



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN

LA PROGRAMACION NO LINEAL
APLICADA A UN PROBLEMA DE MINIMIZACION DE COSTOS

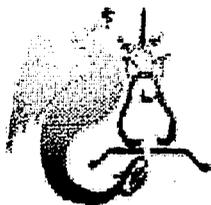
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN MATEMATICAS APLICADAS
Y COMPUTACION

PRESENTA:

ROSALINDA ALCANTARA GUTIERREZ

ASESOR: FIS.MAT. JORGE LUIS SUAREZ MADARIAGA



EDO. DE MEXICO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION DISCONTINUA

En esta página de mi tesis quiero mencionar y dedicar mi trabajo a todas aquellas personas que hasta esta fecha durante mi vida han estado a mi lado ya que con ellos he aprendido y crecido conjuntamente en el aspecto intelectual y como persona:

A mis padres, por su apoyo durante mis estudios, lo cual es una de las cosas más valiosas que pueden dársele a los hijos.

A mi hermano, quien con su actitud propia ante la vida y buen humor aprendí a su lado.

A mis abuelitos, tíos y primos quienes preguntaban sobre mí y me alentaron a seguir adelante.

A mis profesores, porque mediante ellos adquirí los conocimientos necesarios para seguir adelante en mi vida profesional, así como una actitud de compromiso de culminar cada una de las cosas que me he propuesto. En especial a mis profesores en la etapa culminante de mi carrera, a mi asesor Jorge Luis Suárez y a mis sinodales: Virginia Haro, Nora Goris, Esperanza Valdés y Florentino Almeida, quienes revisaron mi tesis pacientemente.

A mis amigos, quienes también me alentaron y se preocuparon por mí, en especial a Rocío, Alonso y Gerardo. Y en especial dedicatoria a mi amiga Moni a quien aunque la vida en este mundo no le permitió titularse de su carrera, en estos momentos tan importantes para un egresado, ella es parte de mi.



Índice

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción	X
Justificación, objetivo general y objetivos específicos	XII
Capítulo I. Programación No Lineal	
I.1 Panorama y antecedentes de la Investigación de Operaciones	1
I.2 Definición de Investigación de Operaciones, solución de problemas y toma de decisiones	2
I.3 Componentes de un Problema de Programación Lineal	7
I.3.1 Forma estándar del PPL	9
I.3.2 Suposiciones de Programación Lineal	9
I.4 Formulación y construcción de modelos	11
I.4.1 Pasos en la formulación del problema	14
I.5 Hipótesis de un modelo de Investigación de Operaciones	17
I.6 Programación No Lineal	21
I.6.1 Forma estándar de un PPNL	21
I.6.2 Suposiciones de Programación No Lineal	21
I.6.3 Método gráfico	22
I.6.4 Funciones cóncava y convexa	23
I.6.5 Programación Separable	24
I.6.5.1 Un planteamiento especial	25
Capítulo II. Construcción del modelo matemático de minimización de costos: Programación No Lineal y la técnica del algoritmo de Ramificación y Acotación.	
II.1 Ámbito o contexto del problema de minimización de costos en general	27

II.2 Planteamiento general del modelo	28
II.3 Desarrollo del modelo matemático auxiliar del departamento de compras en la toma de decisiones respecto a la cantidad de producto requerido que debe comprarse a cada proveedor para satisfacer los requerimientos y minimizar el costo total de compra	29
II.4 Planteamiento general mediante programación lineal	31
II.5 Programación heurística	32
II.6 La Técnica de Ramificación y Acotación	34
Capítulo III. Realización de Pronósticos como entrada del modelo matemático.	
III.1 Estudio de un proceso de pronóstico	43
III.2 Técnicas de pronóstico	44
III.2.1 Técnicas de pronóstico cualitativas	45
III.2.2 Técnicas de pronóstico cuantitativas	48
III.3 Series de tiempo	49
III.4 Selección del método adecuado de pronósticos	52
III.5 Medición del error en el pronóstico: evaluación de Pronósticos	59
III.6 Técnicas de Box-Jenkins	62
III.6.1 Modelos de series de tiempo	64
III.6.1.1 Modelo autorregresivo (AR)	64
III.6.1.2 Modelo de medias móviles (MA)	65
III.6.1.3 Modelo mezclado ARMA(p,q) o ARIMA(p,q)	65
III.6.2 Algoritmo del método de Box-Jenkins	66

III.6.3 Modelos estacionales	69
III.6.4 Modelos multiplicativos estacionales	70
III.6.5 Modelos de series de tiempo multivariados	71
III.7 Métodos de promedio	71
III.7.1 Método no formal o del último valor	72
III.7.2 Promedios simples	72
III.7.3 Promedios móviles	73
III.7.4 Promedio móvil doble	74
III.7.5 Método de atenuación exponencial	75
III.7.6 Método de atenuación exponencial doble o método de Brown	78
III.7.7 Método de Winter	81
III.8 Análisis de regresión	83
III.8.1 Regresión simple	84
III.8.2 Regresión múltiple	87
III.9 Aplicación de las técnicas de pronósticos	89
 Capítulo IV. Aplicación del modelo: planteamiento, desarrollo y resultados.	
IV.1 Historia de la evolución de las bases de datos	93
IV.2 Diseño de una base de datos para el sistema	99
IV.2.1 Tipos de bases de datos	102
IV.2.2 Procesamiento de datos	104
IV.2.3 Función y objetivo de una base de datos	105
IV.2.4 Componentes y características de una base de datos	107
IV.2.5 Ventajas de un sistema de gestión de bases de datos con respecto a un sistema convencional	113

IV.2.6 Desventajas en la implementación de una base de datos	115
IV.2.7 Justificación de la implementación de una base de datos	116
IV.2.8 Software para bases de datos	120
IV.2.9 Proceso de selección de una base de datos	120
IV.3 Obtención de pronósticos como entrada del modelo matemático	122
IV.3.1 Organización de datos con fines de pronósticos	122
IV.3.2 Desarrollo de los pronósticos	129
IV.3.2.1 Investigación de mercado correspondiente a la compra de productos	138
IV.3.2.2 Métodos de promedio	159
IV.3.2.2.1 Obtención de pronósticos de cantidad de compra para los meses julio y agosto del 2001 para el material 12RG	160
IV.3.2.2.2 Obtención de pronósticos de cantidad de compra para los meses septiembre y octubre del 2001 para el material 12RG	165
IV.3.2.2.3 Obtención de pronósticos de cantidad de compra para los meses julio y agosto del 2001 para el material 16RG	172
IV.3.2.2.4 Obtención de los pronósticos de cantidad de compra para los meses septiembre y octubre del 2001 del material 16RG	176

IV.4 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos	187
IV.4.1 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 12RG para el mes de septiembre del 2001	188
IV.4.1.1 Planteamiento del modelo matemático	188
IV.4.1.2 Desarrollo del modelo matemático	189
IV.4.1.3 Procedimiento de solución del PPL	190
IV.4.2 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 14RG para el mes de septiembre del 2001	193
IV.4.2.1 Planteamiento del modelo matemático	193
IV.4.2.2 Desarrollo del modelo matemático	194
IV.4.2.3 Procedimiento de solución del PPL	195
IV.4.3 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RG	198
IV.4.3.1 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RG para el mes de septiembre de 2001	198
IV.4.3.1.1 Planteamiento del modelo matemático	198
IV.4.3.1.2 Desarrollo del modelo matemático	199
IV.4.3.1.3 Desarrollo con los pronósticos obtenidos	200
IV.4.3.1.3.1 Procedimiento de solución del PPL	200
IV.4.3.1.4 Desarrollo con los datos reales	201
IV.4.3.1.4.1 Procedimiento de solución del PPL	202
IV.4.3.2 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RG para el mes de octubre del 2001	202
IV.4.3.2.1 Desarrollo con los pronósticos	

obtenidos	203
IV.4.3.2.1.1 Procedimiento de solución del PPL	203
IV.4.3.2.2 Desarrollo con los datos reales	204
IV.4.3.2.2.1 Procedimiento de solución del PPL	204
IV.4.3.3 Comparación de los resultados obtenidos con los pronósticos y con los datos reales para la minimización de costos del material 16RG	205
IV.4.4 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 18RG para el mes de septiembre del 2001	206
IV.4.4.1 Planteamiento del modelo matemático	206
IV.4.4.2 Desarrollo del modelo matemático	208
IV.4.4.3 Procedimiento de solución del PPL	209
IV.4.5 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 20RG para el mes de septiembre del 2001	210
IV.4.5.1 Planteamiento del modelo matemático	210
IV.4.5.2 Desarrollo del modelo matemático	211
IV.4.6 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 22RG para el mes de septiembre del 2001	212
IV.4.6.1 Planteamiento del modelo matemático	213
IV.4.6.2 Desarrollo del modelo matemático	213
IV.4.6.3 Procedimiento de solución del PPL	214
IV.4.7 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 24RG para el mes de septiembre del 2001	217
IV.4.7.1 Planteamiento del modelo matemático	217

IV.4.7.2 Desarrollo del modelo matemático	218
IV.4.7.3 Procedimiento de solución del PPL	219
IV.4.8 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 12RB para el mes de septiembre del 2001	220
IV.4.8.1 Planteamiento del modelo matemático	220
IV.4.8.2 Desarrollo del modelo matemático	221
IV.4.9 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RB para el mes de septiembre del 2001	222
IV.4.9.1 Planteamiento del modelo matemático	222
IV.4.9.2 Desarrollo del modelo matemático	223
IV.4.9.3 Procedimiento de solución del PPL	224
IV. 5 Presentación de resultados e implementación del sistema	226
IV.5.1 Documentación de la aplicación del modelo matemático: reporte a la gerencia	227
IV.5.2 Informe de implementación de una base de datos	230
IV.5.2.1 Definición de la estructura y organización de la base de datos	230
IV.5.2.2 Información sobre privilegios	232
IV.5.2.3 Formulario en Visual Basic	233
IV.5.3 Información de la base de datos a usuarios de red	238
IV.5.3.1 Formulario en Visual Basic	238
IV.5.3.2 Código en Visual Basic	238
IV.5.3.3 Presentación de la página web generada	245
Conclusiones	247
Bibliografía	249

Introducción

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El presente trabajo de tesis se ha realizado con el objetivo de proporcionar ideas claras respecto al enfoque que la Investigación de Operaciones da a la toma de decisiones en el ámbito empresarial y en específico en la elección de proveedores. Lo cual involucra aplicar los conocimientos teóricos matemáticos y computacionales que la licenciatura en Matemáticas Aplicadas y Computación proporciona. Así como la comprobación de la hipótesis característica de un modelo de Investigación de Operaciones de la cual se habla ampliamente en el Capítulo I y que consiste en la consideración de que el modelo planteado es una abstracción lo suficientemente representativa de la realidad como para confiar en que los resultados obtenidos mediante su aplicación coincidirán con los que se pretenden en la realidad. Se proporcionan además, antecedentes de la Investigación de Operaciones así como de la evolución de las bases de datos.

Durante el desarrollo del mismo, ambos tópicos (Investigación de Operaciones e implementación de bases de datos) fundamentan teóricamente las decisiones prácticas mediante la formulación y construcción de modelos matemáticos adecuados así como el correcto manejo de la información.

Debido a que el problema de aplicación analizado requiere del planteamiento y desarrollo de un modelo de Programación No Lineal, el Capítulo I se refiere a esta rama de la Investigación de Operaciones, que a diferencia de las demás ramas que son: la Programación Lineal, la Programación Entera, los Modelos de Redes, la Administración de Proyectos PERT(Program Evaluation and Review Technique)/CPM(Critical Path Method), los Modelos de Inventarios, los Modelos de líneas de espera (colas), la Simulación en computadora, el Análisis de Decisiones, la Programación de metas, el Proceso analítico de jerarquización, los Pronósticos, los Modelos de procesos de Markov y la Programación Dinámica; es la menos difundida debido a su complejidad, razón por la cual investigadores han tratado de resolver un planteamiento o modelo no lineal mediante procedimientos más sencillos, meta que también se ha logrado en el desarrollo de este trabajo, ya que la solución del modelo de Programación No Lineal se ha ajustado en este caso a un tipo de solución mediante

Programación Lineal.

En el Capítulo II se muestra el modelo matemático obtenido y el procedimiento de solución mediante programación heurística y la técnica de ramificación y acotación.

En el Capítulo III se encuentran las herramientas que la preespecialidad en Simulación y Análisis de Decisiones proporciona respecto a la aplicación de pronósticos con el fin de optimizar las decisiones. Se exponen los métodos de pronósticos más aplicados y eficaces en la práctica así como criterios que ayudarán al tomador de decisiones a elegir uno o algunos de estos métodos en particular con el fin de obtener pronósticos confiables a partir de la información existente.

Así mismo se menciona el principio de parsimonia que consiste en partir de lo más sencillo y aumentar la complejidad si es que esto mejora el resultado del modelo y la obtención de pronósticos. Este principio es fundamental durante todo este tipo de estudios.

Los resultados de la teoría de los primeros tres capítulos se muestran en el Capítulo IV, donde posteriormente a un compendio de la evolución de las bases de datos, se proporcionan aspectos de importancia en el diseño de éstas, así como sus características, función y objetivo; ventajas y desventajas, además de una explicación que justifica su implementación en una organización, la cual la convertiría en uno de sus activos más importantes. Se menciona el software de vanguardia existente para bases de datos en el mercado, así como el proceso de selección de una base de datos. Se obtienen los pronósticos que funcionarán como los datos de entrada del modelo matemático y se desarrollan los modelos correspondientes. Por último, se presentan los resultados de los pronósticos y del modelo, se presenta la estructura de la base de datos sugerida a la organización así como la automatización de la misma, esto es, se ha desarrollado y presentado también un programa que permite presentar los datos existentes o de relevancia de la base de datos como una página web que podrá ser consultada por los usuarios de la red de la empresa.

**Justificación,
objetivo general y
objetivos específicos**

TESIS CON
VALIA DE ORIGEN

Justificación:

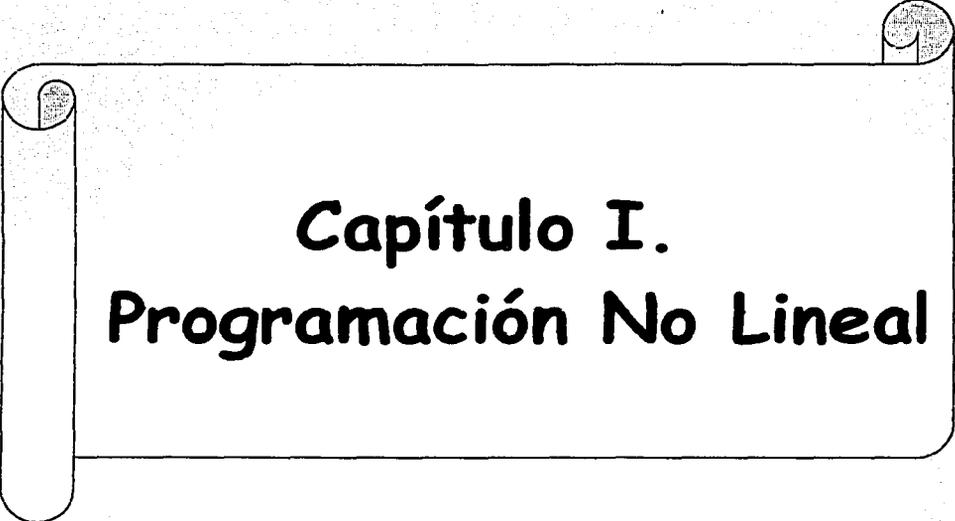
Debido a que el estudio de un caso particular, la minimización del costo en la elección de proveedores, hace posible el desarrollo de un modelo matemático respecto a la cantidad de material para manufactura que deberá comprarse a proveedores específicos con el fin de minimizar el costo total de compra. Se pretende desarrollar y aplicar el modelo obtenido posteriormente de un estudio de precios y descuentos que cada proveedor proporciona, así como obtener pronósticos en base a los datos de compra acumulados previamente por la empresa que además sean útiles para el modelo matemático. De esta forma, se proporcionarían a los directivos y/o administradores empresariales bases teóricas confiables y auxiliares para la toma de decisiones.

Objetivo general:

Aplicar los conocimientos de la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación respecto al desarrollo de modelos matemáticos de optimización, a la obtención de pronósticos a partir del análisis de datos históricos y a la implementación de programas que permitan consultar, actualizar y presentar la información solicitada de una base de datos creada previamente.

Objetivos específicos:

- Presentar los antecedentes de la Investigación de Operaciones así como sus características esenciales y de la Toma de decisiones. Aspectos que deben tenerse siempre en consideración al pretender desarrollar modelos matemáticos de optimización.
- Desarrollar un modelo matemático auxiliar en la toma de decisiones empresariales.
- Proporcionar una guía en la elección y uso adecuados de las técnicas de obtención de pronósticos.
- Enfatizar en la posibilidad de implementar un sistema automatizado de consulta y actualización de la base de datos de toda organización.



Capítulo I. Programación No Lineal

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I.1 Panorama y antecedentes de la Investigación de Operaciones.

Debido a la creciente complejidad de hoy día y a la especialización creciente de las organizaciones, para los administradores y ejecutivos de empresas grandes y pequeñas, se vuelve cada vez más difícil la toma de decisiones que implique la distribución eficaz de recursos limitados o disponibles de la empresa.

La idea de elegir la mejor manera para realizar una tarea que involucra requerimientos es tan antigua como la civilización misma. Se considera que la piedra angular de la teoría de optimización surge con la creación del cálculo por Newton y Leibnitz en el siglo XVII. Mediante el cálculo puede obtenerse no sólo una condición óptima en términos de máximo o mínimo de una función matemática, sino también el valor de las variables *independientes que originan que la función sea maximizada o minimizada*. Aunque el uso del cálculo no es iterativo y es restringido a la optimización de funciones bien formuladas que sean continuas y diferenciables, sus aplicaciones son extremadamente formidables; sin embargo, no resulta una herramienta eficaz en la solución de ciertos problemas de optimización reales que resultan de interés en la práctica.

Es debido a esta necesidad de mecanismos teóricos confiables que después de la Segunda Guerra Mundial surge una nueva clase de técnicas de optimización que con el tiempo, desarrollo, investigación y mejoramiento de las mismas, pudieron aplicarse satisfactoriamente a problemas sofisticados y complejos en la sociedad. Los orígenes de la Investigación de Operaciones tuvieron lugar en los inicios de la Segunda Guerra Mundial cuando los administradores militares ingleses de la fuerza aérea británica y posteriormente las fuerzas armadas norteamericanas, convocaron a científicos para que aplicaran el método científico al problema de la urgente necesidad que existía de asignar recursos escasos a las distintas operaciones militares de la forma más efectiva. Estos grupos de científicos de diferentes especialidades (matemáticos, estadistas, físicos, ingenieros) que realizaron investigaciones sobre operaciones (militares) construyendo modelos logísticos, constituyeron el primer equipo de Investigación de Operaciones

propiamente dicho que trajo consigo el triunfo aéreo inglés. Con el éxito que emanó de estos estudios en el campo bélico, ya para 1950 empezó a aplicarse en complejos sistemas de decisión que constituían problemas básicamente idénticos en un contexto diferente como la industria, los negocios y el gobierno, con gran éxito.

I.2 Definición de Investigación de Operaciones, solución de problemas y toma de decisiones.

En un sentido clásico podemos definir a la *Investigación de Operaciones* como un arte y una ciencia para obtener mejores políticas que satisfagan objetivos planteados; es el arte de representar de manera eficiente una situación real mediante un modelo matemático bien definido, y la ciencia aplicada por un grupo interdisciplinario mediante un enfoque planeado (método científico) con el fin de representar las complicadas relaciones funcionales de un problema real en forma de modelos matemáticos los cuales proporcionan una base cuantitativa para la toma de decisiones. En la actualidad se han unido econométristas, expertos en computación y administradores científicos a los grupos interdisciplinarios y heterogéneos de los estudios de Investigación de Operaciones: característica importante que éstos últimos deben incluir en los procesos de toma de decisiones ya que con ello se amplían las perspectivas y posibilidades en la solución de problemas reales.

Debido a la aplicación de la Investigación de Operaciones en el campo administrativo y económico, también es conocida como *ciencia de la administración* y en este contexto es un enfoque aplicable primordialmente a la toma de decisiones gerenciales. Los administradores de negocios, tanto en el sector servicios como en manufactura, enfrentan por igual problemas que pueden resolverse mediante la Investigación de Operaciones.

En el contexto gerencial, las decisiones se clasifican en dos categorías:

1) *Decisiones estratégicas*, las cuales tienen un efecto sobre horizontes de tiempo relativamente largos y se toman de una sola vez. El impacto que éstas tienen en la organización, por tanto, puede resultar de importancia

VERIFICAR
FALLA DE ORIGEN

relevante por lo que el incremento en el aseguramiento de un modelo válido que incluya todos los aspectos importantes del problema con los datos más exactos posibles, es primordial para su aplicación.

2) **Decisiones operacionales.** Al contrario de las decisiones estratégicas, las decisiones operacionales impactan a la organización en periodos cortos de tiempo y por lo general se usan repetidamente; al respecto deberán identificarse y desarrollarse los procedimientos de solución más eficientes lo que originará otro aspecto importante de la aplicación de un modelo: el ahorro de tiempo y de cómputo.

Incluso en los diversos niveles de la organización, los modelos tienen funciones diferentes. Por ejemplo, usualmente en los niveles más altos de una organización los modelos proporcionan únicamente datos e información y no decisiones; en caso contrario de los niveles menores donde frecuentemente se usan como auxiliares en la toma de decisiones. Esto se debe a que en niveles sucesivos cada vez más bajos de una organización: las alternativas y los objetivos pueden resultar más claros con una disponibilidad mayor de datos y sobre todo con menor certidumbre que en niveles más altos.

