matemática en auxilio para una mejor toma de decisiones periódicas en situaciones de conflicto, decisiones que toman los directores buscando maximizar el bienestar de las entidades, es decir, buscan ganar mediante el uso de estrategias previamente seleccionadas y previamente delimitadas.

Otra definición es aquella que nos dá JAIME VARELA en su libro de Introducción a la Investigación de Operaciones, la cual nos dice que la teoría de juegos constituye el estudio matemático moderno de situaciones en las cuales existe conflic

to de intereses, con la cual se busca determinar las estrategias necesarias para resolver dichas situaciones.

Existen muchas otras definiciones, pero en esencia todas describen los mismos principios con los mismos objetivos de ahí que solo se presenten las más sencillas a tenerse en cuenta.

#### VI.4. Principales Conceptos de la Teoría de Juegos.

Antes de entrar de lleno en lo que es en sí la técnica y algunas aplicaciones potenciales, es necesario aclarar el significado de algunos vocablos que continuamente se utilizan a lo largo de su interpretación.

Entre los que más se destacan están:

**Estrategia:** una estrategia para un jugador o participante en un juego, es la enumeración completa de todas las acciones que dicho jugador podrá tomar y usar, en toda situación que sea resultado de acciones aleatorias o por acciones tomadas por otro jugador.

La estrategia es una regla que determina una acción n que un jugador puede realizar teniendo en cuenta lo que ha sucedido antes del turno correspondiente.

Las estrategias se pueden clasificar en estrategias puras y estrategias mixtas.

**Estrategia pura:** un juego de estrategia pura es aquel en que cada jugador tiene una y solo una estrategia óptima.

La estrategia pura, es un plan preconcebido de un jugador

previando la decisión que toma en cada acción, ya sea frente a la decisión de un adversario o para una acción aleatoria en una determinada situación.

**Estrategia mixta:** esta clase de estrategia es también un plan preconcebido, pero en el cual se escogen las probabilidades de usar las estrategias puras a lo largo de un juego o partida. Aquí una estrategia pura es un caso particular de una estrategia mixta, cuando la probabilidad de esa estrategia pura es la unidad y las restantes son nulas.

Una parte importante al realizar juegos de estrategia mixta es la discreción. No debe permitirse al oponente saber cual es la estrategia que se planea usar la siguiente vez. La mejor manera de garantizar el secreto es seleccionar la estrategia de una manera aleatoria.

Aquí cada jugador tiene la probabilidad de usar varias estrategias, por lo tanto se debe tener en cuenta lo que pasaría si un determinado jugador utilizara una estrategia como si fuera pura, es decir una sola estrategia, estaría en completa desventaja. El asunto es que ninguno de los competidores tiene una sola estrategia óptima.

**Valor del Juego:** prácticamente es la función de pago, la cual indica la cantidad positiva, negativa o nula que un jugador recibirá de los oponentes que participan en el juego respectivo.

Básicamente es la representación numérica ya sea positiva o negativa para cada uno de los jugadores al final de la situación dada, la cual será que gane o pierda.

**Matriz de pago:** se llama así al arreglo bidimensional



en donde los resultados alcanzados por el jugador que representa a las columnas de la matriz ya sea ganador o perdedor le corresponde los valores resultantes del jugador de filas, o sea es el pago que el jugador de filas dá al de las columnas como resultado de la operación de juego, o viceversa que el de columnas pague al de filas.

**Minimax:** es el valor que representa y señala la mejor estrategia de juego para el jugador de las columnas en la matriz de juego, es la estrategia, única que dicho jugador siempre debe tomar si quiere ganar, de ahí la importancia de saber determinar esta figura.

**Maximin:** al igual que el anterior es el valor que le representa al jugador de filas, seleccionar y utilizar siempre la estrategia que le demarca este valor encontrado, si pretende tomar el mejor curso de acción para poder ganar cada que juegue.

**Punto de Silla:** corresponde al valor que indica la estrategia óptima que cada apostador o jugador debe utilizar cada vez que se presente un conflicto. Esta figura presenta la característica de que el valor correspondiente al minimax del jugador de columnas debe ser igual al valor correspondiente al jugador de filas, o sea el maximin. Esto es que cuando se presente esta igualdad existe punto de silla o de montar, lo cual nos indica que se trata de un juego de estrategias puras para un conflicto de  $2 \times 2$ , y es el curso de acción que cada jugador debe tomar si desea ganar.

**Combinación probabilística:** la combinación probabilística se presenta en aquellos juegos de estrategia mixta, o sea en aquellos juegos donde no existe el punto de silla. La combinación probabilística nos representa la solución óptima

para la utilización de las estrategias puras con que se conforma la estrategia mixta óptima.

Este concepto nos representa la relación de dos valores óptimos de probabilidad de juego y de éxito, los cuales demarcan el número de veces que deben utilizar las estrategias consideradas como óptimas, esto es para todos los contrincantes que participan en el juego. El procedimiento para encontrar estos valores se detalla un poco más adelante dentro del presente capítulo.

#### VI.5. Clasificación de los Juegos.

Un juego puede clasificarse tomando en cuenta los siguientes aspectos:

El número de participantes: esta clasificación hace referencia al número de participantes que intervienen en el juego, siempre que tengan intereses opuestos, como por ejemplo un juego de dos personas como el ajedrez.

Básicamente hace referencia a que pueden ser de dos participantes y de  $n$  participantes.

Los de  $n$  participantes a su vez se dividen en:

- Cooperativos, cuando entre los participantes se forman coaliciones mediante cierto tipo de transacciones.
- No cooperativos, cuando cada participante actúa en forma independiente.

Los de suma total constante: hace referencia a que la suma de las ganancias ya sea positiva o negativa es por lo

general constante cada que se termina un juego sin embargo se presenta el caso que no siempre es constante, de ahí que se subdividen en:

- De suma total constante
- De suma total no constante

A la vez los de suma total constante se dividen en:

- De suma cero o nula, cuando la suma de las ganancias de un participante es igual a la suma de las pérdidas de otro participante.
- De suma no cero, se presenta cuando lo que gana un jugador no es igual a lo que pierde el otro jugador o jugadores, por tener que cubrir el derecho al juego como el caso de un casino por ejemplo.

La forma de expresión del juego: esta clasificación se subdivide a su vez en:

- En forma extensiva: cuando se considera definida la competencia por la sucesión de todas las acciones personales y aleatorias cuyo resultado para cada participante esta en función de tal sucesión.
- En forma normalizada: cuando la competencia o el juego queda definido únicamente por las estrategias de los jugadores, y el resultado para cada jugador esta en función de las respectivas estrategias utilizadas.

En número de estrategias: teniendo en cuenta el número de jugadas que puede seleccionar cada participante se subdividen en:

- Estrategias de juego infinito: Cuando prácticamente es imposible determinar el número de jugadas.
- Estrategias de juego finito: Esto ocurre cuando el número de jugadas es determinable.

La información: puede ser de dos maneras a saber:

- De información completa: cuando cada jugador conoce todas las acciones de sus adversarios y las acciones aleatorias.
- De información incompleta: cuando cada participante desconoce totalmente el conjunto de acciones que se pueden presentar.

#### VI.6. Principales Usos de la Teoría de Juegos.

La implementación de la teoría de juegos, prácticamente parte de los usos comunes de los juegos y las partidas operacionales, los cuales son extensiones de los conceptos de juegos de guerra que se han utilizado desde los siglos XVII y XVIII y aún más si tenemos en cuenta la fecha de aparición del juego del ajedrez.

El juego moderno de guerra que lo introdujo Von Reisswitz en el ejército prusiano. Este juego clásico de guerra que alcanzó sus puntos esenciales de su forma moderna debido a la primera guerra mundial, ha llegado a utilizarse cada vez más en este siglo en aplicaciones tales como en la enseñanza de la doctrina militar, la comprobación de los planes de guerra y la evaluación de operaciones militares futuras.

Más recientemente han aparecido también juegos especializados que se basan en descripciones matemáticas utilizados prin-

principalmente en Administración, como es el caso concreto de administración de inventarios, también en sentido general se aplica en la administración de los negocios modernos, como ocurre con el funcionamiento de un depósito de suministros, concecusión de nuevos equipos, reparación de piezas y su respectiva distribución. También en la actualidad se utilizan para llevar a cabo una mejor planeación tratando de alcanzar resultados financieros óptimos.

Los campos de decisión incluyen la construcción de planes, la fuerza de trabajo, la determinación de inventarios, las inversiones, la fabricación de productos, la adquisición de materias primas, el establecimiento de precios, el mejoramiento y desarrollo de un producto, la distribución y la publicidad de un producto en determinada región, la investigación de mercados y de numerosas decisiones financieras.

También en los niveles internos medios dentro de la administración de una empresa, tales como la planeación de la producción la administración de materiales, la planeación y el mantenimiento de los requisitos de potencial humano, la distribución de recursos, las asignaciones de personal, la administración en las políticas de ventas, las operaciones de ventas al menudeo, la publicidad, la transacción de acciones y la administración de la investigación y desarrollo.

Como se puede apreciar, es muy variada la posibilidad de utilizar la teoría de juegos por medio de representaciones matemáticas abstractas, dependiendo claro esta del tipo de situaciones particulares y de las necesidades a que se enfrenten. los encargados de tomar efectivos cursos de acción en pró de beneficiar en los resultados de una empresa en particular.

### VI.7. Ventajas en el Uso de la Teoría de Juegos.

El uso de la teoría de juegos ha demostrado con el correr del tiempo grandes ventajas en la selección y adopción de cursos de acción, que han sido determinados por medio de esta técnica, además porque un gran número de empresas hoy en día la utilizan como medio para alcanzar sus objetivos.

Entre las principales ventajas que nos proporciona el uso de la teoría de juegos están:

- La teoría de juegos presenta la ventaja de utilizar modelos matemáticos con los cuales se está garantizando estudios y análisis de situaciones conflictivas, como resultado de cálculos más precisos y lógicos. Por consiguiente la adopción de un determinado curso de acción y la toma de una decisión es más exacta.
- La utilización de ésta técnica nos proporciona de una manera más exacta la estrategia o las estrategias óptimas al momento de entrar a participar en la solución de una situación conflictiva, ya sean estrategias puras o estrategias mixtas.
- La teoría de juegos nos determina situaciones sobre las cuales los participantes pueden obtener diferentes valores mediante la utilización de números aleatorios.
- El uso de la teoría de juegos nos ayuda a proporcionar los principios, métodos y procedimientos para una mejor selección de las opciones que se consideran óptimas en situaciones de incertidumbre, mediante el uso de probabilidades.

- Mediante el procedimiento que se desarrolla al utilizar esta técnica nos ayuda a determinar cuando una situación en conflicto es de tipo sencillo o determinístico o si es de tipo complejo o probabilístico.
- Cuando se utilizan estrategias mixtas por medio del uso de variables aleatorias, se evita que el oponente se entere de la estrategia que se planea usar, es decir, se logra lo que se conoce en este tema como discreción de juego.
- La teoría de juegos nos proporciona ciertos mecanismos que en un momento dado podemos identificar y plantear un problema fácilmente, como es el caso de la matriz de pagos o de juegos, ya que cuando se plantea una situación conflictiva se procede a construir esta matriz, indicándonos a su vez el número de veces que debemos utilizar las estrategias si queremos ganar en cada partida.
- La técnica en mención se puede utilizar como soporte no solo para la toma de decisiones de los altos mandos, sino también de los niveles medios.
- La teoría de juegos se puede aplicar en diferentes clases de juegos, como es el caso de la estrategia de de  $2 \times 2$  en donde cada jugador tiene dos cursos de acción para cada estrategia, o puede ser un juego de  $2 \times m$ , esto es una variada posibilidad de opciones.
- Otra ventaja se presenta cuando existen muchos oponentes y consiste en que, por medio de esta teoría se puede simplificar la situación por medio de la supresión de determinados jugadores cuyas estrategias sean y estén comprendidas en otras de mayor posibilidad de ocurrencia o de éxito, o sea se simplifica la matriz de juegos.

- Por medio de la implantación de la teoría de juegos con el auxilio de la computadora, se logra el respectivo ahorro de tiempo, debido a que se logran cálculos a gran velocidad.
- A su vez y como consecuencia del anterior se logran ahorros en costos que si se elaboraran pronósticos y pruebas manuales.
- La teoría de juegos utiliza en su aplicación la técnica llamada árboles de decisión, por medio de la cual se pueden visualizar mejor el gran número de alternativas, algunas de ellas interdependientes y en algunas ocasiones con un grado de complejidad muy grande, es por esto que se recomienda a quienes toman decisiones utilizar este método.
- Otra ventaja que nos brinda la teoría de juegos mediante el uso de los árboles de decisión, consiste en que extrae las suposiciones y cálculos implícitos para que puedan examinarse, interrogarse y revisarse.
- Otra ventaja más, es aquella que permite al tomador de decisiones visualizar las suposiciones y alternativas o cursos de acción en forma gráfica, lo cual es más fácil de entender que los métodos analíticos más abstractos.

#### VI.8. Desventajas en el Uso de la Teoría de Juegos.

Entre las principales que encontramos están:

- La limitación básica de la aplicación de la teoría de juegos en situaciones de conflicto, es la incapacidad de los jugadores para insertar valores exactos para la matriz de pagos y no la falta de métodos adecuados para resolver las estrategias y valores del juego. Las cifras



incorrectas de la matriz solo producen resultados engañosos. No es difícil decir que un resultado es preferente a otro, pero es algo muy distinto decir exactamente cuanto es más preferible. Aunque esto es cierto, generalmente una empresa puede ordenar los pagos del mejor al peor en términos de atractivo para sus clientes.

- Se presenta otra desventaja cuando el tomador de decisiones resuelve incluir demasiadas alternativas y variables, tornando la situación mucho más compleja y proyectarse cada vez más lejos en el tiempo.
- Otra desventaja se presenta cuando se incluyen en el modelo variables interdependientes y variables que dependen unas de otras, como por ejemplo cuando un volumen de ventas que depende de la participación en el mercado a su vez depende de la promoción y propaganda, etc., esto hace que se torne engorroso y los cálculos van requiriendo de más tiempo o se vuelvan casi imposibles de realizar.
- Se puede presentar el hecho de que el jugador en un momento dado no sepa identificar cuando está en presencia de estrategia mixta o pura, provocando errores en los resultados, para esto se necesita entrenar adecuadamente al personal.
- Se puede presentar el hecho de incurrir en mayores costos y tiempo como consecuencia de no poder determinar exactamente los valores que deben llevar las opciones o modelar.
- Otra desventaja consiste en tomar decisiones erradas como consecuencia de la utilización de datos y de información en general que no se ha seleccionado previamente en forma adecuada, o sea que la información no fuera confiable.

## VI.9. Elementos Fundamentales de la Teoría de Juegos.

Los elementos fundamentales que deben conformar la estructura básica de todo juego son:

**El pago al jugador:** la cantidad que todo jugador recibe o traspasa por el hecho de haber ganado o perdido una situación de conflicto debe estar representado por cantidades positivas y negativas respectivamente, a su vez, la cantidad positiva debe ser igual a la cantidad correspondiente al jugador perdedor.

**Estrategia:** las estrategias, así denominadas por muchos autores reflejan, lo que equivaldría a un plan para tomar decisiones. En otras palabras la estrategia es un plan tan complejo que ningún curso de acción que seleccionara un opositor, ni cualquier suceso al azar o de la naturaleza que pudiera presentarse podrían modificar el resultado alcanzado o el que se pretenda alcanzar.

**Estrategia pura:** este tipo de estrategia nos demarca el curso de acción que se debe seguir, cuando después de analizar un determinado juego, el jugador tiene que utilizar siempre la misma estrategia, si quiere alcanzar óptimos resultados.

**Estrategia mixta:** en esta clase de estrategia resulta que el jugador tiene que utilizar una serie de combinaciones probabilísticas de estrategias puras, si pretende alcanzar resultados óptimos.

**Juegos X por Y:** esta identificación se realiza para indicar en cada juego el número de estrategias puras de que dispone cada jugador. Por ejemplo en un juego de  $3 \times 4$  nos indica que el primer jugador cuenta con 3 estrategias puras para seleccionar la que más le dé resultados óptimos. En un juego

de  $2 \times 2$  cada jugador cuenta con igual número de estrategias puras de donde seleccionar su mejor curso de acción.

Cabe destacar que esta designación de  $3 \times 4$  o  $2 \times 2$ , nos indican la presencia de una matriz con arreglo bidimensional de 3 columnas por 3 filas que vendrían a ser el número de estrategias o posibilidades de juego.

Matriz de juego: esta matriz prácticamente es un modelo matemático o abstracción matemática de una situación en conflicto, la cual es necesaria para poder llevar a cabo el análisis respectivo dentro de la aplicación de la teoría de juegos. Como ya se especificó, es un arreglo matricial de filas y columnas que representan a los jugadores que participan en cada situación.

La siguiente figura nos ilustra mejor lo dicho en esta sección:

C

Jugador de columnas

		1	2	3
F Jugador de filas	1			
	2			
	3			

matriz de juego

#### VI.10. Clases de Juegos.

Entre las clases de juegos más comúnmente utilizadas por aquellos que aplican la teoría de juegos están:

- Juegos de dos estrategias o juegos de  $2 \times 2$
- Juegos de estrategias mixtas o juegos de  $2 \times m$

Juegos de dos estrategias o juegos de  $2 \times 2$

Como su nombre lo indica es el típico arreglo matricial para dos jugadores, cuyo resultado debe ser igual a cero, o sea que la cantidad correspondiente al jugador ganador debe ser igual a la cantidad del perdedor, además es finito o sea que el número de jugadas que se realizan es fácilmente determinable y en donde cada participante sólo cuenta con 2 estrategias de donde seleccionar su curso de acción, de ahí su nombre de  $2 \times 2$ .