La **teoría de decisiones** es el estudio de cómo hacer selecciones óptimas en un conjunto de alternativas de acuerdo a la predictibilidad de las consecuencias.

Toda **organización** es un sistema y todo sistema tiene componentes e interacciones entre éstas (un **sistema** es cualquier conjunto de partes relacionadas). Algunas interacciones son controlables y otras no; por lo que se requiere de un procedimiento sistemático (el enfoque de la Investigación de Operaciones) que logre identificar y representar adecuadamente las interacciones entre las componentes controlables asociadas. Por lo consiguiente, un sistema es una estructura dinámica ya que la información (datos) es el elemento que convierte a una estructura en un sistema; es decir, la información dinamiza una estructura convirtiéndola en un sistema. Ésta fluye a través de los componentes del sistema haciendo que éstos interactúen entre sí. Ante tal situación, la Investigación de Operaciones es el método que permite identificar las relaciones óptimas que mejor caracteri-

cen o representen a un sistema bajo un objetivo específico.

Con la Investigación de Operaciones se pretende llevar a cabo el proceso de solución de problemas referentes a la conducción y coordinación de operaciones o actividades dentro de una organización; mediante la observación cuidadosa, la formulación del problema, la recolección de los datos pertinentes y la construcción del **modelo matemático** que sea una abstracción de la esencia del problema real y las soluciones generadas un auxiliar en el proceso de toma de decisiones.

La **solución de problemas** es el proceso mediante el cual se identifican las diferencias entre el estado actual del problema bajo estudio y el que se desea, por lo que los pasos del proceso tienden a anular esta diferencia y a alcanzar el estado deseado.

Pasos del proceso de solución de problemas:

- 1) Identificar y definir el problema.
- 2) Determinar el conjunto de soluciones alternativas.
- 3) Determinar el criterio o criterios que se utilizarán para evaluar las alternativas.
- 4) Evaluar todas las alternativas.
- 5) Elegir una alternativa (tomar una decisión).
- 6) Implantar la alternativa seleccionada.
- 7) Evaluar los resultados y determinar si se ha obtenido una solución satisfactoria.

Como puede apreciarse en los pasos del proceso de solución de problemas: la **toma de decisiones** es el término que se da al proceso asociado con los primeros cinco pasos del proceso de solución de problemas, lo cual no significa que su importancia sea menor aunque su alcance es un tanto más limitado. Los primeros tres pasos corresponden a la estructuración del problema y los pasos cuatro y cinco a un análisis del mismo. Las etapas de desarrollo y de solución del modelo matemático no deben abordarse por separado, ya que si se aborda primero la etapa de desarrollo del modelo intentando encontrar el modelo más preciso y realista, es posible que este modelo obtenido resulte demasiado grande y complejo haciendo imposible obtener una solución. Por ello, es siempre preferible

formular un modelo sencillo y quizá más accesible aun cuando la solución que se obtenga sea una aproximación un tanto tosca de la mejor decisión. La “**mejor decisión**” o “**decisión óptima**” es aquella con más grandes esperanzas de que sea una buena decisión para el problema real. Los factores que complican un modelo matemático son la forma o estructura matemática asociada y el tamaño del mismo (los problemas prácticos regularmente incluyen cientos o miles de variables y un número similar de restricciones). Con frecuencia la evaluación de cada alternativa resulta difícil o tardada debido a la cantidad y complejidad de información que debe procesarse, porque el número de soluciones alternativas es tan vasto que *posiblemente no puedan evaluarse todas para seleccionar una apropiada* o porque aunque en muchos casos es posible conocer todas las alternativas, en otros algunas alternativas quedarán sin descubrir; de hecho, no con frecuencia se sabe cuántas alternativas existen y cuáles son. Una recomendación ante la situación de un gran número de alternativas es elevar los criterios para reducir este número y si por el contrario, se encuentran muy pocas soluciones, se recomienda reducir los criterios o incluso cambiarlos adecuadamente. Por lo tanto, resulta cada vez más frecuente que los administradores elijan usar métodos cuantitativos y paquetes computacionales para llegar a una solución “óptima” de algún problema en específico. El estudio de estos métodos y la forma en que deben usarse en el proceso de toma de decisiones es la esencia de la Investigación de Operaciones.

Con los avances teóricos aplicados en el desarrollo de las técnicas de optimización, y en específico con la creación del Método Simplex en 1947 por George Dantzing para resolver problemas de Programación Lineal; así como con los recientes avances en matemáticas aplicadas y la tecnología de computadoras digitales: la Investigación de Operaciones ha logrado con certeza el grado de una ciencia y ha facilitado que problemas industriales complejos en ingeniería y economía sean solucionados exitosamente mediante la aplicación de lógica y técnicas sistemáticas.

En un modelo matemático de **Programación Lineal** como su adjetivo lo indica, todas las funciones matemáticas involucradas deben ser funciones lineales. En el contexto de la Investigación de Operaciones, “programación”

es un sinónimo de planeación; así, la Programación Lineal se refiere a la planeación de actividades con el fin de obtener un resultado óptimo. Y cualquier problema cuyo modelo matemático se ajuste al formato general del modelo de Programación Lineal es un Problema de Programación Lineal (PPL) y para resolverlo se usa el método simplex eficazmente incluso en problemas de mayor tamaño.

Un gran número de problemas físicos pueden ser adecuadamente representados por medio de un PPL. Su simplicidad ha hecho posible analizar problemas complejos y los algoritmos computacionales desarrollados cuentan con un alto grado de eficiencia y el óptimo global, si existe, es siempre encontrado en un número finito de pasos ya que se trata de una **técnica secuencial** a la cual pertenecen la mayoría de las técnicas de optimización en las cuales la función objetivo es sucesivamente perfeccionada al moverse sistemáticamente de un punto a otro; es decir, se obtiene el óptimo mediante un procedimiento sistemático paso a paso (algoritmo) de manera tal que la información obtenida para un punto o estado en el desarrollo del proceso de solución es usada para determinar la información del siguiente punto; y los valores perfeccionados de las variables independientes son determinados en cada paso; lo cual diferencia estas técnicas de las clasificadas como **técnicas de optimización simultánea** o no secuenciales, las cuales resuelven el problema determinando el valor óptimo de todas las variables al mismo tiempo y por lo general independientemente de la información previa. Aunque resultan útiles cuando las técnicas secuenciales fallan. Un ejemplo de técnica simultánea es el método del gradiente en Programación Lineal, el cual hace uso de algoritmos iterativos que convergen gradualmente a las condiciones óptimas deseadas evaluando todas las variables en cada iteración. El **análisis postóptimo**, también llamado **análisis de sensibilidad** o **análisis paramétrico**, permite realizar fácil y rápidamente una variación en la solución óptima que corresponde a un cierto cambio en los parámetros del problema con el fin de determinar que parámetros del modelo son los más críticos o sensibles al determinar la solución (los parámetros sensibles son aquellos cuyos valores no se pueden cambiar sin que la solución óptima cambie). Resulta fundamental en términos de formulación de modelos más

útiles y como un medio de evaluación de la utilidad de los modelos en aplicaciones específicas; así como una presentación de soluciones alternativas cuya elección de la mejor determinará el criterio de la administración y la obtención de un conjunto de soluciones como aproximaciones cada vez mejores al curso de acción ideal mediante la manipulación de parámetros sensibles.

El uso de modelos dependerá de las personas que los construyan por lo que debe tenerse claro que en una empresa prácticamente un modelo es equivalente a una *planeación ejecutiva* ya que estos modelos de planeación aplicados se usarán ya sea para predecir el futuro, explorar alternativas, desarrollar planes de contingencia, aumentar el alcance de objetivos, etc.; es decir, en la satisfacción de planes con la información que se disponga.

I.3 Componentes de un Problema de Programación Lineal.

Z = valor de la medida global de efectividad, función compensación o recompensa, comúnmente conocida como función objetivo (expresión matemática que describe el objetivo del problema).

x_j = nivel de la actividad j ($j=1, \dots, n$).

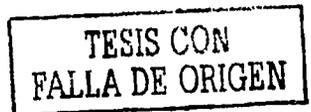
c_j = incremento en Z que resulta al aumentar una unidad en el nivel de la actividad j .

b_i = cantidad del recurso i disponible para asignar a las actividades o valor de los requerimientos respectivos ($i=1, \dots, m$).

a_{ij} = cantidad del recurso i consumido por cada unidad de la actividad j . (También llamada *tasa física de los coeficientes de sustitución*).

Los valores de c_j , b_i y a_{ij} son los *parámetros o constantes de entrada* del modelo. Y como ya se indicó anteriormente, todas las funciones (función objetivo y funciones de restricción) de un PPL son lineales.

Debido a que la solución del PPL implica tomar una decisión sobre valores específicos de x_j con el fin de maximizar o minimizar el valor de la medida global de efectividad; estas variables se denominan *variables de decisión*.



Las limitaciones o consideraciones especiales en el problema real se expresan mediante restricciones en el modelo; es decir, mediante expresiones simbólicas (funciones) de las variables usadas. Una restricción es una igualdad o desigualdad matemática que deberá cumplirse. El miembro izquierdo de estas expresiones recibe el nombre de **restricciones funcionales** y b_i es el **vector de disponibilidad de recursos**.

También deberán especificarse las condiciones de no negatividad de las variables de decisión. Las limitaciones impuestas son causadas por alguna escasez de recursos a asignar o por determinados requerimientos que imponen restricciones a las decisiones. La optimización restringida ha sido el área más activa de estudio de la Investigación de Operaciones.

Una **solución factible** es aquella para la cual todas las restricciones de un modelo en particular se satisfacen. De manera que una **solución no factible** corresponde a aquella para la cual se viola al menos una restricción. En tales circunstancias, la **región factible** de un modelo es el conjunto o colección de todas las soluciones factibles.

La **solución óptima** de un modelo corresponde a los valores específicos de las variables de decisión que ofrecen la solución factible con el valor más favorable (el más pequeño si la función objetivo se minimiza y el más grande si se maximiza) de la función objetivo. La equivalencia entre maximizar y minimizar es $\min f(x) = -\max(-f(x))$. Un PPL presenta soluciones óptimas múltiples cuando existe más de un conjunto de valores para las variables de decisión que proporcionan el mismo valor óptimo de la función objetivo; y no presenta soluciones óptimas cuando no hay soluciones factibles o cuando las restricciones no impiden que el valor de la función objetivo mejore indefinidamente en alguna dirección favorable. La **selección de una decisión** es equivalente a la determinación de valores numéricos de las variables de decisión y recíprocamente; los valores numéricos de las variables de decisión representan las actividades o asignaciones que se van a emprender a diversos niveles. Cualquier elección de estos valores asigna directamente un valor numérico a la función objetivo y a las restricciones. En el contexto de los modelos cuantitativos, los números tienen diferentes papeles intrínsecos en la creación, solución y uso de estos modelos; es decir, las decisiones son números que resultan de una

evaluación de datos numéricos.

I.3.1 Forma estándar del PPL.

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeta a las restricciones

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$\vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

I.3.2 Suposiciones de Programación Lineal.

1) **Proporcionalidad.**- Suposición que elimina los exponentes diferentes de uno de las variables en cualquier término de la función objetivo o de cualquier restricción funcional en un modelo de Programación Lineal. Esto es, si en las restricciones el valor de cualquier variable se multiplica por cualquier constante, la contribución de la variable a la restricción se multiplica por esa misma constante: la contribución de cada variable de la restricción funcional es proporcional al nivel de esa variable.

2) **Aditividad.**- Suposición que elimina los términos de productos cruzados (aquellos que incluyen el producto de dos o más variables). Por lo que la contribución de cada variable en la función objetivo y en cualquier restricción funcional se suma (o sustrae) a la de cada una de las demás variables de la función específica.

3) **Divisibilidad.**- Suposición que establece los valores permitidos para las variables de decisión. En un modelo de Programación Lineal, estas variables pueden tomar cualquier valor real con el fin de satisfacer las restricciones funcionales y de no negatividad. Cuando las variables de decisión restringen a valores enteros los modelos matemáticos generados se denominan *modelos de programación entera*.

4) *Certidumbre*.- Suposición que determina que los valores asignados a los parámetros o constantes de entrada del modelo deben ser valores conocidos y sin variaciones. Esta suposición muy pocas veces se satisface, ya que es posible que los valores de los parámetros estén basados en predicciones por lo que la presencia de un cierto grado de incertidumbre suele resultar inevitable, para un análisis más concreto de la validez de las predicciones deberá realizarse un análisis de sensibilidad, después de hallar alguna solución óptima para los valores supuestos de los parámetros.

Debe analizarse hasta que grado se cumplen estas suposiciones ya que si alguna de ellas queda violada de manera importante, deberá disponerse de algún modelo alternativo; aunque en la realidad todo lo que se necesita es que exista una alta correlación entre el ajuste del modelo con el problema real que representa.

En la actualidad, no todos los problemas pueden ser resueltos mediante la metodología existente; sin embargo, el desarrollo de nuevas y más poderosas técnicas de optimización crece rápidamente. A partir de 1980 se obtiene éxito y gran difusión en la creación de paquetes de software para resolver problemas de Investigación de Operaciones, lo cual origina que las técnicas de optimización estén al alcance de un gran número de personas ampliándose y diversificándose aun más sus aplicaciones. Hoy día, el creciente auge de eficientes paquetes de programas para microcomputadoras está haciendo que muchas técnicas para resolver modelos sean más fáciles de usar. A su vez, también se ha incrementado la tendencia a tratar los algoritmos asociados como una "caja negra", lo cual frecuentemente provoca que el administrador no use todas las capacidades de una técnica de solución e incluso a emplearla erróneamente. Al respecto, el propósito del equipo de Investigación de Operaciones debe hacer que el tomador de decisiones comprenda las ideas básicas sin tener que aprender necesariamente todos los detalles matemáticos. Debe evitarse que el administrador opine que temas de gran interés para el equipo de Investigación de Operaciones le parezcan estériles estructuras matemáticas con poca relevancia en el problema real. Se deja a las computadoras las operaciones matemáticas necesarias para resolver los modelos y se pretende ayudar a comprender al administrador que el problema es susceptible de

modelo, así como a visualizar las perspectivas de obtener una solución por computadora en un tiempo razonable a la vez en que se le instruye sobre cómo obtener el valor "óptimo" del modelo y del rendimiento de la computadora. Para el usuario: los modelos existen para ser utilizados antes de encontrarse sumergido en los detalles de los mismos. Con frecuencia un saludable escepticismo es la mejor garantía de conseguir el máximo beneficio real de los estudios de la Investigación de Operaciones.

Cuando alguno de los supuestos de Programación Lineal que se han expuesto no se cumple o si el planteamiento del problema no se ajusta a uno de Programación Lineal: podemos hacer uso de un Problema de Programación No Lineal (PPNL), si es el caso, en forma tal que las técnicas desarrolladas para problemas lineales puedan aplicarse.

En la práctica, puede desarrollarse un PPL que se ajuste y resulte útil en la solución de un problema real; pero cuando el planteamiento del problema no satisfaga las suposiciones de Programación Lineal y tenga cierto grado de no linealidad: es necesario manejar problemas de Programación No Lineal.

I.4 Formulación y construcción de modelos.

El planteamiento del problema determinará el procedimiento o algoritmo más adecuado de solución; debido a que no se dispone como en Programación Lineal, de un algoritmo, como es el método simplex, que resuelva todos los tipos especiales de Problemas de Programación No Lineal. El procedimiento de solución dependerá de las características específicas del modelo, la elección de la técnica apropiada significa que se han identificado las características esenciales que el modelo posee. También la elección del modelo depende del sistema real bajo estudio y del propósito del mismo. De esta manera, se considera que el aspecto más importante de la Investigación de Operaciones es la construcción de modelos, ya que, como se mencionó anteriormente, existen numerosos paquetes de cómputo para resolver un modelo; pero no existen paquetes generales que construyan modelos.

Debe adoptarse un pensamiento crítico tanto en la formulación como en la solución del modelo, ya que si se cometen errores durante estas etapas, las soluciones carecerán de sentido. En referencia al proceso de pensamiento en la formulación de problemas: la construcción de un modelo es un arte que se alcanza con la práctica y con el uso de las herramientas auxiliares sistemáticas existentes que con un estudio adecuado de las mismas podemos utilizar y así formular un problema nuevo que se nos presente en la práctica. El conocimiento de los métodos cuantitativos ayudará a guiar el pensamiento.

La *formulación y construcción de modelos* son procesos integrados que consisten en tomar un problema del mundo real y describirlo en términos matemáticos: convertir la descripción cualitativa de un problema real a una forma matemática que pueda resolverse. La formulación del modelo comprende el aspecto lógico conceptual en el que se han hecho conjeturas y simplificaciones seleccionando o aislando del ambiente los aspectos de la realidad relevantes en el ámbito del problema; y la construcción, la representación simbólica efectiva de las relaciones lógicas que puede requerir una gran cantidad de colecciones de datos y programas de cómputo (incluso para el manejo de estas colecciones de datos puede ser necesario la creación una base de datos). La formulación exige análisis, selectividad y decisiones respecto a la relevancia de factores en la función objetivo. Y la construcción es un proceso más técnico que implica una traducción del problema real al lenguaje matemático y la adaptación de herramientas conocidas para llegar a una solución efectiva; por lo que puede considerarse que la formulación es aún más crítica que la construcción misma del modelo. También la interacción entre ambas es crítica ya que debe evitarse la formulación de modelos que no puedan ser construidos así como la construcción de modelos demasiado complejos que no puedan usarse debido a la imposibilidad de obtener una solución y a un tiempo considerablemente largo de corrida del programa en computadora.

Se requiere de preparación o enriquecimiento técnico de la teoría, desarrollo y aplicación de las diversas técnicas de solución así como de algoritmos específicos, arte e imaginación. Las *técnicas de solución* o *algoritmos* son los métodos matemáticos usados para hallar las respuestas

de algún modelo matemático creado. Los algoritmos son la tecnología matemática que por medio de un modelo específico crea un programa de computadora que soluciona el problema real que representa el modelo. Se requiere de un tratamiento profundo de las relaciones entre el modelo y el problema real que representa (estar bien informado) con el propósito de que el modelo especifique en lenguaje simbólico la forma en que las diversas decisiones afectarán al objetivo; aunque la situación más común es no saber todo acerca de algún problema en particular, por ello el papel del administrador es comúnmente conocido como el de tomar decisiones basado en información incompleta.

Otra de las consideraciones para una aplicación exhaustiva del enfoque de la Investigación de Operaciones es la *objetividad*. Al respecto se considera que la descripción de la mejor toma de decisiones es la proporcionada por Herbert Simon, ya que considera que los administradores siempre tratan de comportarse lo más racionalmente posible dentro de las fronteras de la información limitada y con frecuencia con objetivos en conflicto, por lo que considera que los administradores más que buscar soluciones óptimas, buscan soluciones satisfactorias: *satisfacer más que optimizar*. Así, el objetivo del proceso más que una solución óptima se convierte más bien en una solución satisfactoria.

Resulta necesario aclarar ciertos aspectos del problema antes de intentar formularlo:

- 1) Podrían presentarse varios criterios para la especificación de la función objetivo, incluso pudieran suscitarse objetivos conflictivos como minimizar costos o maximizar la satisfacción del cliente; por lo que deberá elegirse aquél que sea más consistente con el plan estratégico global de la organización.
- 2) La posibilidad de omitir ciertas restricciones que por la naturaleza de la función objetivo se satisfacen automáticamente por ésta o mediante alguna otra restricción.
- 3) Es necesario especificar las unidades apropiadas para las variables y ser consistente durante toda la formulación y construcción de las expresiones matemáticas del modelo con las unidades definidas.

- 4) Indicar las variables irrestrictas (pueden tomar cualquier valor real) y las variables restringidas de acuerdo al contexto de los elementos del problema.
- 5) Considerar la posibilidad de expresar los términos de las restricciones e incluso los de la función objetivo en más de una forma, eligiendo la expresión más sencilla.
- 6) Resolver ambigüedades respecto a la interpretación de las restricciones objetivas impuestas sobre el problema (por ejemplo “satisfacer la demanda” puede significar exactamente igual o al menos). Aún los administradores más capaces pueden desconocer con exactitud los resultados que pretenden alcanzar, por lo que el satisfacer demasiados objetivos se vuelve complicado y tiene que escogerse uno de entre muchos.
- 7) El usar nombre simbólicos en vez de valores de datos específicos permite: formular un problema sin esperar la recolección de los valores de los datos y usar el mismo modelo para problemas similares obteniendo distintos valores de datos.

I.4.1 Pasos en la formulación del problema.

Paso 1. Identificar las variables de decisión y el objetivo general del problema.

Durante la formulación del problema se estudia el ambiente del problema real y el objetivo se plantea verbalmente en términos de las variables de decisión definidas. A estas se les asigna un nombre simbólico o descriptivo preciso que ayude a la comprensión de su significado en el contexto del problema, deben recordarse las unidades de medición o cantidades que representan para evitar inconsistencias. Debe estudiarse la forma en que las variables se interrelacionan así como considerar la posibilidad de expresar de distintas maneras estas relaciones, ya que debe elegirse la más sencilla. Las variables deben estar interrelacionadas con el fin de generar el resultado total de la formulación del modelo: la forma en que el objetivo se relaciona con los diversos factores (variables de decisión) sobre los que tiene control el tomador de decisiones.

En este primer paso de la formulación del problema se establecen las fronteras del problema. Un *sistema abierto* es aquel que interactúa con su medio ambiente y un *sistema cerrado* en el que no existe tal interacción. Sin lugar a dudas, todos los sistemas reales son abiertos; pero al construir modelos de sistemas abiertos, estos tienen una infinidad de contactos posibles con su medio ambiente y como es imposible analizar lo "infinito", los modelos quedan limitados a factores relevantes, lo que los convierte en sistemas cerrados.

Paso 2. Identificación de los datos del problema.