Cabe destacar que en esta clase de juegos, cada jugador y oponente puede ser una sola persona, un grupo de personas, que persiguen un mismo objetivo, incluso pueden ser sucesos de azar o sucesos de la naturaleza, como por ejemplo la noche y el día, el sol y la lluvia, etc., o juegos de azar como el dominó o un juego de volados.

Método analítico de un juego de  $2 \times 2$

En primer lugar se construye lo que denominamos matriz de juego, donde cada jugador contiene 2 estrategias en columnas y dos estrategias el jugador de las filas. A partir de este arreglo matricial podemos obtener la solución óptima de una matriz de juego.

Para poder obtener la solución óptima de una matriz de juego debemos analizar los siguientes aspectos importantes:

- Determinar si se debe emplear una estrategia pura o mixta

cada vez que se vaya a llevar a cabo un determinado juego.

- Si se determina que se debe emplear una estrategia mixta se debe precisar la combinación probabilística en que se deben emplear cada una de las estrategias puras que conforman la mixta ya determinada.
- También se debe determinar el valor promedio del juego después de realizarlo varias veces ya que nunca se juega por una sola vez y porque siempre se busca seleccionar el mejor curso de acción entre varias posibilidades.
- Posteriormente se procede a determinar si la matriz de juegos tiene lo que se conoce con el nombre de punto de silla, pues de presentarse este ya se obtiene una parte de la solución óptima, por cuanto esta figura nos determina que en este juego sólo se deben utilizar estrategias puras o sea de  $2 \times 2$ .

#### Procedimiento para determinar el punto de silla

Se analizan los valores correspondientes a las estrategias del jugador de filas (F) y se seleccionan los valores menores que se determinan más específicamente como valores mínimos. Estos valores ya seleccionados se anotan verticalmente al lado derecho de la matriz de juego frente a cada estrategia.

Igual procedimiento se realiza para el jugador de columnas, nada más que aquí se seleccionan los valores máximos anotándolos debajo de cada estrategia en forma de fila adicional, pero fuera de la matriz de juego.

Una vez que se ha realizado lo anterior, se procede a seleccionar el mayor valor o máximo valor entre los valores

mínimos previamente determinados en el jugador de filas y se lo señala con un asterisco para diferenciarlo.

De igual forma para los valores de las columnas se selecciona el mínimo valor entre los máximos determinados anteriormente y se lo denota con asterisco.

Por último, si los valores señalados con asterisco son iguales, quiere decir que existe punto de silla, y cada contrincante cada vez que juegue tendrá que escoger la estrategia demarcada con el punto de silla o sea la estrategia del asterisco pues es la óptima.

Para una mejor visualización lo representamos gráficamente.

Tenemos la siguiente matriz de juego de 2 x 2

		C		
		1	2	
F	1	6	5*	Valores mínimos de filas 5* valor mayor = máximo entre mínimos
	2	5	4	

Valores máximos  
de columnas 6  
entre máximos

5\* Valor menor = minimax

Por consiguiente el valor que se encuentra en el rectángulo subrayado es el punto de silla igual a 5\*.

Siguiendo con los aspectos importantes que se deben tener en cuenta para determinar la solución óptima de una matriz de juego tenemos:

Determinar el valor del juego: este valor de juego puede variar según se realice con estrategias puras o estrategias

mixtas como lo veremos a continuación:

Si la matriz tiene punto de silla o de montar, el valor del juego es igual al valor del punto de silla, por cuanto es la estrategia que cada jugador emplearía contra su oponente y porque al resultar el mismo valor la cantidad que gana C es igual a la cantidad que pierde F.

Esto gráficamente es:

		1	2	
		6	5	Mínimos
F	1			5* maximin
		3	4	
	2			3 maximin = 5* y minimax=5*
				como 5 = 5 el valor de juego es 5
		máximos 6	5* minimax	

Por otra parte, cuando el valor máximo de F es diferente al valor minimax de C, quiere decir que no existe punto de silla y la solución óptima indica que ambos jugadores deben utilizar estrategias mixtas, o el uno mixta y el otro puras.

Juego de estrategias mixtas o 2 x n

Cuando se utilizan los juegos de estrategia mixta, de antemano se sabe que no existe punto de silla o de montar y hay que proceder a encontrar la combinación probabilística para el uso de las estrategias en el juego con lo cual determinaremos nuestra solución óptima.

### Cómo se determina la combinación probabilística

Para poder encontrar la solución óptima se debe obtener la relación o combinación probabilística con que se deben utilizar las estrategias puras con las cuales conformaremos la estrategia mixta óptima; para efectos de esta se debe seguir el procedimiento que a continuación se detalla.

Se analizan las estrategias del jugador de filas, posteriormente se restan los valores de la segunda columna de los valores de la primera así:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 & \text{C} \\
 & 1 \quad 2 \\
 \text{F} \quad 3 & \boxed{\begin{array}{|c|c|} \hline 3 & 6 \\ \hline \end{array}} \quad 3 \\
 & 4 & \boxed{\begin{array}{|c|c|} \hline 5 & 4 \\ \hline \end{array}} \quad 4^* \\
 & & 5^* \quad 6
 \end{array}
 \end{array}
 -
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 & \text{C} \\
 & 1 \quad 2 \\
 \text{F} \quad 1 & \boxed{\begin{array}{|c|c|} \hline 3 & 6 \\ \hline \end{array}} \\
 & 2 & \boxed{\begin{array}{|c|c|} \hline 5 & 4 \\ \hline \end{array}}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \boxed{\begin{array}{|c|} \hline -3 \\ \hline \end{array}} \\
 \boxed{\begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \end{array}}
 \end{array}$$

Matriz de juego  
sin punto de silla  
ya que  $5^* \neq 4^*$

Posteriormente se invierte el resultado de la operación sin tener en cuenta el signo negativo, o sea en valores absolutos, lo cual tendríamos:

$$\begin{array}{c}
 1 \quad \boxed{\begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \end{array}} \\
 2 \quad \boxed{\begin{array}{|c|} \hline 3 \\ \hline \end{array}}
 \end{array}$$



Una vez invertido el resultado en forma positiva, este valor es lo que representa la combinación probabilística en que las estrategias puras deben utilizarse para conformar la estrategia mixta óptima.

El resultado encontrado de 1:3 significa que el jugador de filas de cada cuatro veces que juegue deberá utilizar una vez la estrategia 1 y tres veces la estrategia 2, usando como artificio al azar los números aleatorios.

De igual forma se procede para el jugador de columnas, o sea que los valores de la segunda fila se restan de la primera así:

$$\begin{array}{cc}
 & \text{C} \\
 & \begin{array}{cc} 1 & 2 \end{array} \\
 \begin{array}{|c|c|} \hline 3 & 6 \\ \hline \end{array} \\
 - & - & \begin{array}{|c|c|} \hline -2 & 2 \\ \hline \end{array} & \text{Resultado inicial} \\
 \\ 
 \begin{array}{|c|c|} \hline 5 & 4 \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

Nuevamente haciendo caso omiso del signo negativo se invierte el resultado inicial, que aquí por coincidencia resultó igual.

$$\begin{array}{cc}
 & \text{C} \\
 & \begin{array}{cc} 1 & 2 \end{array} \\
 \begin{array}{|c|c|} \hline 2 & 2 \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

Este resultado es la combinación probabilística en que las estrategias puras deben utilizarse para formar la estrategia mixta óptima.

Para este jugador, de cuatro jugadas deberá utilizar dos veces la estrategia 1 y dos veces la estrategia 2, igualmente utilizando los números aleatorios para representar el azar en el uso de las estrategias.

Por último tenemos:

		C			
		1	2		
F	1	3	6	1	Combinación probabilística de F = 1:3
	2	5	4	3	
		2	2		

Combinación Pro-  
babilística de C = 2:2

Para el jugador de columnas C la estrategia mixta óptima es igual a 2:2 y para el jugador de filas = 1:3

Como se determina el valor del juego en estrategias mixtas

Valor de juego: para concluir la solución de una matriz de juego donde no existe punto de silla, se debe determinar el valor probable del juego de la siguiente manera:

- Si la solución óptima de un juego de  $2 \times 2$  como en el anterior caso, requiere de una estrategia mixta, el valor del juego es el valor correspondiente al pago promedio

que resulta de emplear una estrategia mixta óptima por parte de un jugador contra una pura del oponente; para eso se procede de la siguiente manera:

- Se multiplica la combinación probabilística del jugador de columnas por cualquiera de las estrategias puras del jugador de filas y posteriormente se suman estos valores.

Para esto tenemos la siguiente matriz de juego:

		C		
		1	2	
1	8	1		2
2	4	6		7
				Combinación probabilística
Combinación probabilística		5	4	

De donde su combinación probabilística de  $F = 2:7$  y la  $C = 5:4$ , después de decidir a realizar el procedimiento de como encontrar la combinación probabilística, proceso que se explicó anteriormente.

Posteriormente tenemos:

La combinación probabilística de  $C = 5:4$

La multiplicamos por los valores correspondientes a la estrategia 1 del jugador de filas y se suman.

$$5 \times 8 + 4 \times 1 = 40 + 4 = 44$$

Posteriormente este valor así encontrado se divide entre la suma de los valores de la combinación probabilística con que se empezó, en este caso es 5:4, esto es  $5 + 4$ .

Entonces tenemos que  $44/5 + 4 = 44/9$

Este resultado es el valor del juego para el presente juego. Si se desea comprobar este valor, se puede proceder de igual forma con la estrategia dos, que para este ejemplo sería:

$$\frac{5 \times 4 + 4 \times 6}{5 + 4} = \frac{20 + 24}{9} = 44/9$$

Como este valor es igual al obtenido anteriormente, se confirma que es el valor del juego correspondiente.

Por otro lado es necesario aclarar que también se puede determinar el valor del juego utilizando la combinación probabilística que debe emplear el juego de filas con cualquiera de las dos estrategias del jugador de columnas, y debe dar el mismo resultado. Sin embargo, si el valor calculado es diferente al encontrado cuando se analizó el jugador de columnas, esto indica que hubo un error de proceso y debe procederse a rectificar.

Para concluir podemos decir que una vez estudiado y analizado todo el proceso de esta sección, se está en capacidad para realizar y verificar algunas aplicaciones de la gran diversidad de las probabilidades prácticas de aplicación de la teoría de juegos.

#### VI.11. Algunas Aplicaciones Potenciales de la Teoría de juegos.

En este primer ejemplo se trata de demostrar la aplicación

de la teoría de juegos desde el punto de vista manual.

Este ejercicio se hace sobre un fabricante de radios de alta fidelidad.

La empresa fabricante de radios de alta fidelidad, Equipos Radiofónicos Fernandez, S.A., se especializa en construir amplificadores de excepcional fidelidad que sobrepasan los 1,000 vatios. El propietario de la empresa, el Sr. Fernandez afronta desde hace algún tiempo un problema que le urge resolver.

Los amplificadores dependen para obtener su alta calidad, del funcionamiento de un condensador que va dentro en un lugar casi inaccesible después de armados los radios.

Además se cuenta con la siguiente información:

- El costo de cada condensador es de \$10.00
- Cuando el condensador sale defectuoso y tiene que cambiarse, le cuesta a la compañía \$100.00

Para esto el Sr. Fernandez cuenta con las siguientes alternativas para tomar una decisión al respecto:

- Comprar un condensador de mejor calidad, garantizado por el fabricante, este condensador cuesta \$70.00
- Comprar un condensador que incluye la cobertura de un seguro. Si este condensador resultare defectuoso, la compañía de seguros pagará todos los costos incurridos inclusive el del condensador mismo, pero este condensador cuesta \$100.00

Con esta información el Sr. Fernández debe tomar una decisión.

El especialista en teoría de juegos aseguró que se trataba de un juego con matriz de 3 x 2.

Por consiguiente la matriz de juego resultante es la siguiente:

		(1) Condensador defectuoso	(2) Condensador no defectuoso
Fernández puede comprar	(1) barato	- 100	- 10
	(2) Garantizado	- 70	- 70
	(3) Asegurado	0	- 100

Ahora se debe determinar si el juego tiene o no punto de silla.

C

		1	2	
				mínimo de filas
1		-100	- 10	-100
F 2		- 70	- 70	- 70* minimax
3		0	-100	-100
	máximo de columnas	0	- 10*	máximin

Por lo tanto no existe punto de silla y se trata de una estrategia mixta, de donde se determina que las segundas estra-

tegia es dominada por las otras dos con lo cual se puede suprimir de la matriz por ser no relevante.

La matriz resultante es la siguiente, a la cual se le debe hallar la combinación probabilística a fin de encontrar el valor del juego.

		C		combinación probabilística
		(1) condensador defectuoso	(2) condensador no defectuoso	
F	1	- 100	- 10	- 90
	2	0	-100	-100

10  
9

De aquí se deduce que la estrategia mixta óptima que tiene el Sr. Fernández para utilizar es aquella que tiene una combinación probabilística de 10:9, con relación a las estrategias puras 1 y 2 respectivamente.

Posteriormente hallamos el valor del juego, el cual es el costo promedio de los condensadores a saber:

$$\frac{10 \times (-100) + 9 \times 0}{10 + 9} = \frac{1000}{19} = - \$ 52,63$$

Realizamos la prueba para asegurarnos del valor encontrado.

$$\frac{10 \times (-10) + 9 \times (-100)}{10 + 9} = \frac{-100 + (-900)}{19} = \frac{-1000}{19} = - \$ 52,63$$

Con estos datos se pueden tomar en cuenta las siguientes resultados producto de cálculos y análisis, por medio de los cuales se obtuvieron las siguientes conclusiones.

- En ningún caso se debe comprar el condensador garantizado de \$70 de costo.
- Que solo se deben comprar, de cada 19 condensadores que se necesiten, 10 condensadores baratos de \$10 cada uno y 9 asegurados de \$100 de costo.
- Que la utilización de los condensadores, según las calidades indicadas en el proceso de fabricación de los amplificadores, debería hacerse con base en la combinación probabilística de 10:9, con la ayuda de números aleatorios para simular al azar.
- Que si se siguen estos aspectos, el costo promedio por condensador le resultaría a la empresa en un valor de \$52,63. Por lo tanto con este costo promedio le representa a la empresa un ahorro de  $\$70.00 - \$ 52,63 = \$ 17,37$  por cada condensador.
- Que este ahorro de \$17,37 por cada condensador es el mínimo que se logra, si se compara con la alternativa 2 o sea la compra de condensadores garantizados por \$ 70.

Por consiguiente el Sr. Fernández tiene resuelto su problema, por medio de la teoría de juegos y ya sabrá que decisión tomar al respecto.

- Un segundo ejemplo, es aquel en el cual se utiliza la técnica de árboles de decisión.

Se presenta la siguiente información:

Los laboratorios de investigación de una compañía que procesa alimentos han descubierto un nuevo proceso para preservar los alimentos y están considerando la introducción al



mercado de una línea de comidas empacadas, para que se vendan a través de supermercados. Ya han producido algunas muestras y han realizado pruebas de sabor con un pequeño grupo de amas de casa. Los resultados indican que la nueva línea se considera igual a las líneas de competencia en todos los aspectos y superior en algunos.

Experiencias anteriores y la opinión considerada del departamento de investigación de mercados sugieren que en estas circunstancias la probabilidad de una introducción con éxito daría como resultado una utilidad anual cuyo valor presente es de \$3'000.000 (de pesos). Sino diera resultado daría una pérdida de \$250.000 (pesos).

En la práctica, la compañía tiene una serie completa de decisiones posibles a tomar. Estas van desde pruebas adicionales de aceptación del público hasta la planeación y duración de la campaña de mercadeo, e incluyen problemas de producción tales como la ubicación de la planta, la construcción de nuevas plantas y modificaciones en las ya existentes. Con fines de ilustración, suponemos que la compañía puede ya sea abandonar la idea, o introducir el producto inmediatamente, o hacer el intento con una prueba de mercado a un costo de \$50.000 (pesos).

Si se utiliza la prueba de mercado hay tres resultados posibles a saber:

- Menos del 10% del público prueba el nuevo producto.
- Más del 10% del público prueba el producto, pero menos del 50% de los que lo compraron lo vuelven a comprar por segunda o más ocasiones.
- Más del 10% lo prueba el producto y la tasa de repetición de la compra es del 50% o mayor.

Si la prueba de mercado indica que todavía no se justifica una introducción a escala nacional, la compañía tiene en la práctica las siguientes posibilidades:

- Modificar el producto
- Modificar la publicidad
- Cambiar el precio
- Realizar la investigación del porqué del rechazo

Sin embargo, para el presente ejemplo se supone que al finalizar la prueba de mercado, las únicas posibilidades son:

- Introducir el producto a escala nacional
- Olvidarse de la idea totalmente

Se pregunta, que decisiones deberían tomarse con base en la anterior información.