Debido a que la finalidad de la resolución de problema es proporcionar valores reales para las variables de decisión, es de gran importancia obtener datos relevantes y precisos del problema real. Estaremos mejor capacitados para resolver problemas si tenemos la información requerida sobre ellos. A diferencia de las variables de decisión cuyos valores pueden controlarse, los datos son *incontrolables e incluso otros datos (información adicional)* podrían necesitarse durante la construcción del modelo.

Deberán obtenerse los datos antes de completar la formulación del modelo ya que se usarán para especificar la función objetivo y las *restricciones*. Su *obtención implica tiempo y puede resultar caro e incluso imposible obtenerlos*, frecuentemente su obtención y aún más su preparación son los pasos más costosos y laboriosos al aplicar los métodos cuantitativos. A veces será necesario estimarlos lo mejor posible o restringir el alcance del modelo para incluir sólo los datos disponibles.

Cuando se estimen los datos deberá medirse la confiabilidad de la solución analizando que tan sensible es la solución a cambios en los datos (análisis paramétrico). Mientras más grande sea el cambio en la solución, más cuidadoso se debe ser en la obtención de estimaciones de los datos. Por lo tanto, podemos definir a los datos como los hechos o conceptos conocidos o supuestos, generalmente expresados numéricamente. Son la base parcial de las decisiones y de la descripción de los sistemas de la realidad. Reflejan lo que ocurrió en el pasado y lo que está sucediendo por lo que resultan también útiles para tomar decisiones sobre el futuro. Cuando los valores de los datos se conocen con exactitud, el modelo que se formule será un *modelo determinístico*; y en el caso de incertidumbre en

ellos (sujetos a variaciones debido a su naturaleza de estimación por la que se obtienen), el modelo formulado se clasifica como un *modelo probabilístico* o *estocástico*.

Los datos en sí no siempre proporcionan bases suficientes para llegar a una decisión, por lo que es necesario procesarlos hasta que queden en una forma más útil. Independientemente del modelo que se use, previamente deben proporcionarse los datos adecuados. Así, los datos pueden usarse directamente como respaldo en la toma de decisiones o bien introducirse en un modelo para obtener una solución basada en los mismos y en las relaciones del sistema. La *preparación de los datos* es un proceso crucial (que no deberá asignarse a cualquier persona, sino a quien ya posea conocimiento del sistema bajo estudio), ya que el tiempo que se requiera y la posibilidad de cometer errores aun en la recolección es siempre latente. Especialmente en modelos de gran tamaño con abundantes datos de entrada se requiere frecuentemente la implementación de una base de datos para dar apoyo al modelo matemático y aprovechar al máximo el desarrollo de la tecnología de cómputo que ahorra tiempo y facilita el manejo y actualización de datos.

Los datos se clasifican de acuerdo a su obtención, uso y procesamiento en:

Datos de transacciones: aquellos que resultan de las transacciones comerciales diarias. Es importante conservarlos con el fin de registrar lo que sucede en la organización.

Datos internos: aquellos asociados intrínsecamente con la organización. En esta categoría se incluyen las estimaciones de información que realizan los analistas de Investigación de Operaciones contratados por la empresa.

Datos externos: aquellos referentes al medio en que opera o que afecta a la organización.

En lo que respecta a las *fuentes de datos*, estas pueden variar desde registros de la misma organización hasta investigaciones especiales. Pueden provenir de informes programados, informes solicitados o sistemas administrativos de bases de datos en los cuales es posible almacenar, conservar y extraer con facilidad información de los procesos.

Los informes solicitados se refieren al hecho de que las industrias pueden actualmente formar parte de asociaciones de intercambio que proporcionan datos de interés a sus miembros; así como consultar a diversas firmas que por honorarios, proporcionan datos externos específicos. Además pueden consultarse publicaciones del gobierno federal que pueden ser útiles a las organizaciones.

Paso 3. Identificación de las restricciones.

Primeramente deben identificarse y plantearse en forma verbal cada restricción para posteriormente traducirlas a la forma matemática mediante el uso de las variables de decisión y otros datos conocidos del problema. Debe identificarse la tasa física de los coeficientes de sustitución y definirse los valores que pueden tomar las variables de decisión (enteros, fraccionarios mayores o iguales a cero; definir condiciones de no negatividad de las variables de decisión o si son irrestrictas)

Técnicas útiles en la identificación de variables, la función objetivo, datos y las restricciones; son: 1) **Diagrama esquemático**, que es un dibujo usado para representar los diversos componentes de un problema y ayuda a ilustrar el problema para su construcción matemática. 2) La **técnica de agrupamiento** identifica grupos de restricciones con algún aspecto particular del problema: resulta útil ya que después de formular una restricción de grupo, se facilita la formulación de las demás restricciones debido a su estructura equivalente.

I.5 Hipótesis de un modelo de Investigación de Operaciones.

Diversos factores pueden presentarse al analista impidiéndole una clara comprensión del problema, como los conflictos organizacionales, la divergencia de metas personales y de la organización o en sí la complejidad total del problema real. Ante tal situación es esencial la experiencia para el éxito del estudio de Investigación de Operaciones ya que siempre que no se cuente con ella el analista deberá acercarse a quien la tenga.

Debe examinarse y supervisarse la solución en el contexto del problema original en lugar de hacerlo simplemente como el resultado matemático de la formulación, sólo si es práctico tendrá sentido implantar la solución. Posteriormente de la implantación del modelo es necesario supervisar los resultados con el fin de verificar que la solución logra los objetivos que la organización esperaba. Y ya que los datos tienden a cambiar con el tiempo, es preciso actualizar el modelo cuando se considere necesario.

La hipótesis característica de un modelo de Investigación de Operaciones consiste en que el modelo es una representación lo suficientemente precisa de las características esenciales de la situación como para que las conclusiones (soluciones) obtenidas mediante la solución del mismo sean válidas también para el problema real; por lo que debe efectuarse la metodología adecuada para comprobar que el modelo cumple con la hipótesis planteada. Y la meta será identificar el mejor curso de acción posible a la vez que la toma de decisión de una mejor solución de acuerdo a los lineamientos del problema, ya que pudieran obtenerse varias; asimismo, debido a que el modelo es la especificación en lenguaje simbólico de la forma en que las diversas decisiones afectarán al objetivo planteado; en general, y ante la complejidad de problemas del mundo real, existe más de una forma "correcta" de construir un modelo. Mediante un estudio de Investigación de Operaciones en un área específica de la empresa, debe considerarse que los objetivos formulados coincidan con los de toda la organización y que sean lo más específicos posible con un nivel razonable de consistencia con los objetivos de altos niveles; ya que si resultan muy generales: su inclusión en el modelo resultará un análisis sumamente complejo y en medida innecesario que a su vez también complicaría la obtención de una solución satisfactoria. Con el fin de obtener los máximos beneficios deberá asumirse un enfoque a largo plazo e involucrar a los tomadores de decisiones en el proceso de desarrollo del modelo para su aceptación. El nivel de éxito en la implantación de los resultados de proyectos de Investigación de Operaciones es mucho más elevado para los proyectos en los que los usuarios han participado en gran medida.

La prueba del éxito de un estudio de Investigación de Operaciones es de hecho si proporciona o no una mejor guía en las decisiones de la que se

puede obtener por otros medios. La Investigación de Operaciones se usa para ayudar a los administradores a tomar mejores decisiones y pone especial énfasis en el proceso de toma de decisiones y evidentemente busca la mejor solución a un problema automatizándolo. Debido a que el modelo no es la realidad, sino una abstracción de la misma mediante una aproximación simbólica o expresión idealizada y simplificada de la realidad: ningún modelo pretende garantizar la “mejor decisión” como un sustituto del criterio del tomador de decisiones ya que es éste quien deberá evaluar el modelo mismo considerando que peso debe dar a las recomendaciones que le proporciona el modelo en particular: los modelos refinan o evalúan los datos originales para producir información más útil. Incluso estos datos pueden usarse como entradas para otros modelos.

En la conceptualización misma de un modelo matemático radica su desventaja práctica: debido a que los modelos matemáticos, como ya se indicó, son abstracciones del mundo real, como tales, no pueden capturar todos los aspectos de la realidad; sin embargo, si un modelo puede incluir los aspectos más relevantes del problema omitiendo lo irrelevante sin hacer que esta división, separación o abstracción lo conviertan en un sistema no viable para el estudio del problema real; así como ofrecer una recomendación como solución útil, resulta un auxiliar eficiente en la toma de decisiones. De la precisión con la que puedan expresarse el objetivo y las restricciones en términos de ecuaciones o relaciones matemáticas en el modelo dependerá desde luego el grado de certeza en la representación de la realidad y por lo tanto de las conclusiones y decisiones que se generen con el modelo. Aunque, no debe olvidarse que, en general, la ventaja de la experimentación con modelos matemáticos requiere menos tiempo y es menos costosa que aquella que se realiza (si es que pudiera realizarse) con el problema real.

Ya que la aplicación de modelos es equivalente a un refuerzo o herramienta auxiliar del tomador de decisiones en su objetivo, deberán aplicarse técnicas de bondad (validez) del modelo que indiquen el grado de importancia que debe atribuirse a sus recomendaciones en el problema real. La calidad o precisión del modelo no podrá evaluarse sino hasta que se generen soluciones para el mismo. Con tal fin, la prueba más veraz y signi-

ficativa es la conocida *prueba retrospectiva* que consiste en la reconstrucción del pasado para determinar si el modelo y la solución resultante hubieran tenido un buen desempeño de haberse usado con anterioridad. Las soluciones de estos problemas de “prueba” relativamente pequeños, por su naturaleza histórica, se conocerán ya que pudieron haberse obtenido en aquel momento o eran las que se esperaban. Si estas soluciones se generan, entonces se concluirá que es factible utilizar el modelo en su dimensión real actual; pero si por el contrario se generan inexactitudes potenciales, será preciso aplicar medidas correctivas: ya sea modificar el modelo mismo o proporcionarle datos de entrada más exactos. Mientras las pruebas retrospectivas no resulten satisfactorias, las soluciones del modelo no deben ser utilizadas. Validar el modelo es indicar si predice o no con suficiente exactitud los efectos relativos de los diferentes cursos de acción (obtención de una decisión que tenga sentido) mediante una alta correlación entre el modelo y la situación real. Resulta recomendable dejar pasar un tiempo para obtener más datos y emplearlos para evaluar con mayor veracidad el modelo.

No debe olvidarse **documentar** el estudio de Investigación de Operaciones, ni de generar un reporte con base en la solución del modelo. La solución basada en análisis cuantitativo es uno de los factores que el administrador considerará antes de tomar su decisión final, por ello, es esencial que los resultados del modelo y demás información que se considere útil o relevante aparezcan en un reporte gerencial que resulte de fácil comprensión para el tomador de decisiones. Los beneficios que un proyecto de Investigación de Operaciones puede aportar son: el incremento de la posibilidad de tomar mejores decisiones con la ayuda de técnicas más sofisticadas (la Investigación de Operaciones) y de tecnología de vanguardia (paquetes computacionales); y por lo tanto, la mejora de la coordinación entre las múltiples componentes de la organización ya que la Investigación de Operaciones genera un mayor nivel de ordenación. La *meta del analista* entonces será proporcionar una justificación cuantitativa razonada para el proceso de toma de decisiones haciendo ver que la Investigación de Operaciones es una herramienta que permite que un sistema se convierta en otro más eficaz cuya contribución más importante es la aplicación de sus

resultados en la toma de decisiones, como un auxiliar en niveles bajos, medianos e incluso superiores de una organización sin excluir la experiencia, el juicio y coraje humano que los administradores de una empresa adoptan también en la toma de decisiones; los métodos cuantitativos de la Investigación de Operaciones se emplearán como guía y como ayuda en la toma de decisiones, así como para automatizar la toma de decisiones.

Ante la disminución con el tiempo de los costos de computación, aunque los modelos usados en los negocios pudieran llegar a ser más simples en el futuro, la tendencia actual en la construcción de modelos va hacia una mayor complejidad. Los modelos formales proporcionan a los individuos y a los grupos una herramienta para disminuir la inconsistencia y su uso es una arma del comportamiento racional en la búsqueda de buenas soluciones.

I.6 Programación No Lineal.

En la práctica puede desarrollarse un PPL que se ajuste y sea útil en la resolución de un problema real; pero cuando el planteamiento del problema no satisfaga las suposiciones de Programación Lineal, resulta necesario plantear Problemas de *Programación No Lineal* (PPNL).

I.6.1 Forma estándar de un PPNL.

Hallar $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ para Maximizar $f(x)$
 Sujeta a las restricciones
 $g_i(x) \leq b_i$
 con $x \geq 0$ e $i=1, 2, \dots, m$.

donde $f(x)$ y/o $g_i(x)$ son no lineales.

I.6.2 Suposiciones de Programación No Lineal.

Debido a que como puede observarse en la forma estándar de un PPNL, al menos una de las restricciones o la función objetivo, incluso ambas, son no lineales; la región factible que se obtendrá ya no será un poliedro como

en el caso de PL, esto es, no será una figura de lados planos limitada por desigualdades lineales. De aquí que la solución óptima no se encontrará en un vértice, razón por la cual el método Simplex no es factible de aplicar en PPNL.

Es necesario indicar que muchos de los métodos de solución existentes se han diseñado para resolver tipos especiales de problemas de PNL, como aquellos que resuelven exclusivamente problemas de Programación Cuadrática donde precisamente la función objetivo es cuadrática. Sin embargo, esta es solo una opción en la alternativa de solución de modelos de PNL, por lo que muchas veces es recomendable seguir la otra opción, es decir, estudiar otro tipo de tratamiento del modelo que lo convierta en un problema linealizado el cual dependerá en gran parte del tipo de problema que se estudie y del método que se emplee en su solución ya que el diseño y solución de la PNL es muchas veces un arte que aplica la PL y algún método de solución especial cuya herramienta esencial es el método simplex.

Como se mencionó además en el subtema Formulación y construcción de modelos, en el caso de la PNL no se cuenta con un algoritmo como el Simplex para PL que resuelva problemas para los cuales las suposiciones de linealidad no se cumplen. Por lo que en realidad el aspecto importante para la(s) persona(s) que construya(n) el modelo es saber cuándo una **versión linealizada del modelo no lineal** resulta ser una representación adecuada del mismo.

I.6.3 Método gráfico.

Primeramente, una vez que se plantee un modelo se recomienda realizar una gráfica del conjunto de puntos que satisfacen simultáneamente todas las restricciones, como en PL, dicho conjunto también recibe el nombre de *región factible* o *conjunto restringido* y representa las decisiones admisibles. Si se pretende maximizar la función objetivo, deberá encontrarse el contorno situado “mas cuesta arriba”, es decir, el que proporcione el mayor valor. Y se trata de minimizar, el contorno “mas cuesta abajo” (el que da el menor valor).

I.6.4 Funciones cóncava y convexa.

Un caso especial de PNL es cuando las funciones $g_i(x)$ son convexas y separables, de hecho, son funciones lineales, como las de Programación Lineal; así, sólo la función objetivo requerirá un tratamiento especial. La condición de que $f(x)$ sea una **función separable** simplemente implica aditividad; es decir, no existe interacción entre las variables que afecte más allá de sus contribuciones independientes. Si $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ es una **función convexa**, la colección de puntos que se encuentra arriba o sobre la gráfica de $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ forman un conjunto convexo. Y si por el contrario, la colección de puntos que se encuentran debajo de la gráfica de una función forman un conjunto convexo, entonces se trata de una **función cóncava**. Un **conjunto convexo** es una colección de puntos tales que para cada par de puntos de la colección, el segmento rectilíneo completo que une estos dos puntos también está en la colección.

En general, los algoritmos de PNL no pueden distinguir entre un máximo local y un máximo global, por lo que es esencial conocer las condiciones bajo las cuales se garantiza que un máximo local es un máximo global en la región factible. Un punto es un **máximo local** si la función evaluada en dicho punto es estrictamente cóncava dentro de una vecindad de dicho punto. Entendemos por **vecindad de radio δ** de un punto P al conjunto de todos los puntos Q tales que $|Q-P| < \delta$. Es necesario comparar los mínimos locales y los máximos locales e identificar el que proporcione el menor valor y el mayor valor de la función respectivamente; y si este valor es el menor o el mayor cuando la función tiende a menos infinito (si se asignan valores cada vez más pequeños) y cuando tiende a más infinito (si se asignan valores cada vez más grandes), o en los puntos terminales de la función, si sólo está definida en un intervalo finito; para determinar si se trata de un punto **mínimo global** o **máximo global**, respectivamente.

Si un PPNL no tiene restricciones, el hecho de que la función objetivo sea cóncava garantiza que un máximo local es un máximo global (de igual manera, una función objetivo convexa asegura que un mínimo local es un mínimo global). Pero si existen restricciones, se necesita una condición adicional para asegurar esta garantía: que la región factible sea un conjunto

convexo.

Para garantizar que un máximo local sea un máximo global para un PPNL con restricciones, la función objetivo debe ser cóncava y cada restricción debe ser convexa.. Este tipo de problema es conocido como un Problema de Programación Convexa.

$f(x)$ es convexa si y sólo si $\frac{d^2 f(x)}{dx^2} \geq 0$

$f(x)$ es estrictamente convexa si y sólo si $\frac{d^2 f(x)}{dx^2} > 0$

$f(x)$ es cóncava si y sólo si $\frac{d^2 f(x)}{dx^2} \leq 0$

$f(x)$ es estrictamente cóncava si y sólo si $\frac{d^2 f(x)}{dx^2} < 0$

Los puntos de una función donde su primera derivada es cero, son llamados *puntos estacionarios* de la función y gráficamente ocurren donde la línea tangente a la gráfica de la función es horizontal. En particular se determina si es un punto máximo, mínimo o de inflexión evaluando su segunda derivada en esos puntos; si ésta es mayor, menor o igual a cero, respectivamente. En el caso de un *punto de inflexión*, gráficamente es aquél en el que la función es convexa a un lado de ese punto y cóncava en el otro lado.

I.6.5 Programación Separable.

La *programación separable* es un caso especial de programación convexa que agrega la suposición 3 a un problema de programación convexa:

- 1) $f(x)$ es cóncava,
- 2) cada $g_i(x)$ es convexa; y
- 3) $f(x)$ y $g_i(x)$ son funciones separables.

I.6.5.1 Un planteamiento especial.

En particular, si $f(x)$ se expresa como la suma de funciones lineales por partes también es un caso de programación separable. En tal caso tenemos funciones que son de la forma $\sum_{j=1}^n f_j(x_j)$ donde cada $f_j(x_j)$ es una función lineal por partes y su resolución requerirá de un algoritmo especial.

Capítulo II.
Construcción del
modelo matemático de
minimización de costos:
Programación No Lineal
y la técnica del
algoritmo de
Ramificación y
Acotación

II.1 Ámbito o contexto del problema de minimización de costos en general.

Se desea comprar un número específico de toneladas de un producto (como las unidades de medición pueden manejarse en toneladas o en kilogramos, debe tenerse cuidado en ser consistente durante todo el desarrollo).

Se tienen ofertas de n proveedores. El proveedor i ($i=1, \dots, n$) da a conocer su oferta indicando los precios y descuento en función de la cantidad comprada de determinado producto. Usualmente los precios son inversamente proporcionales al tamaño del pedido, es decir, los precios decrecen conforme el tamaño del pedido se incrementa.

Debido a que los proveedores también dan a conocer su respectivo estatus de disponibilidad de venta del producto requerido, el tomador de decisiones que haga uso del modelo matemático que a continuación se presenta, no deberá incluir en el modelo al proveedor que no pueda satisfacer la demanda de la empresa.

Debe elegirse la cantidad de compra a cada proveedor de tal manera que se minimice el costo total de compra del producto requerido.

Además, se han organizado mensualmente los datos que la empresa ha recopilado durante los años 1999, 2000 y 2001 con el propósito de llevar a cabo un pronóstico de compra para cada uno de los productos durante determinados meses del año 2001; y así usar estos resultados en el modelo matemático. Lo cual significa que los datos deben ser previamente organizados de manera tal que su uso en el modelo aporte los mayores beneficios, como se indicó en el capítulo anterior; así como en la obtención de pronósticos adecuados, tema que se trata en el Capítulo 3, lo cual será de gran relevancia como datos de entrada del modelo: razón de mayor importancia de aplicación del modelo.

II.2 Planteamiento general del modelo.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
1	$(1-\%descR_{1,1})C_1$	$(V_0(R_{1,1}), V_F(R_{1,1}))$
	$(1-\%descR_{2,1})C_1$	$(V_0(R_{2,1}), V_F(R_{2,1}))$
	\vdots	\vdots
	$(1-\%descR_{m,1})C_1$	$(V_0(R_{m,1}), V_F(R_{m,1}))$
2	$(1-\%descR_{1,2})C_2$	$(V_0(R_{1,2}), V_F(R_{1,2}))$
	$(1-\%descR_{2,2})C_2$	$(V_0(R_{2,2}), V_F(R_{2,2}))$
	\vdots	\vdots
	$(1-\%descR_{m,2})C_2$	$(V_0(R_{m,2}), V_F(R_{m,2}))$
\vdots		
n	$(1-\%descR_{1,n})C_n$	$(V_0(R_{1,n}), V_F(R_{1,n}))$
	$(1-\%descR_{2,n})C_n$	$(V_0(R_{2,n}), V_F(R_{2,n}))$
	\vdots	\vdots
	$(1-\%descR_{m,n})C_n$	$(V_0(R_{m,n}), V_F(R_{m,n}))$

donde

$\%descR_{j,i}$ ($j=1,\dots,m$) ($i=1,\dots,n$) = porcentaje de descuento en el rango j del proveedor i .

C_i ($i=1,\dots,n$) = costo sin descuento del proveedor i .

$V_0(R_{j,i})$ ($j=1,\dots,m$; $i=1,\dots,n$) = valor inicial del rango j para el proveedor i .