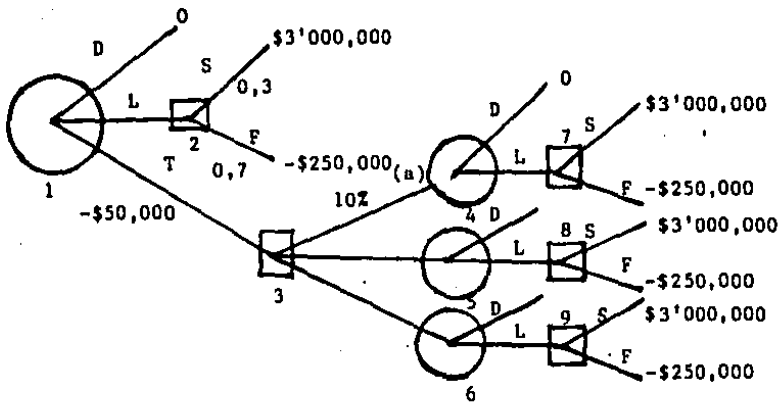
Para esto procedemos a construir el árbol de decisiones para poder esquematizar y observar mejor la situación. (ver gráfica No. 13)

Del presente gráfico se desprende el siguiente análisis:

El nodo 1 comprende la decisión entre:

- olvidarse de la idea (D)
- introducir el producto a escala nacional (L)
- intentar la prueba del mercado (T)

Para este caso, si se toma la decisión L, se tiene la siguiente situación, la cual está fuera del control de la compa-



Gráfica No. 13. Arbol de decisiones, caso práctico

ñia.

- hay una probabilidad de 0,3 de éxito (S)
- se tiene una probabilidad 0.7 de fracaso

El cálculo de utilidad para el nodo 1 se da:

- Será utilidad de cero si se elige D
- Será de \$ 3'000.000 si se elige L y si tiene éxito
- Será de - \$250.000 si se elige L y no tiene éxito

El valor monetario esperado si se introduce el producto será:

$$\$3'000.000 \times 0,3 - \$250.000 \times 0,7 = \$725.000.$$

Ahora examinemos la consecuencia de la decisión de utilizar

una prueba de mercado, ante la cual debemos pagar \$50.000 para alcanzar el nodo 3 en donde se presentan tres opciones así:

- menos de 10% de prueba
- cuando menos el 10% de prueba, y menos del 50% por si se repite.
- cuando menos el 10% de prueba y cuando menos el 50% si sobrepasa el límite de consumo previo.

Para proseguir con el método se recomienda hacer los cálculos y análisis de derecha a izquierda o sea de adelante hacia atrás.

Aquí se supone que hemos alcanzado los nodos 7, 8 y 9 en donde se puede elegir las siguientes opciones:

- En cada uno de los nodos se presenta el hecho que se obtiene una utilidad de \$3'000.000 si hay éxito y una pérdida de \$250.000 si hay fracaso.
- Para determinar el valor monetario esperado en cada uno de estos tres nodos, necesitamos las probabilidades de S y F en cada uno.

Para poder determinar estas probabilidades tomamos referencias de otras introducciones de productos similares en el pasado, pero podría ser más probable que se obtuvieran a partir de juicios subjetivos de expertos. Supongase que estos aspectos proporcionan las probabilidades conjuntas que se muestran en la siguiente tabla.

	← de 10% prueba (a)	→ 10% prueba y < 50% si repite (b)	→ 10% de prueba y > 50% si repite (c)	Probabilidad
S (éxito)	0.03	0.07	0.20	0.30
F (fracaso)	0.47	0.18	0.05	0.70
Probabilidad	0.50	0.25	0.25	1.00

#### Probabilidades conjuntas de ocurrencias

Los elementos de la parte central de la tabla, muestran las probabilidades conjuntas, por ejemplo, las probabilidades de que la prueba de mercado de < del 10% con fracaso es de 0.47 y los totales marginales muestran las probabilidades absolutas de S y F y a su vez de a, b y c.

Ahora procedemos a calcular las probabilidades de éxito o fracaso para cada variable, cuando ocurra la columna (a).

Sabemos que de cada 100 pruebas de mercado en 50 veces ocurrirá (a) y que 3 de las 50 tendrán éxito si se lleva a cabo la introducción.

Por consiguiente calculamos la probabilidad de éxito (S) siguiendo la columna (a) es que de cada 50 ocurren 3 cuya probabilidad es  $3/50 = 0.06$ .

La probabilidad de fracaso (F) que de cada 50 ocurren 47 o sea que la probabilidad de fracaso es  $47/50 = 0.94$ .

	Corridas	Relación	Probabilidad x
Exito (S)	100	3/50	0.06
Fracaso (F)	100	47/50	0.94
Probabilidad			1.00

Siguiendo el mismo procedimiento para las posibilidades de ocurrencia en b y en c tenemos los siguientes resultados:

Para la columna b

	relación	Probabilidad
Exito (S)	7/25	0.28
Fracaso (F)	18/25	0.72
		1.00

Para la columna c

	relación	Probabilidad
Exito (S)	20/25	0.8
Fracaso (F)	5/25	0.2
		1.00

Ahora se procede a calcular el valor monetario de los nodos 7, 8 y 9 así:

Tenemos que el valor monetario del nodo 7 se alcanzó a través de la columna (a).

Entonces:  $\$3'000.000 \times 0.6 - \$250.000 \times 0.94 = - \$55.000.$

El valor monetario del nodo 8 es a través de la columna (b).

$\$3'000.000 \times 0.28 - \$250.000 \times 0.72 = \$660.000$

El valor monetario del nodo 9 se alcanza en (c)

$\$3'000.000 \times 0.8 - \$250.000 \times 0.2 = \$2'350.000$

Por consiguiente la posibilidad que se debe tomar es la de la columna (c) ya que alcanza la mayor utilidad, aún se le reste el valor de estudio del mercado.

#### RESUMEN.

En el presente capítulo, sobre teoría de juegos han quedado claramente expuestos puntos de vista y aspectos considerados necesarios para la elaboración y construcción de esta técnica matemática.

Inicialmente, se proporcionan algunos datos exactos sobre la creación e implementación de la teoría de juegos, la cual fué creada por J. Von Neumann mediante la aplicación del teorema del minimax a estudios de Economía y que posteriormente se diversificó la aplicación en la mayoría de las disciplinas destacándose la de Administración en busca de optimizar resultados.

Posteriormente, se presentan algunas definiciones de esta teoría, de algunos autores de reconocido prestigio en sus estudios y escritos sobre métodos matemáticos en la toma de decisiones y entre los cuales se destaca LIBERMAN/HILLER

con su definición de que la teoría de juegos, es una teoría matemática que trata de las características generales de las situaciones de conflicto y de competencia de una manera formal y abstracta.

Más adelante se proporcionan algunos conceptos de aspectos considerados básicos para la utilización de ésta técnica, entre los que se destacan los de estrategia y sus clases, los de matriz de pagos, punto de silla y los teoremas de minimax y maximin, entre otras.

La clase de juegos dependen de las necesidades, de -- los tipos de empresas y de sus objetivos particulares dentro de las múltiples situaciones de conflicto y de competencia que se presentan constantemente en las actividades y operaciones empresariales, de ahí que existen muchas clasificaciones de juegos y en donde se destacan los juegos de estrategias de  $2 \times 2$  para problemas sencillos y los de estrategia de  $2 \times n$  para juegos más complejos y de varios oponentes.

Por otro lado se presentan los múltiples usos de la teoría de juegos principalmente sobre toma de decisiones sobre aquellas actividades que controlan los altos y medios niveles dentro de una entidad, así como aquellas situaciones de competencia dentro de un determinado mercado.

La creación e implantación de la teoría de juegos, conlleva el hecho de generar beneficios que redunden en los objetivos que persiguen las entidades en donde se usen, de ahí que se ponen de manifiesto las principales ventajas en el uso de la teoría de juegos; así mismo como todo procedimiento, mientras no se lleve a cabo correctamente presentan algunas desventajas que se consideran de significativa importancia y que se les debe prestar atención al momento de entrar a utilizarla.



Por último se encuentran algunas aplicaciones potenciales de la teoría de juegos a casos concretos sobre situaciones de decisión, son ejemplos sencillos pero que denotan perfectamente el procedimiento que debe seguirse para su realización y la importancia de la misma.

Básicamente se ha querido dar a conocer la verdadera importancia y las ventajas que se logran mediante la utilización de esta técnica matemática conocida como teoría de juegos.

APENDICE.

A continuación se presenta un sencillo caso práctico, sobre selección de estrategias de decisión, utilizando árboles de decisión en lenguaje BASIC.

El ejemplo básicamente, trata sobre la decisión que debe tomar un gerente de una empresa ante la presencia de varias opciones a realizar.

Dicha empresa depende fundamentalmente de las ventas de cierto tipo de productos, ante las cuales se ve en la necesidad de una bodega para almacenamiento a fin de mantener y atender oportunamente su clientela.