$V_F(R_{j,i})$ ($j=1,\dots,m$; $i=1,\dots,n$) = valor final del rango j para el proveedor i .

Obtenemos C_i de cada producto según sus características mediante la siguiente operación: Precio \times 1,000,000/Num. de gramos, lo cual nos da el costo por tonelada.

II.3 Desarrollo del modelo matemático auxiliar del departamento de compras en la toma de decisiones respecto a la cantidad de producto requerido que debe comprarse a cada proveedor para satisfacer los requerimientos y minimizar el costo total de compra.

Sea $\varphi_i(x_i)$ ($i=1, \dots, n$) la función de costo del proveedor i , de manera que el costo total de compra está dado por $\varphi(x) = \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \dots + \varphi_n(x_n)$ y el planteamiento general del modelo matemático antes presentado se transforma a continuación en un modelo matemático que expresa a cada proveedor como una función de costo por partes:

$$\begin{array}{l}
 \varphi_1(x_1) = \left\{ \begin{array}{lll}
 0 & x_1 = 0 & 1 \\
 (1 - \%descR_{1,1})C_1 x_1 & V_0(R_{1,1}) < x_1 \leq V_F(R_{1,1}) & 2 \\
 (1 - \%descR_{2,1})C_1 x_1 & V_0(R_{2,1}) < x_1 \leq V_F(R_{2,1}) & 3 \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 1 - \%descR_{m1,1})C_1 x_1 & V_0(R_{m1,1}) < x_1 \leq V_F(R_{m1,1}) & m1+1
 \end{array} \right. \\
 \\
 \varphi_2(x_2) = \left\{ \begin{array}{lll}
 0 & x_2 = 0 & 1 \\
 1 - \%descR_{1,2})C_2 x_2 & V_0(R_{1,2}) < x_2 \leq V_F(R_{1,2}) & 2 \\
 1 - \%descR_{2,2})C_2 x_2 & V_0(R_{2,2}) < x_2 \leq V_F(R_{2,2}) & 3 \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 1 - \%descR_{m2,2})C_2 x_2 & V_0(R_{m2,2}) < x_2 \leq V_F(R_{m2,2}) & m2+1
 \end{array} \right. \\
 \\
 \varphi_n(x_n) = \left\{ \begin{array}{lll}
 0 & x_n = 0 & 1 \\
 1 - \%descR_{1,n})C_n x_n & V_0(R_{1,n}) < x_n \leq V_F(R_{1,n}) & 2 \\
 1 - \%descR_{2,n})C_n x_n & V_0(R_{2,n}) < x_n \leq V_F(R_{2,n}) & 3 \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 1 - \%descR_{mn,n})C_n x_n & V_0(R_{mn,n}) < x_n \leq V_F(R_{mn,n}) & mn+1
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN.

La anterior transformación del planteamiento implicaría la solución del modelo mediante el uso de Programación No Lineal (la función objetivo es no lineal y discontinua: hay un salto en la función de costo de una cantidad al rango de otra. Es una función de costo con segmentos lineales por partes); pero el estudio y desarrollo de esta estructura (como se indicó en el último tema del capítulo anterior) ha llevado a la solución de este modelo mediante una expansión del problema de Programación No Lineal en subproblemas de Programación Lineal (PL) con restricciones de cada variable de acuerdo a la combinación de intervalos involucrados.

Se identificará cada subproblema de PL mediante un vector diferente de n componentes (una componente para cada proveedor) el cual corresponde a cada una de las distintas combinaciones posibles de los niveles de compra de los proveedores. Estos se expresan en la última columna del modelo general y la forma general del vector se presenta a continuación:

$$s_k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$$

donde

$k=1, \dots, m_1 \times m_2 \times \dots \times m_n$ (k es el número de subproblemas posibles a partir del problema original)

y cada elemento del vector representa el nivel de compra permisible que el proveedor estipula o que el tomador de decisiones plantea.

Un cero en cualquier elemento del vector s_k indica que no hay restricción en el nivel de compra con el proveedor en cuestión; es decir; la restricción del rango de la variable para ese proveedor estará comprendida desde cero al valor final del rango de su último nivel. En el caso de las componentes del vector que sean diferentes de cero, la restricción correspondiente en el subproblema de PL para el vector s_k estará dada por el rango de la variable del proveedor que corresponde al número de nivel indicado en la componente.

II.4 Planteamiento general mediante programación lineal.

El anterior desarrollo implica el siguiente planteamiento general de los subproblemas de Programación Lineal para el modelo en estudio:

Elegir x_1, x_2, \dots, x_n de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \dots + \varphi_n(x_n)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = \text{cantidad de producto que desea comprarse.}$$

$$V_0(R_{11}) \leq x_1 \leq V_F(R_{m1})$$

$$V_0(R_{12}) \leq x_2 \leq V_F(R_{m2})$$

$$\vdots$$

$$V_0(R_{1n}) \leq x_n \leq V_F(R_{mn})$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(Restricciones adicionales producidas por políticas de la empresa o alguna situación en particular, podrán agregarse al planteamiento mediante un estudio cuidadoso de su traducción matemática)

Debido a que el número de subproblemas de PL que se derivarían del problema original es muy grande para permitir su solución, en años recientes se ha estimulado el desarrollo de una técnica para reducir el número de subproblemas necesarios para resolver el problema original encontrando sino la solución óptima, si una buena aproximación a la misma. A dicha estrategia se le conoce como *técnica de ramificación y acotación*.

II.5 Programación heurística.

La aplicación de la técnica de ramificación y acotación, la clasifica dentro de la **programación heurística** ya que ésta se presenta cuando un modelo “correctamente formulado” es demasiado complejo, demasiado grande o no lineal en extremo lo cual reduce la posibilidad de derivar una solución; de aquí que la creencia de que el simplificarlo adecuadamente puede hacerlo más manejable y produciría eficientemente buenas soluciones aproximadas para el problema original no resulta una buena opción en muchos casos, debido a que tal simplificación siempre implica la posibilidad de que se destruya en cierto grado, que pudiera resultar en extremo considerable, la estructura realista importante del modelo con la realidad; dejándolo lejos de ésta y nada útil como auxiliar para la toma de decisiones. En este caso, aunque tal vez exista una solución rigurosa para el modelo, ya que resulta en extremo difícil y tardado descubrirla e incluso el cómo hacerlo puede resultar un dilema; la programación heurística proporciona una estrategia que ayuda al descubrimiento de una o más soluciones satisfactorias a un problema específico enfatizando que éstas son satisfactorias, sin garantizar la optimalidad. En tal caso, deberá medirse con precisión la bondad de la aproximación.

La programación heurística hace que sus algoritmos sean fáciles de implantar y aunque no siempre produce la solución óptima, en la práctica, para problemas extensos, frecuentemente produce buenos resultados. La palabra heurística proviene del término griego *heuriskein* que significa descubrir; por lo que en estos términos, la **solución heurística** de problemas implica idear un conjunto de reglas que ayuden en el descubrimiento de una o más soluciones satisfactorias a un problema específico.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la **satisfacción** es el término o concepto en programación matemática empleado para comunicar la idea de que en muchas ocasiones, ante la naturaleza del problema abordado, los tomadores de decisiones no buscan soluciones óptimas, sino más bien, soluciones “suficientemente buenas” o “bastante próximas”. Esto quiere

decir que la *aceptabilidad* en lugar de la *optimización* es un modo adecuado de pensar ya que en problemas combinatorios extensos, por ejemplo, las “buenas soluciones” resultan valiosas y satisfactorias. En términos generales, desde el punto de vista del tomador de decisiones, puede resultar más aceptable un procedimiento heurístico de solución de un modelo y tal vez preferible (por razones económicas y de tiempo) que un algoritmo “más exacto” que produzca una solución óptima. El nivel de comprensión en el camino de solución que proporcione el modelo y el beneficio neto global medido por la diferencia entre ahorro de costo y tiempo, son las consideraciones dominantes decisorias de un procedimiento de solución en particular.

En el contexto de la programación heurística, un *algoritmo heurístico* propiamente dicho, se aplica a grandes problemas de optimización combinatoria.

Optimización combinatoria es la categoría en la que se ubican aquellos problemas cuyas alternativas factibles de solución conforman un sólo número finito y además se enumeran todas ellas con el fin de encontrar la óptima, lo que se conoce como *enumeración exhaustiva* o *explícita*. En los problemas de optimización combinatoria el problema consiste en que el número finito de alternativas asciende en gran proporción y con frecuencia, por lo que aún para las computadoras de alta velocidad, la enumeración completa de las alternativas no es práctica y más aún la evaluación de cada una de ellas. Esto hace que en algunos problemas el objetivo sea alcanzar niveles aceptables en ciertas metas aplicando reglas o algoritmos heurísticos aunque no garanticen una solución óptima; pero en general, conducen con suficiente rapidez a una solución satisfactoria.

Al implantar un modelo heurístico, el equipo de Investigación de Operaciones y el administrador o tomador de decisiones deberán evaluar no sólo el modelo, sino también el algoritmo.

II.6 La Técnica de Ramificación y Acotación.

Como se indicó anteriormente, el procedimiento de enumeración para encontrar una solución óptima cuando este número finito es muy grande, que con frecuencia lo es, requiere imperativamente que un procedimiento de solución se estructure con habilidad y eficiencia con el fin de que sólo sea necesario examinar una pequeña fracción de estas soluciones factibles, lo que se conoce como *enumeración parcial* o *implícita*, la cual considera sólo una porción de todos los posibles puntos de solución a la vez que descarta automáticamente los puntos restantes como no promisorios. Este enfoque es el principio general de la *técnica de ramificación y acotación* que se ha aplicado con éxito a diversos problemas de Investigación de Operaciones, aunque es más conocida por sus aplicaciones en los problemas de Programación Entera. En sí el principio general de la técnica de ramificación y acotación permanece constante de un algoritmo a otro, por lo que la variante en cada aplicación es el procedimiento mismo de solución.

La técnica de ramificación y acotación es en sí una estrategia de solución que resulta una de las mejores herramientas prácticas para la solución de problemas de optimización reales. Se trata de una estrategia, no de un algoritmo, por lo que deberá adaptarse a la estructura del problema en estudio para generar un algoritmo implementable de solución. Su principal atractivo está en su habilidad para eliminar grandes grupos de soluciones potenciales de un problema sin la evaluación de las mismas, lo que la ubica, como ya se indicó, dentro de la programación heurística. Además, se apoya en la idea básica "*divide y vencerás*" ya que como es en extremo complicado resolver directamente el problema original de optimización combinatoria, la técnica de ramificación y acotación divide (ramifica) el problema original en subproblemas más pequeños mediante una partición del conjunto completo de alternativas en subconjuntos más pequeños. La conquista (*sondeo*) se hace en parte acotando la mejor solución en el subconjunto y luego descartando los subconjuntos cuya cota indique que no

es posible que contenga una solución óptima para el problema original. Las pruebas de sondeo son diseñadas para excluir soluciones no promisorias y son básicamente heurísticas.

El conjunto de problemas no sondeados se le identifica como *reserva* o *lista de candidatos* y cada vez que se elige de la reserva un problema para sondearlo, se empieza otra aplicación del algoritmo de ramificación y acotación. Al problema elegido se le identifica como *problema candidato*.

Lo que se intenta al usar la técnica de ramificación y acotación es desarrollar un árbol hasta que cada hoja esté terminada. En cada aplicación deberá suministrarse una regla que determine cual de las hojas activas deber ser seleccionada para seguir desarrollando el árbol, así como también el método para obtener nuevos problemas acotantes.

Un *árbol* es un grafo conexo sin ciclos en el cual existe un único nodo desde el que se puede acceder a todos los demás; cada nodo tienen un único predecesor, excepto el primer nodo (llamado *raíz*), que no tiene ninguno. Presenta $n-1$ aristas (en un árbol todo par de vértices está unido por una cadena y sólo una denominada *arista*) donde n es el número de vértices o nodos del árbol, por lo que si se agregara una arista entre dos vértices no adyacentes: se crearía un ciclo y sólo uno; y si se suprime una arista cualquiera, el árbol deja de ser conexo. En este contexto de teoría de gráficas, se denomina *hoja* a cada uno de los nodos finales del árbol. La representación de problemas de optimización combinatoria por medio de árboles facilita la visión de los mismos ya que además también conforma una estructura de tipo jerárquico.

En sí puede decirse que un *algoritmo de Ramificación y Acotación* es un conjunto de reglas para ramificar desde un nodo a otros nuevos, determinar cotas para los nuevos nodos (cotas inferiores si se trata de un modelo de minimización y cotas superiores si es de maximización), seleccionar un nuevo nodo a partir del cual seguir ramificando [en un modelo de minimización (maximización): los subconjuntos cuyas cotas inferiores (superiores) exceden (son inferiores) a la cota superior (inferior) fijada por el valor de la función objetivo calculada hasta el momento,

quedan excluidas para futuras consideraciones cancelando sus hojas correspondientes y las hojas restantes serán las hojas activas], reconocer cuando un nodo es o no activo y poder saber cuando un nodo contiene la solución óptima.

La característica de ramificación garantiza que la solución óptima será obtenida, y la de acotación proporciona la posibilidad de reconocer una solución óptima antes de enumerar todas las alternativas. Más que para encontrar una solución óptima, la técnica de ramificación y acotación se puede usar para encontrar una solución cercana a la óptima, en general, con mucho menos esfuerzo computacional.

Como ya se indicó, la *solución heurística* de problemas implica idear un conjunto de reglas que ayuden en el descubrimiento de una o más soluciones satisfactorias a un problema específico; así una *solución incumbente* o *de apoyo* es aquella solución factible que se ha encontrado hasta el momento.

La *prueba de optimalidad* expresa que el proceso termina cuando no existen subproblemas restantes y la solución incumbente o de apoyo actual es óptima, de lo contrario deberá realizarse otra iteración. Si no existe una solución incumbente, el problema no tiene soluciones factibles. Cuando la prueba de optimalidad encuentra que no hay subconjuntos restantes (sin sondear), todas las restricciones de apoyo actuales serán soluciones óptimas.

Cuando se requiere resolver varios problemas de Programación Lineal, puede recurrirse a la *reoptimización* que implica revisar la tabla simplex final del anterior problema de Programación Lineal y resolver las diferencias del modelo con el siguiente que se va a resolver mediante el análisis de sensibilidad siempre que ambos problemas sean parecidos. De esta manera la reoptimización tiende a ser una estrategia mucho más rápida que comenzar cada problema desde el principio. Sin embargo, debe tenerse en claro que los modelos tenderán a parecerse si se usa la regla de ramificación; pero no cuando éstos van de un lado a otro en el árbol de solución. En este caso los nodos representan los subproblemas posibles, los

cuales pueden numerarse de acuerdo al orden de examinación y los valores de la función objetivo y variables de decisión usualmente se colocan a un lado del nodo correspondiente al subproblema, en cada nivel del árbol se determina una cota y la mejor solución para cada nodo en ese nivel. De aquí que pueden estructurarse diferentes árboles de solución dependiendo del orden en el cual las variables son seleccionadas. De hecho, una de las principales dificultades de los algoritmos de ramificación y acotación es determinar este orden. La elección de las variables de ramificación es crucial para simplificar o complicar el árbol de búsqueda de soluciones, y desde luego, el éxito de la técnica dependerá del número de soluciones examinadas antes de establecer una solución óptima.

El marco general de aplicación de la técnica de ramificación y acotación proporciona una gran flexibilidad en cuanto al diseño de un algoritmo específico para cualquier tipo de problema dado.

Las *operaciones básicas de cualquier algoritmo de ramificación y acotación*, en general, son:

1) *Ramificación*, que consiste en seleccionar un subproblema restante y dividirlo en subproblemas más pequeños. La flexibilidad del algoritmo dependerá de las reglas para seleccionar y dividir. Se trata de una partición del espacio de soluciones en subespacios (subproblemas) cuyo propósito es eliminar partes del espacio que no son factibles para el problema. Esto se logra imponiendo restricciones que son condiciones necesarias para generar soluciones. La colección de subproblemas resultante define puntos factibles del problema original. Es debido a la naturaleza misma de la partición y a la posible estructuración por medio de árboles de soluciones, que la técnica recibe el primer calificativo "ramificación". La división por lo general (no siempre) se hace seleccionando valores individuales para una variable de ramificación en particular, como es el caso de la Programación Entera Binaria. Algunos algoritmos más elaborados usan una regla para elegir estratégicamente una variable de ramificación que tienda a sondeos más rápidos.

2) **Acotamiento**, la elección de los subproblemas con las mejores cotas es la otra regla popular ya que tiende a llegar más rápido a mejores soluciones de apoyo y a sondeos con ahorro de cálculos y tiempo. Estas cotas son esenciales para categorizar las soluciones óptimas de los subconjuntos y a partir de aquí para localizar la solución óptima.

Los criterios de sondeo identifican si las soluciones factibles del problema cumplen con las cotas establecidas, o si el subproblema no tiene soluciones factibles, o si se encontró una solución óptima del subproblema. En el caso de empates deberán identificarse todas estas soluciones óptimas con el fin de que la elección final entre ellas pueda hacerse sobre factores intangibles que no se incorporaron al modelo matemático. La prueba de sondeo de desigualdades en las cotas deberá cambiarse por una desigualdad estricta para que el sondeo no ocurra si el subproblema tiene una solución factible igual a la de apoyo.

Si las operaciones de ramificación y acotación se implementan adecuada e inteligentemente, entonces muchos subproblemas que contienen uno o más puntos factibles podrán descartarse automáticamente, lo cual es equivalente a la enumeración implícita o parcial del principio general de la técnica de ramificación y acotación. Por lo general, se pretende obtener una cota razonablemente cercana al valor actual de la mejor solución. Normalmente no somos tan afortunados al encontrar la solución óptima en la primera enumeración de ramificación, por lo que si al final de la primera rama no se ha encontrado una solución factible mejor o igual a la mejor actual, debe regresarse en el árbol hasta encontrar un nodo con una mejor cota. La búsqueda se continua a través del camino más promisorio.

Todos los algoritmos de búsqueda incluyen procesos de retroceso que permiten la búsqueda un paso atrás y continuar en un nivel más alto del árbol cuando la búsqueda en un subárbol aun no ha sido completada. Esta característica es ventajosa ya que permite elegir la rama más promisoria, lo que usualmente mejora el índice de convergencia. Sin embargo; el programa de cómputo es usualmente más complejo que los programas tradicionales. Y para algunos problemas puede resultar sumamente difícil o

imposible formular pasos de ramificación de retroceso que garanticen que la mejor solución pueda ser encontrada en un número finito de pasos. Lo que significa que a pesar de la importancia de la técnica de ramificación y acotación en truncar u omitir cálculos, no existe un método sistemático que diseñe una cota lo suficientemente cercana al valor óptimo en un estado temprano del procedimiento: será necesario resolver un Problema Lineal para cada rama con el fin de determinar una cota apropiada. Debido a esto pareciera ser un método no confiable; pero en realidad la programación heurística aporta beneficios en cuanto al ahorro de tiempo y esfuerzo computacional si: se encuentra una buena solución inicial rápidamente, lo cual puede lograrse con el máximo conocimiento posible del problema y por lo tanto de lo que pudiera esperarse como solución; y si se decide adecuada y oportunamente cuando la mejor solución disponible o actual es lo suficientemente buena estableciendo así una ley de búsqueda de una mejor solución.

Pueden usarse dos *reglas de decisión básicas en cualquier algoritmo de ramificación y acotación*:

1) Ramificar a partir de la cota inferior (superior) de todas las calculadas. En este caso, la ramificación se hace a partir del subconjunto de soluciones posibles que tenga la cota inferior (superior) de la solución óptima en todo el árbol. En general esta decisión tienen la ventaja de examinar pocos subproblemas en comparación con la siguiente regla de decisión; pero requiere almacenar una mayor cantidad de cálculos intermedios que se necesitarán para comparar las ramificaciones.

2) Ramificar a partir de la cota activa actual, lo que comúnmente se conoce como LIFO (last in first out: último en entrar, primero en salir). En este caso, el elegir el subconjunto más reciente requiere más operaciones de ramificación que la regla anterior pero menos almacenamiento de cálculos.

En general, los *pasos de cualquier algoritmo de ramificación y acotación* son los siguientes:

Paso 1. Inicializar.

Que consiste en definir una solución inicial.

Paso 2. Acotar.

Calcular la contribución a la solución presente al incluir, por ejemplo, una unidad adicional de cada variable excluida, mientras se alteran los valores presentes de las variables establecidas, lo que puede ser equivalente a realizar un análisis de sensibilidad. Si no hay contribución ir al paso 5.

Paso 3. Retroceso.

Identificar las variables fijas cuyo cambio traería un mejor beneficio, estas variables dejarían de ser fijas y otras libres lo serían; o se cambiaría su valor.

Paso 4. Ramificar.

Modificar la solución presente incluyendo en el modelo variables o cantidades no consideradas; se establecen los niveles para cada subproblema tales que la factibilidad se conserve. Ir a paso 2.

Paso 5. Detener.

La solución actual es la óptima.

Debe tenerse cuidado de que el algoritmo no caiga en un ciclo infinito (loop) ya que tal no aparece cuando los problemas son formulados correctamente.

Una variable fija también es comúnmente conocida como *variable básica*, ya que pertenece al conjunto de variables de solución y por tanto contribuye en la función objetivo; de esta manera, una variable libre o *variable no básica* es aquella cuyo valor no implica contribución alguna en la solución. Se presenta una *solución degenerada* cuando el valor de alguna variable básica es cero.

El empleo de la técnica de ramificación y acotación para el problema de minimización de costos se presenta en el Capítulo 4, en donde se recomienda el uso de algún paquete computacional de solución de problemas de Investigación de Operaciones, como QSB y TORA. También se recomienda incluir en diskettes modelos tentativos de solución que el

tomador de decisiones únicamente tendría que modificar para adaptarlos a modelos que posteriormente plantee.



**Capítulo III.
Realización de
pronósticos como
entrada del
modelo matemático**

III.1 Estudio de un proceso de pronóstico.

Con frecuencia en la vida cotidiana tomamos decisiones personales basadas en lógica, sentido común, intuición y emociones; donde la proporción de estos factores en las mismas varía de persona a persona. Algunas veces es necesario tomar decisiones espontáneas lo cual excluye la posibilidad de formular decisiones basadas en la lógica; sin embargo, los resultados de estas decisiones raramente son desastrosos por lo que podemos tolerar falta de precisión en las estrategias; pero en situaciones reales donde de alguna manera se penalizaría la obtención de malos resultados debido a la falta de precisión de la estrategia elegida: deberán emplearse otras herramientas para la toma de decisiones de manera que, obviamente, se requerirán estudios extensos y específicos de la situación que lleven a la obtención de buenos resultados mediante el uso de métodos matemáticos sofisticados para la optimización de problemas de tal magnitud mediante un análisis de pronósticos especializado.

Otro factor importante es la incertidumbre en el medio, ya que cuando ésta es escasa: la necesidad de pronosticar decrece debido a que las situaciones futuras se tornan grandemente esperadas. Pero en la actualidad, ante un futuro incierto y cambiante en todos los ámbitos de la ciencia y en el de los negocios en particular; resulta necesario pronosticar debido a la inevitable incertidumbre en que suelen operar las empresas y que a pesar de ello, se deben tomar decisiones que afectan el futuro de la organización. La habilidad de pronosticar se convierte en un elemento crítico en el proceso de toma de decisiones. Lo anterior implica el planear como enfrentar las condiciones futuras de las cuales se tiene un conocimiento imperfecto.

El *estudio de un proceso de pronóstico* implica un análisis de datos históricos con el objetivo de descubrir sus patrones de comportamiento fundamentales que auxilien, mediante el uso de adecuados métodos de pronóstico aplicados a estos patrones, a realizar una proyección de estos datos en horizontes futuros.

Es esencial que el analista adquiriera un conocimiento profundo del proceso, esto mediante la obtención de información crucial, y una visión clara y concreta de lo que se requiere y las condiciones del medio, e incluso de las políticas particulares de la empresa; ya que deberá enlazar los resultados del proceso de pronóstico dentro de los procedimientos de toma de decisiones existentes en la empresa con el fin de proporcionar una respuesta ante la incertidumbre latente en los negocios.

El *análisis de pronósticos* no proporciona la respuesta de lo que depara el futuro, incluso en muchas ocasiones suele proporcionar-se como un intervalo de confianza, deberá tenerse en claro que resulta ilusorio creer que se completarán todas las expectativas: sin embargo, resulta valioso en el proceso de toma de decisiones ya que ayuda a reducir errores que sin su uso pudieran resultar catastróficos. Problemas que comúnmente pueden citarse como *inconvenientes de los pronósticos* en cuanto a su eficacia los constituyen: la aparición de situaciones totalmente inesperadas; eventos que se pronostican pero que nunca se materializan; grandes errores de pronósticos y errores en el tiempo e intensidad de situaciones pronosticadas. Por lo que el analista a fin de prever al máximo estos problemas, deberá adoptar siempre una actitud realista ya que cuando se usan apropiadamente los mecanismos de pronósticos, en realidad pueden contribuir en sustanciales beneficios.

El *futuro de los pronósticos* recae en el énfasis de la necesidad de desarrollar métodos cada vez más eficaces para enfrentar la incertidumbre de eventos futuros, y en la importancia creciente de combinar el buen juicio y los métodos sofisticados de manipulación de datos en buenos pronósticos empresariales: habilidad de los líderes empresariales para reaccionar rápida y redituablemente a los eventos cambiantes.

III.2 Técnicas de pronóstico.

Debido a que decisiones importantes requieren buenos fundamentos para la toma de decisiones; los hombres de negocio requieren de pronósticos del

futuro y éstos difieren en cuanto a su importancia, al marco de referencia y al nivel administrativo en que se desarrollen.

Las técnicas de pronóstico se clasifican en dos grandes categorías:

III.2.1. Técnicas de pronóstico cualitativas.

Las técnicas de pronóstico cualitativas no requieren de manipulación de datos ya que se hace uso del "juicio" del pronosticador para tomar decisiones. Se requiere de buen "juicio" para decidir sobre los datos que son relevantes en el problema y para interpretar los resultados del proceso de análisis de datos. En algunas ocasiones el analista complementa el proceso de análisis de datos después de considerar las circunstancias no usuales de la situación o después de reconocer que el pasado histórico no es un predictor preciso del futuro. La tendencia a utilizar el "juicio" aplicado al proceso se incrementa en la medida en que se reduce la cantidad de datos históricos disponibles para el pronóstico o se juzga que son irrelevantes en algún sentido. Por lo que en el caso extremo de que los datos históricos no sean relevantes en el proceso de pronóstico, deberán emplearse pronósticos basados únicamente en las opiniones de las personas involucradas y con mayor experiencia en los procesos de la empresa.

Debido a que estas técnicas usan cualidades como el juicio, la intuición, las opiniones o la experiencia de los ejecutivos o empresarios para mejorar la precisión de pronósticos cuando no existen o se tienen pocos datos históricos, también se les identifica como *técnicas subjetivas de pronósticos* y comúnmente reciben el nombre de *pronósticos de "juicio"* ya que éste es el principal o el único componente en el proceso. Su aplicación se fundamenta en el hecho de que estas personas desde luego confían en el conocimiento y experiencia que tienen de su negocio, del mercado y del cliente para prever o estimar situaciones futuras.

También se les conoce como *pronósticos tecnológicos* cuando se trata de pronosticar los cambios en tecnología; y como *pronósticos sociales* cuando los cambios influyen en el área social, política, en el medio ambiente o legal.

Ejemplos de técnicas de pronóstico cualitativas son las siguientes: Método Delphi, grupos de enfoque o de expertos, curvas de crecimiento, escritura o formulación de escenarios e investigación de mercado; las cuales se explican a continuación.

Método Delphi: este método surge a partir de la consideración de que en ocasiones la dinámica de grupo tiende a distorsionar el proceso de toma de decisiones y a generar un consenso que pudiera no haber sido pensado cuidadosamente por todos los participantes. Consiste básicamente en la aplicación por etapas de cuestionarios a los expertos de la organización, la calidad en el diseño de los cuestionarios es muy importante para obtener la mejor precisión del método. Después de cada etapa, que por lo regular pueden ser dos o tres, se elabora un resumen de los comentarios individuales y se les envía a todos los participantes con el fin de llevar a cabo una retroalimentación del conocimiento y opiniones de los demás y así evaluar su propio enfoque para modificarlo o defender su postura. Cuando se determina que se ha llegado a un desarrollo satisfactorio de los puntos de vista; es decir, a una mayor convergencia de opiniones debida a la retroalimentación: es opcional convocar a los participantes a una reunión para compartir y debatir puntos de vista. Con los resultados de los cuestionarios, los tomadores de decisiones obtienen una mejor visión hacia el futuro y un punto de partida para la planeación. Es importante señalar la diferencia entre planear y pronosticar: el término *pronosticar* es usado para predecir (describir) lo que sucederá dado un conjunto de circunstancias (suposiciones); un pronóstico busca describir lo que pasará. Por su parte, *planear* involucra el uso de tales pronósticos como auxiliares en el proceso de toma de decisiones de las mejores alternativas para la organización; planear está basado en la exposición clara de ciertas acciones que encaminan en la dirección adecuada con el fin de afectar o prever subsecuentes eventos en una situación dada y obtener resultados de interés. Generalmente, los pronósticos están implícitos en el *proceso de planeación*, ya que cuando la acción toma lugar, el pronóstico requiere ser ajustado para reflejar el impacto de tal acción. Si el pronóstico no se ajusta puede

resultar posteriormente engañoso si es usado como una base para otras decisiones.

Grupo de expertos: este método reúne a personas expertas o conocedoras del negocio o proceso a fin de que interactúen y produzcan un pronóstico por consenso.

Curvas de crecimiento: en general el *ciclo de vida de un proceso* comprende tres etapas: 1. Introducción, 2. Crecimiento y 3. Madurez y saturación (un modelo lineal no funciona para explicar este comportamiento); la representación mediante curvas de crecimiento del comportamiento de algún fenómeno puede ajustarse mediante una tendencia exponencial si la diferencia porcentual entre una observación y otra es constante; sin embargo, el modelo exponencial puede conducir a pronósticos imprecisos ya que no contempla lo que ocurriría cuando se llegue a la etapa de maduración y saturación del mercado o cuando la tasa de crecimiento disminuya, lo que implica la corrección de la varianza en la fórmula. Por otra parte, la *curva de crecimiento de Gompertz* representa la tendencia de crecimiento a una tasa de declinación cuando maduran.

Escritura o formulación de escenarios: consiste en hacer una especulación de la posición que tendrá la empresa ante la formulación de un futuro estimado, y así realizar planes. Deberán especularse varios escenarios: el más probable y uno o dos menos probables pero posibles. Con esto se pretende que la empresa adquiera una visión de su posición en el mercado a largo plazo mediante la evaluación de su estado actual en el mercado y la consideración de posibles cambios tecnológicos, sociales o económicos que pudieran afectar la estabilidad de la misma. La formulación de escenarios deberá someterse a la crítica, evaluación y comentarios de grupos distintos con el objetivo de llevar a cabo un consenso y desarrollar escenarios alternativos si es necesario.

Investigación de mercado: Se trata de un procedimiento sistemático, formal y profundo para obtener información con el fin de probar hipótesis sobre los mercados reales.

III.2.2. Técnicas de pronóstico cuantitativas.

Las técnicas de pronóstico cuantitativas se refieren al uso de mecanismos de fundamentos teórico-matemáticos mediante los cuales se manipulan los datos disponibles con el fin de obtener pronósticos confiables en horizontes distintos. Se usan cuando se tienen suficientes datos históricos disponibles y se juzga que son representativos de un entorno y que la manipulación de los mismos dará como resultado un pronóstico confiable.

Se clasifican en:

a) *Técnicas estadísticas*, las cuales se enfocan en patrones y cambios causados por influencias aleatorias, las series de tiempo se encuentran en esta categoría. Es muy importante distinguir si se requiere de métodos de pronósticos que usan los enfoques tradicionales de análisis de series de tiempo o de métodos menos estructurados que se enfocan en las propiedades estadísticas de las mediciones históricas.

b) *Técnicas determinísticas* o *causales*, que buscan identificar las relaciones entre las variables por pronosticar y otras variables de influencia asumiendo que el valor de una variable es función de tales variables. También esta categoría puede identificarse como *análisis de regresión* y por lo general requiere de más datos que las series de tiempo. En la aplicación de métodos causales en negocios no puede haber una relación causa-efecto directa como en un experimento de laboratorio, pero si es típico que exista una relación lógica entre las variables usadas para generar el pronóstico y el pronóstico mismo. Una serie de tiempo también puede considerarse de este tipo ya que los valores que toma pueden asumirse como función de períodos de tiempo anteriores.

Cuando los datos puedan ser sistemáticamente recopilados, los métodos cuantitativos proporcionarán pronósticos más precisos; en sí el juicio y los métodos cuantitativos se basan en el mismo principio: la identificación de comportamientos o relaciones existentes en los datos. La diferencia radica en la forma de procesar las predicciones.

Adoptando un enfoque práctico, adecuado y efectivo ante situaciones reales de toma de decisiones, quien tenga la tarea de pronosticar deberá ser capaz de formular una hábil mezcla de buen juicio y técnicas de pronóstico cuantitativas, evitando el caso extremo de la total dependencia de alguno de ellos. El análisis, los juicios, el sentido común y las experiencias empresariales deberán aplicarse en el punto donde técnicas de pronóstico hayan generado resultados. De aquí que es posible mejorar la precisión de los pronósticos mediante la adecuada combinación de métodos.

III.3 Series de tiempo.

Una *serie de tiempo estadística* es una secuencia ordenada de observaciones sobre una variable en particular; es decir, la representación de valores numéricos, por lo general registrados a intervalos igualmente espaciados, que toma una variable aleatoria a lo largo de un período. Una *variable aleatoria* es una expresión que puede tomar diferentes valores entre una prueba y otra de un experimento (un *experimento* es el proceso mediante el cual se obtiene una observación de alguna situación ya sea controlable, como en un laboratorio, o incontrolable, como precio de acciones en la Bolsa de Valores); una variable aleatoria es el resultado de un evento aleatorio. Una variable aleatoria puede ser discreta o continua, se trata de una *variable aleatoria discreta* cuando únicamente considera ciertos valores específicos (ocurrencia del evento aleatorio), y de una *variable aleatoria continua* cuando considera cualquiera y cada uno de los valores dentro de cierto rango o intervalo.

En una serie de tiempo la variable independiente es el tiempo por lo que la variable bajo estudio o variable dependiente toma diferentes valores a través del tiempo. Mediante un *análisis de series de tiempo* se supone implícitamente que lo que ocurrió en el pasado proporciona información de lo que sucederá en el futuro (puede llevarse a cabo una *proyección de los datos pasados hacia el futuro*) por lo que es de fundamental importancia que los pronosticadores comprendan el pasado y empleen los datos históricos

y el buen juicio para elaborar planes inteligentes que cubran la demanda del futuro. Los pronósticos generados a partir de las series de tiempo auxiliarán a la administración con estrategias alternativas a fin de obtener beneficios.

El análisis de una serie de tiempo tiene cuatro objetivos fundamentales:

1. **Descripción**, cuando solo se desea o se requiere explicar el comportamiento de un proceso mediante una visualización clara del mismo.
2. **Explicación**, cuando se desea analizar relaciones de tipo causa-efecto entre factores de un fenómeno.
3. **Pronóstico**, cuando se desea estimar valores futuros con el fin de tomar decisiones o prever comportamientos.
4. **Control**, cuando además de observar, se requiere también modificar el comportamiento de un proceso para obtener ciertos resultados en particular.

Además, una serie de tiempo tendrá siempre uno o más de los siguientes componentes:

1. **Tendencia**, que se define como un cambio sistemático en el patrón de comportamiento del fenómeno. Representa el crecimiento o disminución en la serie durante un período amplio. La tendencia puede ser lineal creciente, lineal decreciente, parabólica creciente, parabólica decreciente, etc. Por lo que la gráfica de una serie de tiempo que resulte lineal constante no presentará tendencia.
2. **Variación estacional**.- Cambio sistemático en el patrón de los datos que se repite con una periodicidad de un año o menos.
3. **Ciclo**.- Comportamiento repetitivo que ocurre en períodos mayores a un año. Detectar este tipo de comportamiento es más difícil y requiere de muchos datos. Una serie de tiempo no necesariamente presentará variación estacional o ciclo.
4. **Error aleatorio o ruido blanco**.- Representación de todo aquello imposible de predecir ya sea por falta de información o por cambios inesperados o factores no previstos ni ocurrientes en el fenómeno. Este es el único

componente que si tienen todas las series de tiempo.

Al pronosticar, en general, se analizan las series de datos históricos para estimar uno o más valores futuros de la serie de tiempo. El pronóstico depende de un modelo de comportamiento de esa serie de tiempo, es decir, si los datos pasados indican lo que se puede esperar en el futuro, es posible proponer un modelo matemático que sea representativo del proceso. En la realidad no se cuenta con un conocimiento completo de la forma exacta del modelo que genera la serie de tiempo, por lo que se tiene que elegir un modelo aproximado; por lo que la generación de un pronóstico preciso y útil a partir de una serie de tiempo, implica dos consideraciones básicas:

1ª. Reunir datos que sean aplicables para la tarea de pronóstico y que contengan información que pueda producir pronósticos precisos. La homogeneidad de los mismos, por grupos si es que se tienen más de un tipo de datos a pronosticar, será crucial en el estudio.

2ª. Seleccionar una técnica de pronóstico que utilice al máximo la información contenida en los datos y los patrones (componentes) que estos presenten.

Los *pasos en la formulación de pronósticos* son:

1. Recopilación de datos.
2. Reducción de datos; a partir del cual empieza la importante tarea de explorar los patrones de datos. Elegir los datos pertinentes.
3. Elección del mejor método de pronósticos.

Y la *notación básica de Pronóstico*:

Y_t = valor de una serie de tiempo en el período t .

\hat{Y}_t = valor del pronóstico para Y_t .

e_t = error del pronóstico en el período t .

Donde e_t es también llamado residual y es la diferencia entre el valor real en el período t y su valor de pronóstico en el mismo período; esto es:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t.$$

III.4 Selección del método adecuado de pronósticos.

La observación de los datos, el número disponible de los mismos, la comprensión de lo que sugieren (identificación de patrones), el uso de varios métodos gráficos para obtener una mejor visión del proceso que los genera; así como el estudio mismo de las características de varios métodos de pronósticos (ya que éstos varían en su habilidad para predecir diferentes tipos de patrones): proporciona la elección del método adecuado, útil, y de buen ajuste a la situación.

Deberá adoptarse un enfoque sistemático para analizar las series. Una predicción se hace mediante la proyección de cada componente individual.

Conocer las ventajas y limitaciones de los métodos de pronósticos es muy importante; debido a que, desde luego, cada situación es diferente y cada técnica tiene diferentes ventajas y limitaciones, es extremadamente útil identificar las características generales de las situaciones de pronóstico y contrastarlas con las características generales permisibles para cada método a fin de elegir el método adecuado a la situación bajo estudio.

Por otra parte, el *análisis de autocorrelación* es una técnica útil para identificar componentes y patrones de datos. La *autocorrelación* es la medida de la correlación existente entre una variable y la misma variable desfasada uno o más periodos; es decir, es la correlación entre la serie de tiempo original y la misma serie de tiempo desfasada k número de periodos, por lo general, este número k se le conoce como *espacio* u *orden*. Los *coeficientes de autocorrelación* para diferentes desfases de tiempo de una variable se emplean para identificar patrones (si son aleatorios, si presentan tendencia, estacionalidad o si son estacionarios) en las series de tiempo de datos, la autocorrelación de orden k de una serie de tiempo mide la correlación en cada $k+1$ observación. A la autocorrelación también se le conoce como *correlación serial* cuando las observaciones a través del tiempo se encuentran relacionadas entre sí y los residuales también están

correlacionados; es decir, no son independientes entre una observación y la siguiente.

Una serie de datos es *estacionaria* si no presenta tendencia ni estacionalidad; es decir, si sus propiedades estadísticas media y varianza permanecen constantes a través del tiempo. Puede aplicarse el método de *diferenciación* para eliminar la tendencia en una serie de tiempo no estacionaria: se resta Y_t de Y_{t-1} , Y_{t-1} de Y_{t-2} y así sucesivamente con el fin de crear una nueva serie en la cual la media y la varianza permanezcan constantes a través del tiempo; una desventaja con este método es que el orden de la diferenciación que apliquemos corresponde al número de datos que se pierden en la serie. De manera semejante, para eliminar la fluctuación estacional en una serie de tiempo se lleva a cabo el mismo proceso con periodicidad s correspondiente a la fluctuación estacional; es decir, se restarán los valores que coinciden con la aparición del comportamiento similar en el tiempo; ahora se perderán s datos mas el número del orden de la diferenciación. Se le da el nombre de *diferencia ordinaria* a la aplicación del proceso de diferenciación con el fin de eliminar tendencia; y *diferencia estacional* a la aplicación del proceso de diferenciación con el fin de eliminar la fluctuación estacional en la serie. Otro enfoque consiste en la *transformación* de la expresión de los datos de las variables de modo que el comportamiento sea estacionario. Cuatro de las transformaciones más comunes para generar nuevas variables de predicción son: el logaritmo, la raíz cuadrada, el cuadrado y el recíproco; también pueden hacerse combinaciones de las mismas.

Comúnmente se usa la siguiente ecuación para calcular el coeficiente de autocorrelación:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}$$

donde

r_k = coeficiente de autocorrelación para un desfase de k periodos
($-1 \leq r_k \leq 1$).

Y = media de los datos de la serie.

Y_t = observación en el período de tiempo t .

Y_{t-k} = observación en k periodos anteriores o en el período de tiempo $t-k$.

Si r_k es cercano a cero quiere decir que la correlación entre Y_t y Y_{t-k} no es significativa.

Un valor de r_k cercano a uno indica que hay un alto grado de correlación positiva para el desfase de k periodos. Y si r_k es cercano a -1 , hay un alto grado de correlación negativa.

El *correlograma* es una útil herramienta gráfica usada para mostrar las autocorrelaciones para varios desfases en una serie de tiempo. Se registra el número de periodos desfasados de interés en una escala vertical en la parte izquierda, en otra escala vertical a la derecha los coeficientes de autocorrelación correspondiente al número de periodos desfasados que aparece en la escala vertical izquierda. Una escala horizontal de rango -1 a 1 correspondiente al coeficiente de correlación se registrará en medio de las escalas verticales.

Se presenta una *serie de tiempo aleatoria* cuando el coeficiente de autocorrelación entre cada observación Y_t y Y_{t-k} es cercano a cero y no se observa relación entre los valores sucesivos de la serie. En particular deberá realizarse una prueba de hipótesis para probar si los coeficientes de autocorrelación para cada período son significativamente diferentes de cero aplicando el hecho de que los coeficientes de autocorrelación de datos aleatorios tienen una distribución que se puede aproximar a una curva normal con media cero y desviación estándar de $1/\sqrt{n}$. De esta manera, con un nivel específico de confianza, si todos los coeficientes de autocorrelación se encuentran dentro del siguiente intervalo de confianza, querrá decir que en efecto: la serie de tiempo es aleatoria.

$$0 \pm Z \frac{1}{\sqrt{n}}$$

donde

Z = valor normal estándar para un nivel de confianza deseado

n = número de datos en la serie de tiempo.

Por otra parte, si la serie tiene una tendencia, ésta se reflejará con una alta correlación entre Y_t y Y_{t-k} explicada con coeficientes de autocorrelación significativamente diferentes de cero para los primeros periodos de desfaseamiento y cercanos a cero conforme se incrementa el número de periodos.