Las dos principales opciones que tiene el gerente, son las de decidir sobre:

- Se construye la bodega y se utiliza para almacenar.
- Se toma en renta.

Cabe aclarar que se trata el presente trabajo de decisiones secuenciales, de ahí la justificación de usar árboles de decisión. Ante esta situación se presenta la siguiente información adicional.

La construcción de la bodega cuesta \$ 100.000  
 La renta de la misma tiene un costo \$ 0.00

La probabilidad de ocurrencia de las ventas es como sigue:

- Que aumenten en el periodo de 5 años es de 0.7
- Que permanescan constantes para 5 años es de 0.15
- Que bajen para 5 años probabilidad de 0.15

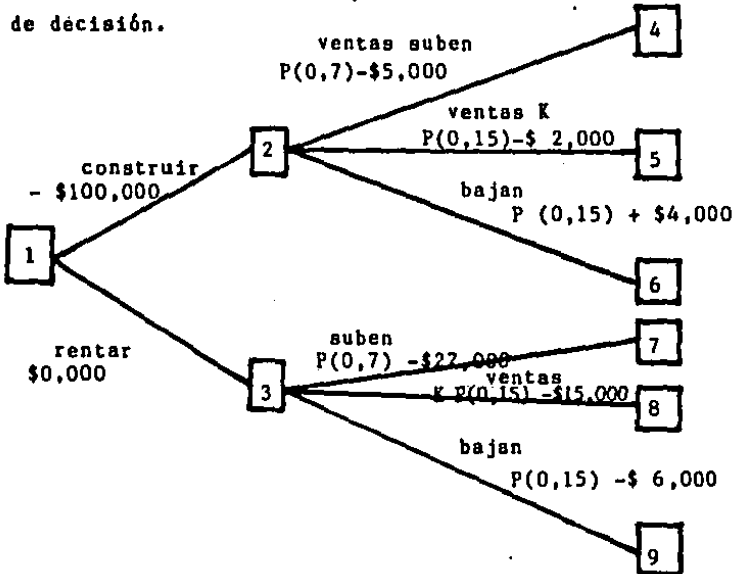
Los costos de almacenamiento si se decide construir son los siguientes:

- Un costo de \$5,000 cuando las ventas suban
- Un costo de \$2,000 cuando las ventas estén constantes
- Un ingreso de \$4,000 cuando al bajar las ventas se decide rentar la bodega a otras personas.

Si se decide tomar en arrendamiento los costos de almacenamiento serán:

- Un costo de \$27,000 si las ventas suben
- Un costo de 15.000 si las ventas permanecen iguales
- Un costo de \$6000 si las ventas bajan

Con esta información procedemos a construir nuestro árbol de decisión.



Gráfica No. 14. Arbol de decisiones no secuenciales en lenguaje BASIC.

Con base en el diagrama anterior, tenemos la siguiente tabla por computadora de los datos de entrada, al cual se agrega un valor de 7% por concepto de tasa de interés para todas las opciones.

Nodo Inicial	Nodo final	Probabilidad	Costos	Tiempo años	Tasa
1	2	0	-100.000	0	
2	4	0.7	- 5.000	5	0.07
3	5	0.15	- 2.000	5	0.07
4	6	0.15	+ 4.000	5	0.07
5	3	0	0	0	
6	7	0.7	-27.000	5	0.07
7	8	0.15	-15.000	5	0.07
8	9	0.15	- 6.000	5	0.07

pare

De todo esto se obtuvieron los siguientes resultados por computadora.

Programa de decisiones

Clase de datos de entrada

Nodo Izquierdo	Nodo Derecho	Probabilidad	Pagos	Periodos	Tasa
1	2	0	-100.000	0	0
1	3	0	0	0	0
2	4	0.7	- 5.000	5	0.07
2	5	0.15	- 2.000	5	0.07
2	6	0.15	4.000	5	0.07
3	7	0.7	- 27.000	5	0.07
3	8	0.15	- 15.000	5	0.07
3	9	0.15	- 6.000	5	0.07

Resultados de las operaciones de decisión del anterior programa.

Calculos resultantes por medio de árboles de decisión.

Nodo Izquierdo	Nodo Derecho	Probabilidad	Costo Total	Períodos	Tasa Interés
1	2	Decisión	-113.121	0	0
1	3	Decisión	- 90.409	0	0
2	4	0.7	- 14,351	5	0.07
2	5	0.15	- 1.230	5	0.07
2	6	0.15	2.460	5	0.07
3	7	0.7	- 77.490	5	0.07
3	8	0.15	- 9.225	5	0.07
3	9	0.15	- 3.690	5	0.07

Las decisiones seleccionadas son:

De	a	valor gasto
1	3	- 90.409

Aquí se termina el programa.

A continuación se presenta un ejercicio más complejo, ante la presencia de muchas más posibles opciones de decisión, tomando como punto de partida el ejemplo anterior.

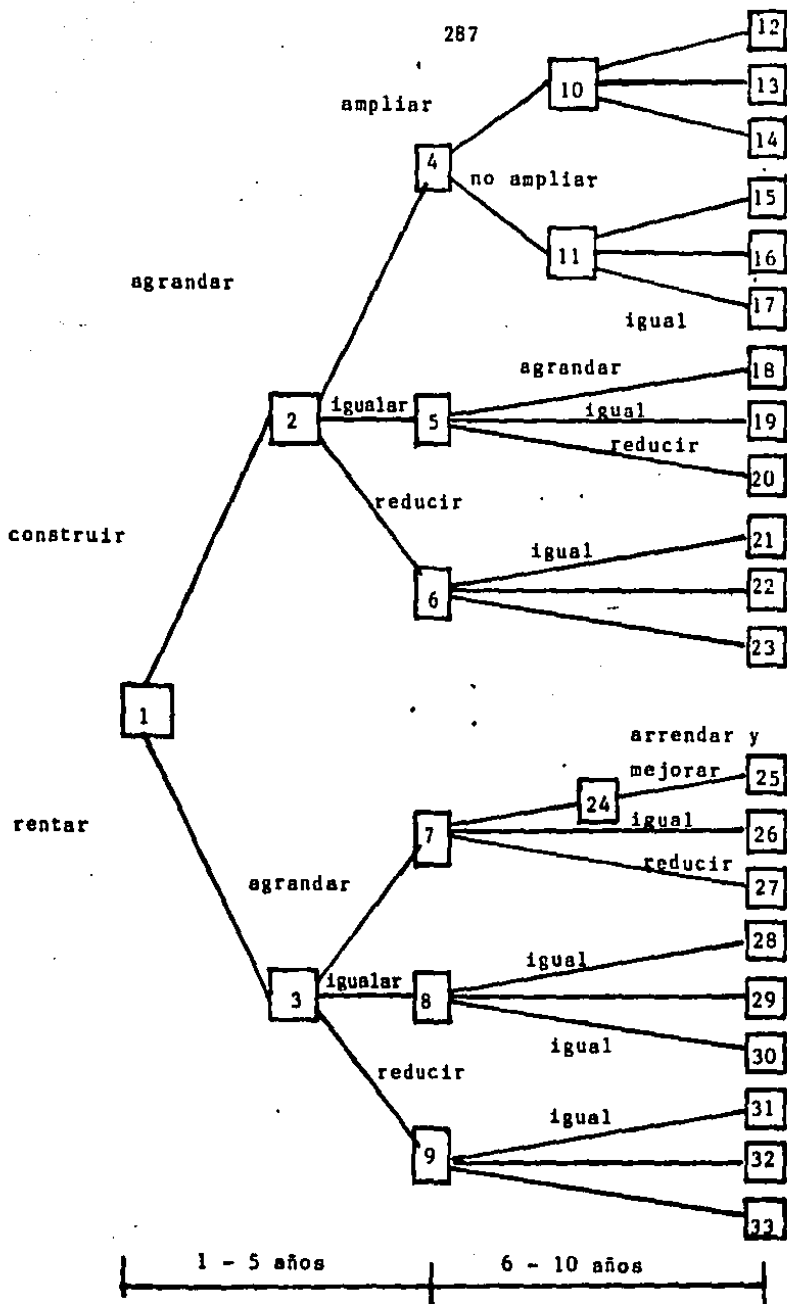
Primero presentamos un cuadro resumen de los datos de entrada por computadora.