Una serie con patrón estacional presentará un coeficiente de autocorrelación significativo en cada periodo de desfaseamiento correspondiente a la aparición de un comportamiento similar a otro periodo previo separado igual número de periodos: característica de un componente estacional en una serie de tiempo.

Las *pruebas de hipótesis* conforman uno de los dos pilares, junto con la estimación, de las aplicaciones de la Estadística. Es un procedimiento similar al método científico; es decir, mediante una observación del proceso se expone una hipótesis sometiéndola a prueba mediante la obtención de medidas estadísticas o la aplicación de algún método en particular. Si las observaciones del proceso se oponen a la teoría deberá rechazarse la hipótesis, en caso contrario se aceptaría aunque también pudiera no detectarse la diferencia entre los valores reales y los parámetros estimados.

Suele considerarse que la *Estadística* es una rama de las matemáticas por el uso que hace de valores numéricos (datos) en sus fórmulas (medidas descriptivas o parámetros) características para realizar inferencias; sin embargo, resulta práctico y reconocedor considerarla como un área de la ciencia que trata del desarrollo de una teoría práctica de la información. Como tal, su objetivo es el uso óptimo de esa información adquiriendo con ello el conocimiento para hacer inferencias y tomar decisiones en momentos de incertidumbre, motivo por el cual el papel de la teoría de la probabilidad

es la base de la Estadística en el proceso inferencial. Primero buscamos el mejor procedimiento inferencial para la situación analizada y posteriormente establecemos una medida de su bondad o validez (límite probabilístico del error de estimación o intervalo de confianza) en su capacidad para describir un conjunto de datos.

Los *elementos de una prueba de hipótesis estadística* son:

1. **Hipótesis nula.**- Aquella que se desea probar, la denotamos como (H_0).
2. **Hipótesis alternativa o de estudio.**- Aquella que deberá aceptarse en el caso de rechazar la hipótesis nula, la denotamos como (H_a).
3. **Estadístico de prueba.**- Puede ser un estimador de las mediciones de los datos o de los resultados de algún método que servirá de base para la decisión estadística.
4. **Región de rechazo.**- Especificación de los valores del estadístico de prueba para los cuales se rechaza la hipótesis nula (regla de decisión). Si éste se encuentra dentro de la región de rechazo, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Debido a que siempre existe la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo ésta en realidad verdadera y de aceptarla cuando

es en realidad falsa; se han denotado estos tipos de error como:

Error tipo I: cuando se rechaza H_0 siendo en realidad verdadera. Se denota por α y también es conocida como *nivel de significancia de la prueba*.

Error tipo II: cuando se acepta H_0 siendo en realidad falsa (H_a es verdadera). Se denota por β .

También deberá considerarse el *horizonte de tiempo* en el que se desarrollará el método de pronóstico, con el fin de elegir el método adecuado; es decir, si se requiere de un pronóstico de inmediato, de corto, de mediano o de largo plazo. Por lo general, los métodos de pronóstico de plazo inmediato comprenden períodos menores a un mes; los de corto plazo, de uno a tres meses; los de mediano plazo, por lo general, de 3 meses a 2 años; y los de largo plazo, 2 años o más. Aunque los lapsos en la práctica

varían de acuerdo a la situación en estudio. Los *métodos de pronóstico de corto plazo* se han diseñado para responder a situaciones cercanas mediante estrategias inmediatas; por lo general, manejan operaciones diarias. Los *métodos de pronóstico de mediano plazo* auxilian en decisiones tales como el óptimo aprovechamiento de recursos. Y por su parte, los *métodos de pronóstico de largo plazo* se usan para determinar un punto o puntos en un futuro distante (periodo largo de tiempo) y resultan esenciales para que las empresas desarrollen planes para probables desarrollos nuevos, ya sea en financiamiento, manufactura, ventas, compras, etc.

Para los pronósticos de corto y mediano plazos, se pueden aplicar diversas técnicas cuantitativas. Para horizontes mayores en el tiempo, se usan con frecuencia los métodos cualitativos ya que conforme mas largo es el horizonte mayor es la incertidumbre, y en este caso el uso de un modelo matemático como pronóstico pudiera no parecer apropiado.

Otra consideración también muy importante en la elección de la metodología de pronóstico es el ámbito en el que éste se desarrolla; es decir, de acuerdo a su posición en el entorno, un pronóstico puede ser un *micropronóstico* o un *macropronóstico*. Esta clasificación es reflejada por el número de datos disponibles y el alcance que se pretende obtener con su proyección en el futuro; por ejemplo, un micropronóstico, es el que se plantea en el presente trabajo, ya que se pronosticará la cantidad de compra mediante la proyección de dos años a un horizonte de corto plazo (menor a seis meses) del departamento de compras de una empresa. Por su parte, un macropronóstico se refiere a la disponibilidad de un número mayor de datos reunidos en un factor global o general como puede ser un censo nacional.

Al seleccionar una técnica de pronóstico para una situación específica el analista también deberá considerar el nivel de detalle del pronóstico que la administración requiere para su utilidad en la toma de decisiones. Por lo general un nivel de detalle más sofisticado corresponde a una necesidad de un *procedimiento de pronóstico automatizado*.

Por lo general, las organizaciones prefieren aplicar sistemas efectivos de desarrollo que involucren métodos sencillos conceptual y mecánicamente

hablando. Este mismo principio es el que se aplica en los pronósticos y se denomina *principio de parsimonia* (empezar con lo más sencillo e incrementar la complejidad gradualmente si se juzga conveniente y necesario: el modelo matemático más sencillo que se ajuste a los datos será el preferido del estudio de pronósticos así como de la organización). Sin embargo, de acuerdo al ámbito de desarrollo de los mismos, en la economía nacional por ejemplo, la forma de automatización de la obtención de pronósticos será proporcionalmente más compleja.

También se requiere observar continuamente el estado del proceso para el cual se han estado realizando pronósticos con el fin de identificar tempranamente cuando ha cambiado algún patrón o si el proceso se encuentra fuera de control y ajustar los pronósticos debidamente mediante una planeación oportuna. Se requiere de un método que pueda adaptarse continuamente a fin de reflejar los resultados más recientes con la información disponible y también con la más reciente. En una situación estable un método de pronóstico cuantitativo puede ser adoptado y revisado periódicamente para reconfirmar sus propiedades; sin embargo, en una situación cambiante, como la que se planteó en el principio de este párrafo, la identificación oportuna de algún cambio será el factor primordial para planear alternativas que conduzcan al mejor estado futuro de la organización.

Deberán proporcionarse a los administradores aplicaciones efectivas de métodos de pronósticos. La simplicidad y facilidad de aplicación es el principio general en la aplicación, los métodos deberán ser entendidos y usados por los tomadores de decisiones ya que los administradores no basarán sus decisiones en pronósticos que no entienden, por lo que el *éxito del estudio de pronósticos* que el analista realiza radica también en la aceptación de los mismos por el administrador, factor que se logra involucrándolo en el proceso desde un principio y hasta el final poniéndolo al tanto de cada avance importante ya que esto contribuye a que se sienta asimismo involucrado con el estudio y lo haga parte de su trabajo.

Debe proporcionarse el apropiado programa computacional para llevar a cabo la aplicación del método cuantitativo. Tal programa deberá ser fácil de usar, bien documentado y libre de errores de manera tal que los administradores lo utilicen, entiendan y apliquen sus resultados.

Las *consideraciones costo/beneficio* también son una guía de elección del mejor método de pronóstico, ya que si únicamente se lleva a cabo el pronóstico para respaldar una decisión, involucrará el uso de un método rápido y menos costoso; esto quiere decir que conforme aumenta la importancia de la decisión, el tiempo y el gasto dedicados a los pronósticos también deberán incrementarse.

Además, una parte de la decisión para utilizar una técnica de pronóstico en particular es que produzca errores de predicción que se consideren como suficientemente pequeños; ya que es realista esperar que una técnica que produce los *errores de predicción* relativamente más bajos sea la más confiable; por lo que una vez que se tienen los pronósticos para una serie en particular, deberán someterse a una evaluación que comparará la precisión de dos técnicas diferentes a la vez y medirá la utilidad o confiabilidad de una técnica con el objetivo de elegir la óptima. Esta evaluación consiste en la aplicación de cuatro mediciones de precisión de un pronóstico que a continuación se explican.

III.5 Medición del error en el pronóstico: evaluación de pronósticos.

1. *Desviación Absoluta de la Media* (DAM). Este método de evaluación de una técnica de pronóstico mide la precisión de un pronóstico mediante el promedio de la magnitud de los errores de pronóstico (valores absolutos de cada error).

$$\text{DAM} = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - \bar{Y}_t|}{n}.$$

2. **Error Medio Cuadrado (EMC).** Con este método cada error o residual se eleva al cuadrado, sumándose y posteriormente dividiéndose la suma total entre el número de observaciones. Este enfoque penaliza los errores mayores de pronóstico ya que eleva cada uno al cuadrado. Esto es importante, pues en ocasiones pudiera ser preferible una técnica que produzca errores moderados a otra que por lo regular tenga errores pequeños pero que ocasionalmente arroje algunos en extremo grandes.

$$\text{EMC} = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}.$$

3. **Porcentaje de Error Medio Absoluto (PEMA).** Este método calcula los errores de pronóstico en términos de porcentaje y no en cantidades. Primero se encuentra el error absoluto en cada período, dividiéndolo entre el valor real observado para ese período y después promediando estos errores absolutos de porcentaje. El PEMA proporciona una indicación de qué tan grandes son los errores de pronóstico comparados con los valores reales de la serie. También se usa para comparar la precisión de la misma u otra técnica sobre dos series diferentes.

$$\text{PEMA} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}}{n}.$$

4. **Porcentaje Medio de Error (PME).** Se utiliza esta medida de precisión de pronóstico cuando resulta necesario determinar si un método de

pronóstico está sesgado (pronóstico consistentemente alto o bajo). Se calcula primeramente encontrando el error en cada periodo y dividiéndolo entre el valor real de ese periodo para posteriormente promediar estos porcentajes de error.

Si el PME produce un porcentaje cercano a cero, entonces el pronóstico no está sesgado; si se trata de un porcentaje negativo grande, el método de pronóstico está sobrestimado de manera consistente. Si el resultado es un porcentaje positivo grande, el método de pronóstico está subestimado en forma consistente.

$$\text{PME} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)}{Y_t}}{n}$$

El *tamaño y persistencia de errores* depende básicamente de:

- Una errónea identificación de patrones y relaciones que puede surgir si no se tiene suficiente información.
- Identificación de patrones inexactos o relaciones imprecisas. El propósito de la formulación de modelos de pronósticos será identificar patrones o relaciones tales que expresen fluctuaciones pequeñas del modelo con los datos reales o medidas estadísticas de éstos, y el menor grado de aleatoriedad posible.
- Aparición de cambios de patrones o relaciones: pueden causar errores persistentes cuya magnitud se desconoce y depende de los efectos y duración del cambio. Es primordial considerar que siempre habrán nuevos eventos que no podrán predecirse.

La variación en la precisión de los pronósticos dependerá también de la situación que se trate, ya que por ejemplo, en ocasiones un rango de $\pm 10\%$ puede ser suficiente, en otras ocasiones una variación escasamente mayor a un 5% podría ser desastrosa.

III.6 Técnicas de Box-Jenkins.

Las *técnicas de Box-Jenkins* son métodos superiores de pronósticos que producen menores errores de pronósticos en muchas situaciones complejas, su desventaja consiste en que se requiere de cierta capacidad por parte del usuario ya que si el proceso que genera el pronóstico es un total misterio para quien toma decisiones, este pudiera ser descartado en la administración de la organización sin importar que tan preciso sea, además de que por ende requiere de una alta inversión en tiempo de análisis y recursos computacionales de la empresa; sin embargo, es una técnica elaborada y compleja cuya belleza estriba en la coordinación cuidadosa que aplica entre el modelo y el procedimiento mediante un enfoque sistemático para la obtención del mejor modelo entre otros. Otra consideración muy importante es que para conseguir un buen modelo de pronóstico mediante esta metodología, se requiere un mínimo de 50 datos o periodos, de manera que deberá usarse únicamente en aplicaciones de grandes dimensiones. Además se considera aplicable cuando las observaciones ocurren en periodos relativamente cortos y si la serie es estacionaria.

La metodología de Box-Jenkins trata con un tipo de modelos que produce pronósticos con base en una síntesis de los patrones históricos en los datos mediante la descomposición de la serie en sus componentes básicos, a este proceso se le conoce como "*filtración*" ya que el método de Box-Jenkins pretende detectar las distintas componentes mediante el filtro correspondiente. Si los datos de la serie de tiempo son dependientes estadísticamente o relacionados entre sí, los modelos de promedio móvil autorregresivo integrado (ARMA: Autoregressive Moving Average o ARIMA: Autoregressive Integrated Moving-Average) pueden aplicarse. Los modelos ARIMA utilizan curvas ajustadas de los valores de la variable dependiente para obtener pronósticos precisos de corto plazo.

El modelo se verifica con un buen ajuste a la información si los residuales (medida de lo no predecible) entre el modelo y los datos son reducidos con influencia poco significativa en el resultado final y

comportamiento aleatorio e independiente en el modelo (la autocorrelación entre valores sucesivos será cero o cercana a cero) y por tanto, distribuyéndose como una normal con media cero y varianza constante σ^2 .

Mediante la metodología de Box-Jenkins, a una serie de tiempo puede ajustársele un modelo autorregresivo (filtro autorregresivo para obtener un modelo AR); un modelo de medias móviles (filtro de medias móviles para obtener un modelo MA); o bien un modelo mezclado ARMA o ARIMA (filtro de integración).

El método de Box-Jenkins considera que cuando se mide una variable a través del tiempo, frecuentemente ésta se encuentra relacionada consigo misma uno o más periodos atrás por lo que la herramienta clave en la aplicación de la metodología de Box-Jenkins de series de tiempo es la autocorrelación; y en particular la autocorrelación parcial. Por lo que la elección del mejor modelo será guiada por los resultados de los cálculos de autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales en modelos tentativos.

La *autocorrelación parcial* es una medida de la autocorrelación condicional de la serie de tiempo original y la misma desfasada un número fijo de periodos, manteniendo fijos los efectos de otros espacios de tiempo, lo anterior con el fin de determinar el orden apropiado del proceso ajustado a la serie de tiempo; por ejemplo, si se trata de un modelo AR(p) (autorregresivo de orden p), p indica el número de observaciones anteriores que deberán incluirse en el pronóstico del siguiente período. Más tarde se explicarán las pruebas para la significancia de los parámetros de los nuevos términos que se agreguen a fin de determinar si su inclusión mejora o no el modelo de pronóstico; además deberá siempre tenerse en cuenta el principio de parsimonia (elección del menor número de términos en el modelo).

Se trata de un *método iterativo*: primero se elige un modelo comparando el comportamiento de sus autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales de la serie una vez estacionaria con las distribuciones teóricas para los distintos modelos; se estiman los parámetros asociados con el modelo; además se examina el comportamiento de las autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales de los residuales que sugerirán modificar o

cambiar el modelo original. Si el modelo no se ajusta a la serie y más aún, si no genera buenos pronósticos, el proceso deberá repetirse con otro modelo a fin de mejorar el original; en este momento entra el juicio subjetivo ya que aun con el uso de **paquetes computacionales** que hacen estos cálculos y proporcionan un diagnóstico de validación, la identificación del mejor modelo de todos los que se prueben dependerá del tomador de decisiones quien deberá elegir el modelo apropiado y el número de términos correspondiente; además puede construir intervalos de confianza para las estimaciones de los pronósticos.

III.6.1 Modelos de series de tiempo.

III.6.1.1 Modelo autorregresivo (AR).

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \phi_3 Y_{t-3} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t$$

donde

Y_t = variable dependiente, valor de la serie o pronóstico de la misma en el tiempo t .

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, \dots, Y_{t-p}$ = variables independientes, variable dependiente en periodos previos de tiempo.

$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_p$ = coeficientes del modelo autorregresivo.

e_t = error aleatorio que no puede ser explicado por el modelo.

La ecuación del modelo AR pudiera o no incluir un término constante. No se emplea si los valores de la variable dependiente se expresan como derivaciones de su media.

Este modelo se llama autorregresivo por su similitud con la ecuación de regresión lineal, en el modelo AR cada variable depende de las observaciones anteriores en forma ponderada. Debemos determinar el valor de p (número de términos del modelo) y estimar los coeficientes del modelo AR, que a diferencia de regresión que usa el método de mínimos cuadrados, estimamos los coeficientes del modelo autorregresivo mediante un método

de mínimos cuadrados no lineal.

III.6.1.2 Modelo de medias móviles (MA).

$$Y_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \theta_3 e_{t-3} - \dots - \theta_q e_{t-q}$$

donde

Y_t = variable dependiente, valor de la serie o pronóstico de la misma en el tiempo t .

$e_{t-1}, e_{t-2}, e_{t-3}, \dots, e_{t-q}$ = valores previos del error.

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_q$ = coeficientes del modelo de medias móviles de Box-Yenkins (a diferencia de los cálculos para el método de promedios móviles descrito posteriormente, los coeficientes del modelo MA no se "mueven" con las nuevas observaciones).

e_t = error aleatorio que no puede ser explicado por el modelo.

La ecuación del modelo MA pudiera o no incluir un término constante, y ya que la media del término e_t es cero, el valor de este término constante viene dado por el promedio de la serie MA(q).

Este modelo es similar a la ecuación del modelo autorregresivo excepto que implica que la variable dependiente ahora es influenciada por los valores previos del término de error en vez de la misma variable dependiente desfasada periodos consecutivos.

III.6.1.3 Modelo mezclado ARMA(p, q) o ARIMA(p, q).

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \phi_3 Y_{t-3} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \theta_3 e_{t-3} - \dots - \theta_q e_{t-q}$$

donde p indica el orden del modelo AR y q el orden del modelo MA en el modelo integrado.

En este modelo los valores futuros ahora dependen tanto de valores pasados de la misma variable dependiente como de los términos de error previos. Con frecuencia los modelos $ARMA(p,q)$ describen mejor los patrones en los datos ya que ofrecen mayor potencial para ajustar modelos que no pudieron ajustarse adecuadamente usando modelos AR o modelos MA por sí solos. La notación de estos modelos también hace explícito el nivel de diferenciación mediante $ARMA(p,d,q)$ o $ARIMA(p,d,q)$.

III.6.2 Algoritmo del método de Box-Jenkins.

Paso 1: Especificar un modelo tentativo (recordar que la serie debe ser estacionaria) identificando la forma del modelo mediante la comparación de los coeficientes de autocorrelación y de autocorrelación parcial de la serie con las distribuciones teóricas de los modelos de Box-Jenkins.

	Distribución de	
Modelo	autocorrelaciones	autocorrelaciones parciales
AR(p)	Descienden exponencialmente a cero	p valores significativos
MA(q)	q valores significativos	Descienden exponencialmente a cero
ARMA(p,q)	Descienden exponencialmente a cero	Descienden exponencialmente a cero

Paso 2: Estimar los parámetros que ajusten el modelo a los datos tales que la suma de los cuadrados de los errores sea mínima; y revisarlo para determinar si es adecuado (términos de error deben ser aleatorios: autocorrelaciones diferentes de cero en forma significativa); si no lo es, regresar al paso 1; si lo es, realizar paso 3. Además podemos usar la *estadística de Box-Pierce* que es una prueba ji cuadrada (χ^2) sobre las autocorrelaciones de los

residuales útil para determinar si una distribución es o no aleatoria, aceptando o rechazando de este modo, respectivamente, el modelo.

$$Q = (N - d) \sum_{k=1}^m r_k^2$$

donde

N = número de datos en la serie de tiempo.

k = primeras k autocorrelaciones que se prueban.

m = número máximo de retrasos probados.

r_k = valor de autocorrelación del k -ésimo residual.

d = grado de diferenciación usado para obtener la serie estacionaria.

La estadística Q de Box-Pierce se distribuye aproximadamente como una distribución ji cuadrada con $k-p-q$ grados de libertad. Por lo que si el valor de Q es mayor que la ji cuadrada con $k-p-q$ grados de libertad, el modelo se califica inadecuado.

Otra prueba que también resulta útil para determinar si los términos de error del modelo son aleatorios es la *estadística de Durbin-Watson* para detectar errores autocorrelacionados no independientes entre una observación y la siguiente (correlación serial):

Partimos de una expresión matemática que expresa el término de error como una función del término de error del periodo anterior (una serie autorregresiva de primer orden), esto es:

$$e_t = \rho e_{t-1} + \eta_t$$

donde

ρ = coeficiente de correlación serial de primer orden entre los términos de error ($|\rho| < 1$).

e_t = término de error de la ecuación ($t \geq 2$).

η_t = ruido blanco o error aleatorio puro (término de error independiente con distribución normal: variables aleatorias independientes idénticamente distribuidas con distribución normal de media cero y varianza constante σ^2).

Y donde también es claro que si $\rho=0$ no existe correlación serial en los términos de error ya que $e_t = \eta_t$. En el caso de que ρ sea mayor que 0 quiere decir que existe una correlación positiva entre los residuales y es posible que se requiera la inclusión de otra variable independiente en el modelo ya que aquellos incluyen los efectos de la variable faltante, o un ajuste del mismo. Estos razonamientos llevan al planteamiento de una prueba de hipótesis al parámetro de autocorrelación ρ de la siguiente manera:

$$H_0: \rho=0$$

$$H_a: \rho>0$$

La hipótesis alternativa H_a se expresa como unilateral superior debido a que las series de tiempo en el ámbito económico muestran autocorrelación positiva en la mayoría de los casos. La estadística de Durbin-Watson, así como las reglas de decisión de acuerdo a la posición del valor de la estadística de Durbin-Watson con respecto a fronteras críticas superior e inferior que Durbin y Watson han tabulado para el número de datos de la serie de tiempo analizada, el nivel de significación estipulado y el número de variables independientes involucradas; se dan a continuación:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}.$$

Y con d_l = frontera inferior y d_s = frontera superior obtenidas en tablas de Durbin-Watson: pequeñas diferencias entre los residuos adyacentes indicarían correlación serial ($\rho>0$), lo que hace que el numerador de la estadística de Durbin-Watson sea también pequeño, de manera que se rechaza H_0

siempre y cuando la estadística d tenga un valor relativamente pequeño; esto es:

Si $d < d_1$, rechazar H_0 .