PROGRAMA DE DECISION PARA EL SIGUIENTE GRAFICO DE ARBOLES DE  
DECISION

DATOS DE ENTRADA

Nodo Izquierdo	Nodo Derecho	Probabi lidad	Valor	Período	Tasa Interés
1	2	0	-55000	0	0
1	3	0	0	0	0
2	4	.7000	- 5000	5	.070
2	5	.1500	- 2000	5	.070
2	6	.1500	4000	5	.070
3	7	.7000	-27000	5	.070
3	8	.1500	-15000	5	.070
3	9	.1500	- 6000	5	.070
4	10	0	-55000	0	0
4	11	0	0	0	0
5	18	.2500	- 5000	5	.075
5	19	.6000	- 2000	5	.075
5	20	.1500	3000	5	.075
6	21	.1500	- 5000	5	.075
6	22	.2500	- 2000	5	.075
6	23	.6000	4000	5	.075
7	24	.8000	-27000	2	.075
7	26	.1500	-15000	5	.075
7	27	.0500	- 6000	5	.075
8	28	.2500	-27000	5	.075
8	29	.6000	-15000	5	.075
8	30	.1500	- 6000	5	.075
9	31	.1500	-27000	5	.075
9	32	.2500	-15000	5	.075
9	33	.6000	- 6000	5	.075
10	12	.8000	- 7000	5	.075
10	13	.1500	- 4000	5	.075
10	14	.0500	6000	5	.075
11	15	.8000	-14000	5	.075
11	16	.1500	- 8000	5	.075
11	17	.0500	2000	5	.075
12	34	1.0000	20000	0	0
13	35	1.0000	20000	0	0
14	36	1.0000	20000	0	0
24	25	1.0000	-32000	3	.075

Ahora presentamos el árbol de decisión correspondiente  
a la anterior información. (Ver gráfica No. 15)



Gráfica No. 15 Arbol de decisiones secuenciales por computadora

Resultado de los cálculos para el programa de decisión por computadora.

Resultados de decisión

Cálculos por árboles de decisión.

Nodo Izquierdo	Nodo Derecho	Probabilidad	Valor	Período	Tasa
1	2	DECIDE	-93325	0	0
1	3	DECIDE	-155804	0	0
2	4	.7000	- 39188	5	.070
2	5	.1500	- 2095	5	.070
2	6	.1500	2958	5	.070
3	7	.7000	-130751	5	.070
3	8	.1500	- 16430	5	.070
3	9	.1500	- 8623	5	.070
4	10	DECIDE	- 64940	0	0
4	11	DECIDE	- 49764	0	0
5	18	.2500	- 5057	5	.075
5	19	.6000	- 4855	5	.075
5	20	.1500	1821	5	.075
6	21	.1500	- 3034	5	.075
6	22	.2500	- 2023	5	.075
6	23	.6000	9710	5	.075
7	24	.8000	- 96392	2	.075
7	26	.1500	- 9103	5	.075
7	27	.0500	- 1214	5	.075
8	28	.2500	- 27310	5	.075
8	29	.6000	- 36413	5	.075
8	30	.1500	- 3641	5	.075
9	31	.1500	- 16386	5	.075
9	32	.2500	- 15172	5	.075
9	33	.6000	- 14565	5	.075
10	12	.8000	- 11512	5	.075
10	13	.1500	-338	5	.075
10	14	.0500	1910	5	.075
11	15	.8000	- 45314	5	.075
11	16	.1500	-4855	5	.075
11	17	.0500	405	5	.075
12	34	1.0000	20000	0	0
13	35	1.0000	20000	0	0
14	36	1.0000	20000	0	0
24	25	1.0000	-83217	3	.075

Decisiones seleccionados

De	a	Valor
1	2	-93325
4	11	-49764

Final del Programa.



## CONCLUSIONES.

Es incuestionable la importante labor que desempeña la Investigación de Operaciones en favor de las entidades que actualmente la aplican y que cada día resulta ser mayor. Se ha observado que la productividad y la toma de decisiones es cada vez mejor mediante la utilización de esta técnica aunado con el uso de la computadora.

Por medio de la Investigación de Operaciones, la cual sigue los lineamientos principales del método científico, se puede llevar a cabo un efectivo estudio y análisis de situaciones problema, así como también el análisis de sistemas, entendiéndose como sistema cada una de las partes que conforman las operaciones de una empresa, como por ejemplo, un sistema de ventas o un sistema de inventarios. Además porque permite interactuar a grupos de profesionales con los cuales se puede afrontar mejor los problemas y tratar de alcanzar los objetivos finales.

Es por medio de las técnicas que conforman la Investigación de Operaciones, los modelos matemáticos y la metodología de desarrollo, que se puede realizar una adecuada identificación, análisis, estructuración y solución de operaciones complejas y multifacéticas que las entidades tienen que afrontar, principalmente en las situaciones de riesgo e incertidumbre, proporcionando mejores cursos de acción, toma de decisiones más cercanas a la realidad.

La Investigación de Operaciones facilita el proceso de retroalimentación por medio del cual la gerencia puede revisar y evaluar las desviaciones más significativas, ya sean favorables o desfavorables respecto al plan de objetivos planeado. A su vez proporciona una información importante para la elabo-

ración de los planes futuros de la empresa.

La implementación y utilización de la Investigación de Operaciones a través de la historia ha sido muy importante en toda clase de organizaciones, hemos visto como ha influido para ganar importantes batallas militares, vemos como las industrias y empresas en general han logrado excelentes resultados, han incrementado su productividad y han logrado una envidiable estabilidad económica. En la actualidad la mayoría de los países desarrollados la utilizan en sus múltiples labores en donde se destacan la planeación táctica y la planeación estratégica. Su importancia también se refleja en el hecho de que muchas instituciones nacionales e internacionales la han adoptado como una disciplina dentro de sus actividades académicas.

Los modelos se han convertido en uno de los medios más eficaces para tratar de resolver situaciones que afectan la estabilidad de las empresas, además porque permite representar los problemas lo más cercano posible a la realidad en pró de que sirvan como soporte exacto y más lógico principalmente con los modelos matemáticos, cuando se trata de tomar cursos de acción.

El uso de los modelos, aunque su procedimiento de construcción no haya tenido cambios significativos, los resultados que proporcionan siempre son diferentes, ya que su aplicación depende de las condiciones cambiantes a que se enfrentan hoy por hoy las empresas, esto es que siempre serán operables.

Otra conclusión importante en cuanto a modelos se refiere es aquella que consiste en la determinación de la clase o tipo de modelos que se deben utilizar; dicha determinación depende fundamentalmente del tipo de empresas, de los objetivos

y necesidades particulares y del problema que se va a tratar.

La formulación y diseño de un modelo debe estar estrechamente ligada a la revisión de los objetivos a que se pretenden llegar, ya que si se desligan uno del otro únicamente nos puede conducir a solucionar síntomas. Dichos objetivos deben estar definidos y delimitados correctamente y no agrupados indiscriminadamente.

La formulación de las hipótesis que intervienen en el modelo, deben estar enunciadas en términos cuantitativos ya que el análisis resultarle es más racional y preciso, por lo tanto se debe dar crédito a las hipótesis formuladas bajo principios matemáticos, ya que las hipótesis formuladas bajo este enfoque es lo que se denomina modelo.

Al momento de construir los modelos, se deben determinar las variables lo más convenientemente posible, se deben ordenar de acuerdo al grado de importancia, para evitar que se trabaje con variables que sean irrelevantes: Además estas variables deben estar sujetas a predicciones y a controles continuos mediante la retroalimentación para poder garantizar mejores resultados.

Para poder alcanzar la minimización o maximización según sea el caso de los objetivos propuestos, el encargado de tomar decisiones debe establecer lo más preciso posible la relación de causa - efecto mediante el establecimiento de pronósticos por medio de las variables no controlables y poder determinar la selección y comportamiento de las variables controlables ó de decisión.

Los modelos matemáticos hoy en día son herramientas eficaces para una acertada toma de decisiones financiero-administra-

tivas ya que por medio de estas representaciones esquematizadas de una manera exacta y sistémica, se puede medir, planificar y pronosticar de una forma mucho más acertada, la consecución y aplicación de los recursos disponibles.

Los resultados que podemos alcanzar mediante el uso de modelos matemáticos no son los más óptimos, debido a que se trabajan con variables aleatorias bajo condiciones de incertidumbre, pero si nos generan una serie de opciones posibles que tratan de aproximarse a la situación y a los resultados realmente alcanzados.

Cuando se utilicen modelos matemáticos, se deben realizar cálculos y pronósticos por medio de la computadora, para garantizar exactitud y rapidez.

La presencia y puesta en práctica de los modelos matemático-financieros, adquieren cada día mayor importancia, debido a que poco a poco han ido desplazando a las técnicas tradicionales que se utilizaban para la conservación de financiamiento, es así como por ejemplo, se obtienen mayores logros en cuanto a la optimización de las diferentes inversiones por medio de simulación. Por consiguiente, este tipo de modelos es cada vez más importante y es mayor el éxito plasmado en las decisiones financieras, máxime que las empresas viven en situaciones de riesgo e incertidumbre.

Los modelos financieros más complejos, que más deben utilizarse en la actualidad son los probabilísticos, debido a que hoy en día las mayores dificultades a que se enfrentan quienes tienen que tomar decisiones es la incertidumbre y el dinamismo al cambio, principalmente cuando se trata de establecer la planeación estratégica.