Si $d > d_s$, aceptar H_0 .

Si $d_1 < d < d_s$, la prueba no proporciona una conclusión (deberán tomarse más observaciones, deben tenerse como mínimo 40 observaciones).

Paso 3: Una vez que el modelo estimado se ha calificado adecuado, se desarrollan los pronósticos, también pueden formularse intervalos de confianza para estas estimaciones.

III.6.3 Modelos estacionales.

En particular, podría presentarse que las observaciones de una serie de tiempo ocurran a intervalos regulares por lo que el análisis de series de tiempo deberá considerar altamente esta relación y expresarla en el modelo para una mayor precisión del mismo.

1) Modelo estacional autorregresivo (SAR(P) o AR(P)S: seasonal autorregressive)

$$Y_t = \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \Phi_3 Y_{t-3} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + e_t$$

2) Modelo estacional de medias móviles (SMA(Q) o MA(Q)S: seasonal moving-average)

$$Y_t = e_t - \Theta_1 e_{t-1} - \Theta_2 e_{t-2} - \Theta_3 e_{t-3} - \dots - \Theta_q e_{t-q}$$

3) Modelo estacional mezclado (ARMA(P , Q)S)

$$Y_t = \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \Phi_3 Y_{t-3} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + e_t - \Theta_1 e_{t-1} - \Theta_2 e_{t-2} - \Theta_3 e_{t-3} - \dots - \Theta_q e_{t-q}$$

donde s denota la frecuencia de la estacionalidad (longitud del periodo), inferida del comportamiento de la serie.

III.6.4 Modelos multiplicativos estacionales.

Se trata de modelos más generales que pueden emplearse para resumir modelos ordinarios obteniendo un menor número de parámetros. Este tipo de modelos surge del análisis de los residuales, ya que se incorpora la información de los mismos al modelo, por ejemplo, si observamos que la serie de datos es regida por un modelo SAR(P) y los errores se comportan como un AR(p): obtendremos un modelo AR(p) \times SAR(P). En realidad, no es necesario considerar este tipo de modelos directamente en el principio del planteamiento de un modelo; ya que el procedimiento sistemático que tengamos para la obtención del mismo nos llevará a la especificación de un modelo multiplicativo estacional.

Modelo	Distribución de	
	autocorrelaciones	autocorrelaciones parciales
AR(p) \times SAR(P)	Descienden exponencialmente a cero con valores significativos en múltiplos de s	$P+sP$ valores significativos
MA(q) \times SMA(Q)	$q+sQ$ valores significativos	Descienden exponencialmente a cero con valores significativos en múltiplos de s
Mezclados	Descienden exponencialmente a cero con valores significativos en múltiplos de s	Descienden exponencialmente a cero con valores significativos en múltiplos de s

III.6.5 Modelos de series de tiempo multivariados.

Modelos ARMA multivariados:

$$Y_t = \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_r Y_{t-r} + \delta_0 X_{t-b} + \delta_1 X_{t-b-1} + \dots + \delta_s X_{t-b-s} + \zeta_0 Z_{t-c} + \zeta_1 Z_{t-c-1} + \dots + \zeta_u Z_{t-c-u} + \tau_0 W_{t-d} + \tau_1 W_{t-d-1} + \dots + \tau_v W_{t-d-v} + e_t$$

En analogía con regresión múltiple; los modelos ARMA multivariados pueden usarse para combinar los conceptos de regresión múltiple con los de modelos de series de tiempo univariados. Deberán para ello identificarse las variables independientes apropiadas (Y, X, Z y W); el número de términos y el modelo para cada una; así como la estimación de los parámetros y la prueba del modelo.

III.7 Métodos de promedio.

Los métodos de promedio para pronósticos deberán usarse cuando no sea posible desarrollar técnicas sofisticadas de pronóstico debido a un insuficiente número disponible de datos ante requerimientos de actualización de pronósticos muy frecuentes (a corto plazo). Estos métodos utilizan una forma de promedio ponderado de observaciones anteriores para atenuar (promediar) fluctuaciones de corto plazo. Suponen que los valores anteriores representan puntos aleatorios de alguna curva atenuada en particular, y en ellos se basan para identificar esta curva atenuada y proyectarla hacia el futuro para producir un pronóstico. Estos métodos en general suelen limitarse a procesos jóvenes debido a que utilizan el promedio de todas o de determinado número de observaciones (método de promedios simples que posteriormente se explica) según se juzgue conveniente para pronosticar el siguiente período; además, en muchas ocasiones los procesos no son estables e inevitablemente las condiciones cambian a través del tiempo por lo que el escepticismo en la eficiencia del modelo suele crecer si se aplica a períodos demasiado largos.

III.7.1 Método no formal o del último valor.

Este método utiliza modelos sencillos descartando todas las observaciones menos la más reciente ya que supone que los períodos recientes son los mejores pronosticadores del futuro. Sin embargo; por tal motivo, tiene la desventaja de ser impreciso debido a una varianza grande originada por la consideración de un único valor atrás en el tiempo como base para realizar el pronóstico.

Únicamente convendría usar este método si es inseguro un nivel constante en la serie y se considera que lo que ocurre antes del valor más reciente es irrelevante o lleva a conclusiones erróneas; o si se observa que el considerar constante la varianza del error aleatorio no resulta razonable y si la varianza condicional en el tiempo t es en realidad muy pequeña.

III.7.2 Promedios simples.

Este método deberá usarse cuando los **datos son estacionarios** (sin tendencia ni estacionalidad). El objetivo consiste en usar datos anteriores para desarrollar un modelo de pronóstico para períodos futuros. Debido a que los datos pueden atenuarse de muchas formas, el tomador de decisiones elegirá utilizar los primeros t puntos de datos como la parte de inicialización y el resto como la parte de prueba, posteriormente se promedia (calcular la media) la parte de inicialización de los datos para pronosticar el siguiente período mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{Y}_{t+1} = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{n}$$

Posteriormente se tomará la decisión de que tan adecuada es esta técnica para los datos en cuestión determinando los errores de pronóstico y aplicando las fórmulas de medición de los errores de pronósticos antes presentadas.

III.7.3 Promedios móviles.

Este método se basa en la elección de un conjunto específico de puntos de datos en la serie de tiempo para los cuales se calcula la media interpretándola como el pronóstico para la observación siguiente; pero a diferencia del método de promedios simples: con el método de promedios móviles al avanzar en la serie de tiempo y tener disponible una nueva observación se calcula la media eliminando el valor más antiguo e incluyendo el más reciente para pronosticar el siguiente periodo. Es debido a este enfoque que este método de promedios recibe el nombre de promedios móviles; de aquí también que en este método el número de puntos de datos de cada promedio no cambia al correr del tiempo. A diferencia del método de atenuación exponencial que es explica después, las ponderaciones asignadas a cada observación en el método de promedio móviles son iguales lo cual es una desventaja del método ya que intuitivamente se esperaría que un buen método diera mayor peso a la observación más reciente, como una mejor representación de las condiciones actuales, que a las observaciones más antiguas.

Modelo simple de promedios móviles:

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-n+1}}{n}$$

donde

- \hat{Y}_{t+1} = promedio móvil en el período t
- = valor del pronóstico para el siguiente período
- = media aritmética de las n observaciones más recientes.
- Y_t = valor real en el período t .
- n = número de términos en el promedio móvil.

Este método funciona mejor con **datos estacionarios** y no maneja muy bien la tendencia, aunque lo hace mejor que el método de promedio simple. El tomador de decisiones deberá escoger el número de periodos n para el modelo de promedios móviles; por ejemplo, los datos más antiguos se considerarían ya no ser relevantes por lo que únicamente se considerarían los más recientes. La proporción de respuesta a los cambios en el patrón de los datos depende del número de periodos, n , que se incluyen en el promedio móvil.

Si hay cambios súbitos en la serie de tiempo debe asignarse mayor peso a la historia reciente por lo que debido a que la elección de un número cada vez más pequeño de términos en el promedio móvil da más peso a los periodos recientes permitiendo que el pronóstico se ajuste con más rapidez al nivel actual; e inversamente, cuando se presenten fluctuaciones amplias no frecuentes en la serie se recomienda un número mayor de n , ya que entre más grande sea n en este caso, da menor peso a los periodos más recientes. Un promedio móvil grande presta poca atención a las fluctuaciones en la serie de datos. Entre mayor sea el orden del promedio móvil, se dará menor peso a los periodos más recientes e inversamente, como ya se indicó, entre menor sea el número, se dará más peso a los periodos recientes.

El uso de este método es más común en horizontes cortos ya que siempre se tendrá un retraso respecto a la tendencia y esta magnitud de retraso dependerá de la misma tendencia y del número de términos usados en el promedio móvil; el uso de más términos también incrementa el retraso.

III.7.4 Promedio móvil doble.

Este método de pronóstico deberá usarse cuando se observe **tendencia lineal** en la serie de tiempo. Como su nombre lo dice: este método primero calcula un conjunto de promedios móviles y después un segundo conjunto como promedio móvil del primero.

Con la primera aplicación del promedio móvil a la serie se obtiene una sobreestimación de pronóstico; es decir, los valores de los residuales son positivos, lo cual implica la tendencia lineal en la serie. La segunda aplica-

ción del promedio móvil (el promedio móvil doble), ahora subestimaré las observaciones de la serie, es decir, los residuales obtenidos ahora serán negativos y la serie pronosticada se ubicará por debajo de la serie real de forma similar a la serie del primer promedio móvil. Esto implica que para obtener un mejor pronóstico mediante una mejor aproximación a la serie real deberá obtenerse una ecuación de pronóstico, en este caso de tendencia lineal: una ecuación lineal. Primeramente, deberán obtenerse las diferencias por período de los dos promedios móviles ya calculados, mediante la ecuación:

$$a_t = 2\hat{Y}_{t+1} - \hat{Y}'_{t+1}$$

donde a_t representa la ordenada al origen de la ecuación de pronóstico para un período en el futuro. Un ajuste adicional implica obtener la pendiente de la ecuación de pronóstico, la cual viene dada por:

$$b_t = \frac{2}{n-1}(\hat{Y}_{t+1} - \hat{Y}'_{t+1}).$$

De aquí que la ecuación de pronóstico para el método de promedio móvil doble es:

$$\hat{Y}_{t+p} = a_t + b_t(p)$$

donde p es el número de periodos a pronosticar hacia el futuro.

III.7.5 Método de atenuación exponencial.

Este método deberá usarse cuando los datos sean **estacionarios**. Está basado en el promedio (atenuación) de valores anteriores de una serie, haciendo esto de forma decreciente (exponencial). Las observaciones se ponderan, asignando mayor peso a las más recientes. Las ponderaciones empleadas se designan como α ($0 < \alpha < 1$) denominada **constante de**

atenuación o suavizamiento.

Un nuevo pronóstico (para el período $t+1$) será una suma ponderada de la nueva o última observación (en el período t) y el pronóstico anterior (para el período t). Se asigna la ponderación α al nuevo valor observado y $1-\alpha$ al pronóstico anterior. De esta forma:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_t,$$

que mediante operaciones algebraicas podemos expresarla de la siguiente forma:

$$\hat{Y}_{t+1} = \hat{Y}_t + \alpha(Y_t - \hat{Y}_t).$$

Lo cual significa que otra forma de expresar el método de atenuación exponencial es como el pronóstico anterior más α veces el error en el pronóstico anterior, que resulta más fácil de aplicar.

La constante de atenuación α sirve como el **factor para ponderar**. El valor real de α determina el grado hasta el cual la observación más reciente puede influir en el valor del pronóstico. Cuando α es cercana a 1, el nuevo pronóstico incluirá un ajuste sustancial de cualquier error ocurrido en el pronóstico anterior. Inversamente, cuando α está cercana a 0, el pronóstico es similar al anterior. La velocidad con que los valores anteriores pierden su importancia, depende de α . Con el fin de visualizar las ponderaciones asignadas en la ecuación recursiva de este método; a continuación se desarrolla la primera ecuación recursiva presentada, obteniendo la expresión correspondiente a \hat{Y}_t y a \hat{Y}_{t-1} y posteriormente se sustituirá en la expresión de \hat{Y}_{t+1} :

$$\begin{aligned}\hat{Y}_t &= \alpha Y_{t-1} + (1-\alpha)\hat{Y}_{t-1} \\ \hat{Y}_{t-1} &= \alpha Y_{t-2} + (1-\alpha)\hat{Y}_{t-2}\end{aligned}$$

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + \alpha(1-\alpha)Y_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 Y_{t-2} + \dots$$

donde se observa claramente que este método da mayor peso a la más reciente observación y pesos decrecientes a las anteriores.

La clave del análisis es el valor de α . Si se desea que los pronósticos sean estables y se atenúen las variaciones aleatorias, se requiere de un valor de α pequeño; la respuesta al cambio será lenta y se obtendrán estimadores suaves. Si se desea una respuesta rápida al cambio real en el patrón de observaciones, resulta más apropiado un mayor valor de α ; con esta elección la respuesta al cambio será rápida con una gran variabilidad en los resultados. Un método para estimar α consiste en un procedimiento iterativo que minimiza el error medio cuadrado (EMC) reduciendo la Media del Porcentaje de Error Absoluto (PEMA). El grado de estabilidad del proceso sugerirá la elección de α , se han sugerido valores cercanos a 0.1 que no excedan 0.3.

Otro factor que afecta el valor de pronósticos subsecuentes es la elección del valor inicial de \hat{Y}_t . Aunque la influencia del pronóstico inicial disminuye en gran medida al incrementarse t , otro enfoque para inicializar Y_t consiste en promediar las primeras n observaciones. Por lo que la columna de atenuación comenzaría entonces con

$$\hat{Y}_t = \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}.$$

También puede emplearse alguna medida que ayude a evaluar el pronóstico en cada periodo. Esta *señal de rastreo* establecería límites de modo que cuando el error rebasa dichos límites, el pronosticador deberá cambiar el valor óptimo de α : si suponemos que la técnica de pronóstico

que hayamos finalmente elegido es razonablemente precisa, el error de pronóstico debería estar en una distribución normal con una media de cero. Así, la probabilidad de que una observación real se ubique dentro de aproximadamente 2 desviaciones estándar del pronóstico es del 95%. De esta manera, el intervalo que indicaría una variación permisible en un pronóstico está dado por:

$$\pm 1.96\sqrt{EMC}.$$

Como ya se indicó, este método puede ser considerado al pronosticar una serie estacionaria ya que presenta desventajas cuando se presenta alguna tendencia en la serie de tiempo por lo que antes se recomienda eliminar la tendencia y aun la estacionalidad.

III.7.6 Método de atenuación exponencial doble o método de Brown.

Deberá usarse este método si la serie presenta **tendencia lineal** y se desea asignar ponderaciones a las observaciones anteriores.

De forma similar al método de promedios móviles dobles, primero se obtienen los valores atenuados exponencialmente por periodo y después se aplica nuevamente el método de atenuación exponencial a estos valores obteniendo así valores doblemente atenuados exponencialmente por periodo.

Si A_t representa el valor atenuado de Y_t en el periodo t y A'_t el valor doblemente atenuado exponencialmente de Y_t en el periodo t ; entonces el valor simple atenuado exponencialmente viene dado por:

$$A_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)A_{t-1}$$

y el valor doblemente atenuado exponencialmente por:

$$A'_t = \alpha A_t + (1 - \alpha)A'_{t-1}$$

Se obtiene la ordenada al origen de la ecuación lineal de pronóstico de la serie con tendencia lineal del método de atenuación exponencial doble mediante:

$$a_t = 2A_t - A_t'$$

y el valor de la pendiente mediante:

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (A_t - A_t')$$

Cálculos que son usados para formular el pronóstico de p períodos en el futuro:

$$\hat{Y}_{t+p} = a_t + b_t(p)$$

De forma general, una vez que se ha observado que el proceso que genera la serie de tiempo presenta tendencia lineal con fluctuaciones aleatoria, un factor de tendencia deberá incluirse y estimarse por suavizamiento exponencial en un *modelo general de pronóstico con factor de tendencia* que a continuación se presenta:

$$Y_t = A + B_t + e_t$$

donde

Y_t = variable aleatoria observada en el tiempo t ,

A = nivel constante del modelo,

B = factor de tendencia,

e_t = error aleatorio en el tiempo t (se supone que tiene un valor esperado igual a cero y una varianza constante; es decir, se trata de una variable aleatoria independiente idénticamente distribuida que se comporta como una normal con media cero y varianza σ^2).

Una combinación lineal de Y_t y el valor atenuado en el período $t-1$ que incluya la tendencia (pendiente) es la siguiente:

$$A_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(A_{t-1} + B)$$

donde

A_t = nivel atenuado de la serie de tiempo en el tiempo t .

α = constante de suavizamiento.

Para estimar B (tendencia o pendiente) se usa nuevamente atenuación exponencial:

$$B_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1-\beta)B_{t-1}$$

donde

B_t = factor de la tendencia en el tiempo t .

β ($0 < \beta < 1$) = constante de suavizamiento que puede ser diferente de α .

El resultado de esta ecuación es una tendencia atenuada que excluye cualquier aleatoriedad.

De esta manera puede expresarse A_t como: $A_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(A_{t-1} + B_{t-1})$

y el pronóstico para p periodos en el futuro viene dado por:

$$\hat{Y}_{t+p} = A_t + pB_t$$

donde el producto de la estimación de la tendencia B_t por el número de periodos en el pronóstico (p) se suma al nivel actual de los datos (A_t) con el fin de eliminar aleatoriedad obteniendo un mejor ajuste; por ejemplo, la estimación para un período a futuro es:

$$\hat{Y}_{t+1} = A_t + B_t.$$

Para calcular los valores iniciales A_0 y B_0 , deberá ajustarse una línea recta a algunos datos históricos; el valor inicial atenuado también puede estimarse promediando un determinado número de observaciones anteriores de la serie. Por otro lado, si no hay disponibles datos anteriores se usa cero como estimación inicial.

A diferencia del método de Brown, este último procedimiento emplea dos constantes, por lo que explícitamente se le conoce con el nombre de *Método de dos parámetros de Holt*. Como se mostró: el Método de dos parámetros de Holt o método de Holt estima la tendencia calculando la diferencia de dos valores sucesivos de atenuación exponencial a la vez, por lo que se trata de una expansión del método de Brown en el que, como ya se indicó, la estimación de la tendencia atenuada excluye cualquier aleatoriedad.

III.7.7 Método de Winter.

El método de Winter proporciona una forma fácil de explicar la estacionalidad y la tendencia de un modelo cuando la serie de tiempo presenta estos patrones. También es llamado *método de atenuación exponencial ajustada a la tendencia y a la variación estacional de tres parámetros de Winter*, que es una extensión del modelo de Holt ya que incorpora una ecuación adicional para determinar la estacionalidad. No obstante el método de Winter, resulta recomendable desestacionalizar los datos para así aplicar un método de pronóstico a estos datos desestacionalizados y finalmente estacionalizar los datos nuevamente.

El método de Winter utiliza las siguientes cuatro ecuaciones:

$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + B_{t-1})$$

$$B_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1}$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L}$$

$$\hat{Y}_{t+p} = (A_t - pB_t)S_{t-L+p}$$

donde la primera ecuación representa la serie exponencial atenuada (como una extensión del método de Holt, en el modelo de Winter: A_t representa el nuevo valor atenuado, α ($0 < \alpha < 1$) es la constante de atenuación de los datos, Y_t es la nueva observación o valor real de la serie en el período t que ahora se divide entre la estimación estacional anterior S_{t-L} , para ajustar Y_t a la estacionalidad y B_{t-1} es el término que incorpora la estimación de la tendencia); la segunda ecuación es idéntica a la del método de Holt para estimar la tendencia. Mediante la tercera ecuación se estima la estacionalidad en el período t ; el término razón Y_t entre A_t es un índice estacional de la nueva observación que multiplica al parámetro de estacionalidad γ ($0 < \gamma < 1$). Y la última expresión es la ecuación de pronóstico de p periodos en el futuro que es idéntica a la del método de Holt salvo que ahora existe un factor estacional que deberá incluirse para ajustar el pronóstico a la estacionalidad, lo anterior mediante el producto de la estimación para un período futuro $t+p$ ($A_t - pB_t$) por S_{t-L+p} .

Los valores iniciales para las ecuaciones recursivas pueden estimarse de la siguiente manera: El valor inicial atenuado puede estimarse promediando unos cuantos valores anteriores de la serie. El valor inicial de la tendencia, utilizando la pendiente de la ecuación de tendencia obtenida de datos anteriores y las estimaciones de estacionalidad para datos anteriores mediante la descomposición de la serie de tiempo, para esta última estimación se requiere de un ciclo completo de datos. Y en el caso de que no existan datos anteriores disponibles, el primer valor será el primero de la

serie, 0 la estimación inicial de la tendencia y 1 la estimación inicial de estacionalidad.

Si el proceso generador de la serie de tiempo presenta estacionalidad y no tendencia, únicamente deberá excluirse esta estimación en las ecuaciones recursivas del método de Winter, esto es:

$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)A_{t-1}$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L}$$

$$\hat{Y}_{t+p} = A_t S_{t-L+p}$$

Las técnicas del análisis de series de tiempo proporcionan un enfoque conceptual a los pronósticos que debe complementarse con el buen juicio del pronosticador para tomar las decisiones importantes.