- Dentro del proceso de formulación y diseño de los modelos, el análisis de sensibilidad, viene a constituir una etapa más, la cual es de mucha importancia y muy necesaria, en vista de que por medio de este análisis podemos determinar la conveniencia en la toma de ciertos valores, ciertos pronósticos, ciertas variables y por consiguiente los resultados que se obtengan.

Tanto la construcción de los modelos como el análisis de sensibilidad, son muy importantes, en donde cada uno de estos aspectos tiene sus justificaciones particulares. Se deben tomar como complemento en el éxito de la modelación.

- La simulación Monte Carlo es la técnica más apropiada para utilizarse en aquellas situaciones en donde los fenómenos tienen probabilidades de ocurrencia. El método Monte Carlo es la técnica que mediante el uso de números aleatorios trata de resolver problemas de la vida real que contienen elementos claves de carácter probabilista.

- Por medio de la simulación podemos darnos cuenta si los resultados y las operaciones de una empresa o parte de esta, son los más convenientes, ya que podemos probarlos por medio de los modelos que utiliza esta técnica.

- El uso de la simulación nos proporciona al igual que los modelos de cualquier tipo, datos básicos para seleccionar el mejor curso de acción cuando de decidir se trata, sin embargo los modelos de simulación probabilística brinda esa misma labor pero en condiciones de incertidumbre.

- Cuando una empresa o partes de ella presenta alguna dificultad de verdadera urgencia, se debe emplear la simulación ya que proporciona información y resultados en forma

mucho más rápida, evitando con esto que el problema en cuestión trascienda en el resto del sistema.

- La técnica de simulación puede ser usada para experimentar con nuevas conclusiones y situaciones sobre las cuales se tenga poca o ninguna información. Con estos experimentos se puede generar y anticipar mejores posibles resultados no previstos antes de su aplicación.
- La simulación es el único método práctico de análisis cuando las empresas y los dirigentes carecen de métodos analíticos para combatir un determinado problema.
- La aplicación de teoría de juegos nos permite estudiar y analizar los procesos de toma de decisiones sobre cierto tipo de situaciones en conflicto, en donde la característica importante es aquella que resalta el hecho de actuar frente a competidores que buscan superar a sus rivales.
- La utilización de la teoría de juegos, nos proporciona mejores cursos de acción cuando la gerencia tiene que seleccionar una decisión, nos proporciona la selección adecuada de las estrategias óptimas a seguir para resolver las situaciones conflictivas redundando en mayores ganancias.
- La teoría de juegos ayuda a descubrir y analizar las decisiones de los adversarios, o sea a conocer y a implantar los cursos de acción teniendo en cuenta las condiciones del juego por parte del oponente, maximizando con esto los resultados.
- Por medio de la teoría de juegos podemos determinar que el comportamiento racional de las personas ante situaciones

de conflicto, esta definido y representado por modelos matemáticos, y a que el objetivo de los contrincantes en juego siempre buscan ganar el máximo sin exponerse peligrosamente ante adversarios inteligentes que también buscan el mismo objetivo.

- La teoría de juegos es una técnica muy importante hoy en día en el mundo de los negocios modernos, ya que proporciona los mecanismos y procedimientos para seleccionar las estrategias de juego óptimas, para tratar de obtener mayores ganancias, principalmente en aquellas situaciones donde existen decisiones secuenciales basadas en probabilidad de ocurrencia en condiciones inciertas.
- Mediante la aplicación de la teoría de juegos, podemos determinar aquellas situaciones que en un momento dado sean determinísticas o probabilísticas.
- Por medio de la teoría de juegos, podemos evitar que nuestros adversarios se enteren de nuestros cursos de acción y de nuestras estrategias consideradas como óptimas, ya que utiliza variables aleatorias.
- La teoría de juegos, presenta la característica de poderse adaptar a los diferentes tipos de situación conflictiva, por cuanto puede adoptar otras técnicas afines, como es el caso de la regresión lineal, árboles de decisión, facilitando con esto el planteamiento y estudio de dichas situaciones.

## BIBLIOGRAFIA

- BOWLIN, Oswaldo: Utilización de modelos cuantitativos a problemas financieros; MC-GRAW-HILL.
- BUFFA, Elwood: Ciencias de la Administración e Investigación de Operaciones; LIMUSA.
- HEIN, Leonardo: El análisis cuantitativo en las decisiones administrativas; DIANA.
- MOSCOWITZ, Herbert: Investigación de Operaciones; PWH.
- SHAMBLIN, James: Investigación de Operaciones; MC-GRAW-HILL.
- BLEER, Gerald: Matemáticas aplicadas a la Economía y a los negocios; PHI.
- PRAWDA, Juan: Métodos y modelos de Investigación de Operaciones; LIMUSA, Volumen I-II.
- THERAUF, Robert: Toma de decisiones por medio de Investigación de Operaciones; LIMUSA.
- FREUND, John: Introducción a las matemáticas de los negocios; PHI.
- SAENZ, Eladio: Matemáticas para los negocios; CSE.
- GILTMAN, Laurence: Fundamentos de Administración financiera; HARLA.
- ROBICHEK, Alex: Investigaciones y decisiones financieras y administrativas; LIMUSA.



- KAUFMANN: Métodos y modelos de Investigación de Operaciones; CECSA; Tomo I y II.
- LEVICH, Richard: Enfoques cuantitativos de Administración; CECSA.
- MOSCATO, Donald: Modelos financieros para la toma de decisiones; F.E.I.
- FUOL, Michel: Elementos de matemáticas para las ciencias de la administración; TRILLAS.
- ACKOFF, Russel y SASIENE, Maurice: Fundamentos de Investigación de Operaciones; LIMUSA.
- GALLAGHER, Charles y WATSON: Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración; MC-GRAW-HILL.
- HILLER y LIBERMAN: Introducción a la Investigación de Operaciones; MC-GRAW-HILL.
- KAUFMANN, A y LABORDERE: Métodos y modelos matemáticos; CECSA.
- LEVIN Richard y LAMONE: Disciplinas cuantitativas en las decisiones administrativas; ECASA.
- PRAWDA, Witemberg: Modelos matemáticos; LIMUSA.
- MAO, James: Análisis financiero; ATENEO.
- COSS, Rave: Proyectos de inversión; LIMUSA.
- FIOL, Michel: Algebra, bases esenciales para estudios de Administración, Contabilidad y Economía; ECASA.

- MEIER, Robert: Técnicas de simulación en Administración y Economía; TRILLAS.
- SALDIVAR, Antonio: Planeación financiera de la empresa; TRILLAS.
- VARELA, Enrique: Introducción a la Investigación de Operaciones; Fondo Educativo Interamericano.
- LOPEZ, Santiago: Modelos matemáticos; TRILLAS.
- COSS, Raúl: Simulación, un enfoque práctico; LIMUSA.
- GOODMAN, Sam: El éxito en el uso de modelos matemáticos; Colección Administración financiera.
- RIVETT, Patrick: Construcción de modelos para análisis de decisiones; LIMUSA.
- EVERETT, Adams: Administración de la producción y las operaciones; PHI.
- DOSSLER, Gary: Organización y administración; PHI.
- NAGHI, Mohamed: Investigación de Operaciones; LIMUSA.
- COLERNS, Egnouert: Breve historia de las matemáticas; L.J.B.
- MORA, Ricardo: La función financiera en la empresa; Interamericana.
- HERTZ, David: Nuevas técnicas para la administración de empresas; LIMUSA.

- OCHOA, Miguel: Asignación de recursos; LIMUSA.
- SCHRDEDER, Roger: Administración de operaciones; MC-GRAW-HILL.
- PHILIPRATOS: Fundamentos de administración financiera MC-GRAW-HILL.
- KAUFMANN: Invitación a la Investigación de Operaciones CECSA.
- VIVANCO y DE MARIA: Estudio sobre las historias de la Investigación de Operaciones; TESIS UNAM.
- MARTINEZ, Ruben: Simulación de empresas sobre control de inventarios; TESIS UNAM.
- THIGRAUF-GROSSE: Introducción a la Investigación de Operaciones; LIMUSA.
- TAHA: Investigación de Operaciones; RSI.
- BOCK, Robert: Planeación y control de la producción; LIMUSA
- ORGLER: Métodos y modelos para la administración del efectivo; ECASA.
- KAUFMANN: Programación dinámica; CECSA.
- TIMMS, Howard; La función de la producción en los negocios CECSA.
- OXENFELD, Alfred: Un enfoque básico para la toma de decisiones por los ejecutivos; DIANA.

- BUFFA, Elmeds y TAUBERT, Williams; Sistemas de producción e inventarios; LIMUSA.
- ESPINOSA, Héctor; Programación lineal; PAX-México.