III.8 Análisis de regresión.

Este enfoque de análisis de datos supone que la variable que se va a pronosticar (variable dependiente) se expresa como una función matemática de una (*regresión simple*) o varias (*regresión múltiple*) variables (variable(s) independiente(s)). Debido a que en esencia un pronóstico puede ser expresado como una función de un cierto número de factores o variables que influyen su comportamiento, el análisis de regresión puede usarse cuando la variable independiente no es el tiempo. Una suposición básica de este análisis, desde luego, es que existe una relación lineal entre las variables. Como de costumbre, el punto de partida también en este análisis es la graficación de los datos: obtención de un *diagrama disperso* en la terminología de análisis de regresión. Si la relación entre las variables no es lineal, deberá hacerse alguna transformación: como reescribir la relación

funcional como una expresión lineal o aplicar alguna de las transformaciones matemáticas que se mencionaron para la obtención de series estacionarias: una relación exponencial, por ejemplo, puede transformarse en lineal mediante el uso de logaritmos.

III.8.1 Regresión simple.

La *línea de regresión simple* es aquella ecuación lineal que mejor se ajusta a un conjunto de puntos de datos Y (variable dependiente) mediante la manipulación de otro conjunto de datos X (variable independiente), ya que minimiza la suma de las distancias al cuadrado de los puntos a la línea medidas en dirección vertical o hacia Y:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x$$

donde b_0 es la intersección con Y. Y b_1 es la pendiente (cantidad de cambio en Y al incrementarse X). De aquí que el método para obtener los valores de b_0 y b_1 se conozca como *método de mínimos cuadrados*. Es importante señalar la *diferencia entre regresión lineal y análisis de tendencia*, ya que aunque este último también hace uso del método de mínimos cuadrados, con análisis de regresión se supone que las observaciones para la variable independiente son independientes y con series de tiempo no ocurre así a que una observación en cualquier período se relaciona con las observaciones en otros períodos. Debido a ello ambos métodos no son sinónimos ya que difieren conceptualmente.

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad y \quad b_0 = \bar{Y} - b_1\bar{X}$$

Los términos de error son las diferencias entre los valores reales de la población y los representados por la ecuación de regresión, esto es:

$$e = y - (b_0 + b_1x).$$

Así mismo, una suposición básica de análisis de regresión también es que los términos de error son independientes; por lo que deberá aplicarse alguna prueba en particular, como la de Durbin-Watson que ya se explicó con anterioridad.

El error estándar de la estimación es en este caso la medida del grado en que los puntos de datos en cuestión se encuentran dispersos alrededor de la línea de regresión de los datos. Esta medición de la dispersión es similar a la desviación estándar para la desviación de valores alrededor de su media.

$$s_{y \cdot x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - 2}}.$$

Si el valor de este cálculo es pequeño, implica puntos de datos muy cercanos a la línea de regresión. Y si por el contrario, su valor es grande, quiere decir que los puntos de datos están muy dispersos alrededor de la línea. Y debido a la suposición de que la población de puntos de datos alrededor de la línea de regresión presenta una distribución normal, el error estándar de la estimación es en sí una estimación de la desviación estándar de esa distribución normal. Además, esta dispersión deberá ser constante a lo largo de la línea (*homoscedasticidad*).

Mediante la siguiente fórmula obtenemos el *error estándar de pronóstico*:

$$s_p = s_{y \cdot x} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X - \bar{X})^2}{\sum (X - \bar{X})^2}}$$

que es una medida de la variabilidad de los valores de predicción de Y alrededor de su verdadero valor para un valor dado de X . Entre más alejado se encuentre éste valor de la media X mayor será el error de pronóstico.

También puede obtenerse un intervalo de predicción para un nivel de significancia dado y número de datos incluidos:

$\hat{Y} \pm Zs_p$ para número de datos suficientemente grande ($n \geq 30$) se utiliza la distribución normal

$\hat{Y} \pm ts_p$ para número de datos reducido, se calcula el intervalo de predicción mediante la distribución t .

Además, una estadística para determinar la *significancia del coeficiente de regresión* es el error estándar de ese coeficiente, el cual puede obtenerse mediante:

$$s_{b_1} = \frac{\sqrt{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - 2)}}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

por lo que b_1 puede variar en el intervalo $b_1 \pm 3s_{b_1}$ para un intervalo de confianza del 99.8%, $b_1 \pm 2s_{b_1}$ para un intervalo de confianza del 95% o $b_1 \pm s_{b_1}$ para un intervalo de confianza del 68%.

Como se indicó con anterioridad, el coeficiente de correlación es la medida del grado de relación existente entre dos variables. En el contexto de análisis de regresión, r^2 es el *coeficiente de determinación*, lo cual implica que el coeficiente de determinación es igual al coeficiente de autocorrelación al cuadrado. Es la magnitud de la bondad de ajuste que indica el porcentaje de la variación total explicada por la línea de regresión. En una regresión perfecta, los errores entre el valor real y la predicción son

cero y r^2 es igual a 1. Mientras mayor sea el número de datos, r^2 nos dirá el porcentaje de la variación total en Y explicada por variaciones en X.

Otra estadística, la F, es también usada en análisis de regresión:

$$F = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 / (k - 1)}{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - k)}$$

F y r^2 son similares, excepto que F usa la varianza no explicada en el denominador y es dependiente del valor del número de datos n . Conforme n se hace más grande, el denominador en F se hace más pequeño y la estadística F se incrementa. Este valor de F para un nivel de confianza dado debe ser mayor al valor dado en tablas para concluir que la relación entre las variables es estadísticamente significativa.

III.8.2 Regresión múltiple.

Los conceptos básicos que se analizan en el análisis de regresión simple también se emplean en regresión múltiple, ya que se trata de una expansión del modelo o una generalización de regresión simple; es decir, en regresión simple se representaba la relación entre la variable independiente y la variable dependiente, en el caso de regresión múltiple: el número de variables independientes es más de una. De manera análoga también se emplea el método de mínimos cuadrados para estimar los valores de los coeficientes del modelo de regresión múltiple. En este caso cada coeficiente se denomina *coeficiente de regresión neta* ya que mide el promedio de cambio en la variable independiente relevante, manteniendo constantes las demás variables independientes. Con el método de mínimos cuadrados en regresión simple se obtuvo la *línea recta de mejor ajuste*. Ahora en el caso de regresión múltiple de tres variables: se obtiene el *plano de mejor ajuste* y los datos reales se encuentran ahora por arriba y por debajo del plano de manera tal que la suma del cuadrado de sus diferencias con los valores del plano de regresión múltiple (suma de los cuadrados de los errores) es mínima.

Es importante recordar que los valores actuales de los parámetros dependen de las unidades usadas para estimarlos por lo que resultaría erróneo interpretar que en un modelo, una variable es más importante que otra sólo porque su coeficiente es mayor.

La **matriz de correlación** es una útil herramienta en regresión múltiple y se crea mediante el cálculo de los coeficientes de correlación simples para cada combinación de pares de variables. Su análisis es un paso inicial en la solución de cualquier problema que comprenda varias variables independientes. Debe considerarse que una buena variable de pronóstico en regresión múltiple deberá estar relacionada con la variable dependiente y al mismo tiempo no estar altamente relacionada con ninguna otra variable independiente ya que si esto último ocurre, esta variable podría resultar redundante en el modelo.

Si se presenta el caso en que dos variables independientes de una ecuación de regresión múltiple se encuentran altamente intercorrelacionadas, este efecto se conoce como **colinealidad**. Una solución a este problema consiste simplemente en no utilizarlas juntas. Y en un caso extremo deberá elegirse o usar en la ecuación final sólo una de las variables altamente correlacionadas o crear y usar una nueva variable que sea una combinación de las dos variables altamente correlacionadas.

El modelo de regresión múltiple en general es el siguiente:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n.$$

Y el cálculo del error estándar de la estimación mediante la estadística:

$$s_{y, x_1, x_2} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - k}}$$

Los **preceptos en análisis de regresión múltiple** son análogos a los de regresión simple:

- 1) Debe existir una relación lineal; si no es así, transformar las variables en nuevas variables que exhiban relación lineal con la variable de pronóstico.
- 2) Homoscedasticidad; es decir, varianza constante de los errores de regresión (el caso contrario se denomina *heteroscedasticidad*).
- 3) Residuales independientes (aleatorios). Cuando los residuales no son independientes, una variable independiente importante pudo haberse omitido o existe no linealidad entre las variables usadas en la ecuación de regresión, por lo que los residuales incluyen todavía parte de los patrones básicos que la ecuación de regresión debería tener para hacer más preciso el pronóstico.
- 4) Los valores de la variable de pronóstico Y presentan una distribución normal con respecto al plano de regresión múltiple.

El *análisis de regresión* es una técnica de pronóstico basada en el entendimiento y medida de las relaciones entre variables, que el pronosticador ha identificado como los factores más relevantes que influyen a la variable a pronosticar. Las grandes ventajas de la regresión múltiple, así como de los demás métodos de pronósticos que se han explicado, es que gracias a programas computacionales, el número de relaciones y modelos puede suponerse y probarse con el mínimo esfuerzo y así elegir el más apropiado.

III.9 Aplicación de las técnicas de pronósticos.

No se debe dejar de considerar que los resultados del pronóstico deben facilitar el proceso de toma de decisiones de los administradores de la organización, por lo que un método de pronóstico con un proceso matemático complicado o que haga uso de la vanguardia en complejidad no será lo esencial (no olvidar el principio de parsimonia). La elección de datos pertinentes y la elección del mejor modelo que proporcione los mejores pronósticos mediante la minimización del error de pronóstico deberán ser características de un modelo sencillo, ya que entre más sencillo sea el modelo es más probable lograr la aceptación del proceso por parte de los

administradores de la organización. Deberá hacerse un balance entre un enfoque complejo que ofrezca ligeramente mejor precisión y un enfoque sencillo que sea más fácil de entender y aplicar por parte de quienes toman las decisiones en la empresa.

Será muy importante revisar la precisión del proceso mediante el pronóstico de periodos recientes de los que se conocen los valores históricos reales (prueba retrospectiva) y hacer uso de las medidas de evaluación de la precisión de pronósticos para así examinar estos patrones de error y modificar el procedimiento de pronóstico al grado que se juzgue necesario. El pronóstico deberá ser técnicamente correcto y producir predicciones precisas. El procedimiento de pronóstico y sus resultados deben ser presentados con efectividad a la administración de modo que los pronósticos se utilicen en el proceso de toma de decisiones en beneficio de la empresa; también los resultados deben ser justificados con base en su costo-beneficio.

El pronosticador debe siempre considerar que el resultado final del proceso de pronóstico es generar un producto cuyos beneficios al proceso administrativo exceda al costo de generarlo. Muchas veces la variación del costo afecta lo atractivo que pudieran resultar los diferentes métodos.

El tiempo empleado por personal asalariado desde la recopilación de datos, el desarrollo del proceso de pronóstico y la interpretación de resultados es un costo que deberá sopesarse frente a los beneficios obtenidos. Un requerimiento de pronóstico que rebasa la capacidad técnica del personal de una empresa sugiere el empleo de consultores profesionales. Los administradores en realidad en la mayoría de los casos se encuentran ocupados en negociar y no se ocupan de la tarea de pronosticar, por lo que escatimar costos asignando esta tarea a los administradores, pudiera resultar caro, por ello se recomienda asignar un pequeño grupo de pronosticadores a subunidades dentro de la empresa con el fin de que este se encargue de la adecuada coordinación y generación de pronósticos precisos. Esta responsabilidad de pronósticos se combinaría con apoyo estadístico y computacional ya que actualmente es posible que los administradores que

tengan acceso a herramientas complejas de pronóstico no tengan conocimiento teórico de aplicación real. Esto incrementa la necesidad de obtener los máximos beneficios mediante la aplicación de métodos cuantitativos y cualitativos de un grupo de pronosticadores. De esta manera, con la ubicación del proceso de pronóstico en cada unidad de la empresa que lo requiera, se evitan malentendidos entre las mismas y se complementan, además, los pronósticos generados tienden a ser aceptados y utilizados en el proceso de toma de decisiones.

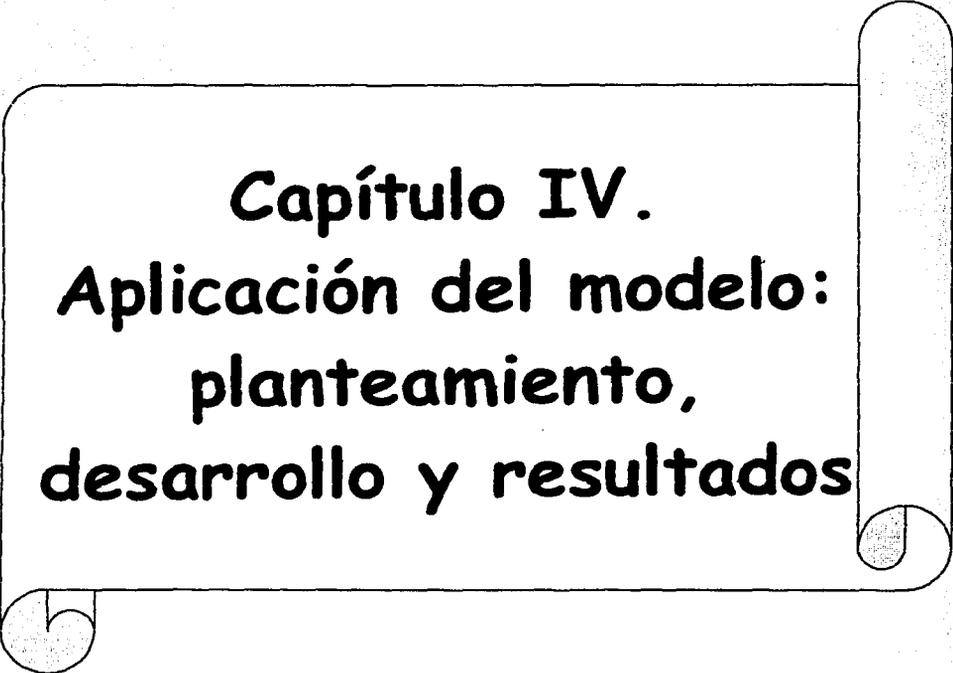
Como ya se indicó anteriormente, el número de datos disponibles para la realización del pronóstico es un factor clave para la elección del adecuado método de pronóstico; habría ahora que mencionar que no obstante un mayor número de datos hace más precisos los pronósticos, resulta recomendable considerar la cantidad de los mismos y el costo de reunir más por lo que tal vez resulte conveniente empezar con un sencillo método de pronóstico que no requiera muchos datos y conforme la experiencia del analista crezca y se reúnan más datos incrementar la sofisticación de los métodos adoptados. El analista tendría que confrontar el cambio de los costos con la precisión que se va logrando. Así como considerar el tiempo permitido para generar oportunamente el pronóstico.

De lo anterior podemos identificar que existen tres tipos de *costos debidos a la aplicación de un método de pronóstico*:

- 1) Costo debido a la obtención y preparación de los datos,
- 2) Costo de desarrollo del pronóstico y
- 3) Aplicación.

Debe también considerarse que el emplear los recursos en un determinado método de pronóstico no reduce la incertidumbre ya que el tener una sola técnica con un solo resultado podría limitar alternativas, lo que se considera como mayor incertidumbre. Con esta perspectiva un propósito óptimo de pronósticos será proporcionar un costo de oportunidad en términos de la posibilidad de aplicar otras técnicas mediante el estudio de las incertidumbres del futuro; es decir, de la consideración de los posibles

cambios o tal vez los no considerablemente esperados que pudieran presentarse; de esta manera, mediante esta visión de riesgos se pretendería contar con modelos de pronósticos más fácil de ajustar a situaciones imprevistas mientras se planea y se toman decisiones hacia el futuro.



Capítulo IV.
Aplicación del modelo:
planteamiento,
desarrollo y resultados

Con el fin de exponer el estudio de un caso real, se presentarán, posteriormente a un resumen de la historia de la evolución de las bases de datos, las cuatro etapas de aplicación del presente trabajo. Las dos primeras etapas corresponden al planteamiento, la tercera al desarrollo y la última a los resultados de la aplicación:

- 1) Diseño de una base de datos para el sistema.
- 2) Obtención de pronósticos como entrada del modelo matemático.
- 3) Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos.
- 4) Presentación de resultados e implementación del sistema.

IV.1 Historia de la evolución de las bases de datos.

La historia en general, tiene su origen en el acopio, el procesamiento y la divulgación de la información así como en el conocimiento en sus más diversas formas.

Una *base de datos* es la más moderna técnica de almacenamiento de datos, que empezó con las tarjetas perforadas inventadas por el Dr. Herman Hollerith de la Oficina de Censos de Estados Unidos en 1880. El Dr. Hollerith tenía el problema de completar el censo de 1880 de aproximadamente 13 millones de norteamericanos antes de 1890, cuando comenzaba el siguiente censo. Así como ocurre con la ciencia, para el Dr. Hollerith, la necesidad fue la madre del invento, ya que desde luego, con lo métodos manuales tradicionales de cómputo, era claro que su labor no estaría terminada a tiempo. El Dr. Hollerith inventó un método de almacenamiento de información basado en el conocimiento del uso de las tarjetas perforadas en telares Jacquard. Así comenzó la era de los ficheros de tarjetas mecanizadas, que subsistieron como medio para el almacenamiento de la información durante los siguientes 60 años.

El ordenador ENIAC diseñado por los profesores Eckert y Mauchley de la Universidad de Pennsylvania para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos llegó a ser operativo en 1946, fundamentalmente para calcular trayectoria y tablas de tiro. En los primeros días no se requería que los ordenadores almacenaran datos, sino lo que destacaba en ellos era la

velocidad de los cálculos aritméticos que era todo lo que se necesitaba, su uso primordial era para cálculos científicos. Pero cuando su uso se extendió al procesador de datos, las limitaciones de los ficheros de tarjetas empezaron a notarse. Lo que condujo a la invención de los dispositivos de cinta magnética fue la necesidad de contar con un medio de almacenamiento más rápido para la Oficina de Censos durante el próximo censo de 1950.

El ordenador Univac-1, diseñado en 1951 por Eckert y Mauchley, también se entregó a la oficina para poder dar abasto a los datos del censo de 1950. Contaba con un único dispositivo de cinta magnética la cual era leída hacia delante y hacia atrás velozmente.

De esta manera, los ficheros de tarjeta y los de cinta magnética fueron los dos inventos más importantes en 60 años, ambos motivados por la necesidad que a la Oficina de Censos se le presentaba.

Con la llegada de la cinta magnética desaparecían las pesadillas de encontrar accidentalmente tirada o desordenada una caja de tarjetas. Su capacidad de almacenamiento y velocidad comparadas con el fichero de tarjetas eran enormes, pero la organización de los ficheros eran todavía secuencial, aunque permitían la representación de registros de longitud variable en una forma conveniente.

Los sistemas de procesado de datos en los años cincuenta eran subsistemas de nóminas muy sencillos, diseñados aisladamente e independientes de otros subsistemas relacionados. El intento por computerizar sistemas más complejos trajo un nuevo grupo de expertos: los *analistas de sistemas*, quienes introdujeron el concepto de ficheros integrados, para ser compartidos por cierto número de programas de más de un subsistema. Estos ficheros eran grandes y el problema de escribir largas descripciones de datos, en cada programa para cada fichero se resolvió con el verbo de Cobol: *copy*, paso fundamental hacia adelante en la separación de la descripción de los datos de cualquier programa. De aquí la evolución hacia progresos en el almacenamiento integrado de datos.

Con los discos magnéticos de mediados de los 60's, fue posible acceder a un registro directamente, saltando los otros registros, ganando así una velocidad de recuperación conjunta comparada con la cinta magnética. El

concepto de Sistema de Información de Gestión (MIS) ganó actualidad; sin embargo, el número de ficheros de entrada del paquete MIS era muy grande para problemas de ordenación y cotejo; además, el fallo de algún sistema podía destruir fácilmente la operación total, por lo que la duplicación de datos en los ficheros planteó otro problema y otra necesidad. Con el tiempo los paquetes MIS resultaron ser no fiables, incómodos e insatisfactorios lo cual trajo una creciente necesidad de integración.

La General Electric introdujo el Almacén de Datos Integrados (IDS sus siglas en inglés: Integrated Data Store) en 1965, que actualmente pertenece a Honeywell denominado IDS-I. El Almacén de Datos Integrados fue ideado para crear grandes ficheros integrados que pueden ser compartidos por cierto número de aplicaciones. Y es el precursor de los modernos sistemas de gestión de bases de datos. Se reconoce a Charles W. Bachman como su pionero, quien tuvo también un papel muy activo en el desarrollo de la propuesta de bases de datos Codasyl (Conference on Data Systems Languages, Conferencia sobre Lenguajes de Sistemas de Datos), que incorporó muchas características del Almacén de Datos Integrados.

Los ficheros integrados para sistemas jerárquicos siguieron al Almacén de Datos Integrados; aunque en realidad no fueron tan efectivos como se deseaba debido a la escasez de coordinación entre los mismos. Lo que se necesitaba era una base de datos que contuviera una colección integrada de datos generalizada y se reconoció que esta base de datos debería ser independiente del programa como del lenguaje si pretendía servir para todas las aplicaciones y, en particular, un cambio de los datos no debería requerir un cambio en el programa de aplicación.

La Codasyl se interesó por las bases de datos a finales de los 60's y creó un grupo de trabajo para definir un modelo común de datos, ahora llamado modelo Codasyl o modelo de red. Un modelo de datos especifica las reglas según las cuales se estructuran los datos así como las operaciones asociadas permitidas; se trata de una técnica de descripción formal de los datos, de sus relaciones y restricciones en su uso.

Fue el 8 de abril de 1959 cuando un pequeño grupo de usuarios y fabricantes de ordenadores se reunió en la Universidad de Pennsylvania con

el fin de revisar los desarrollos de lenguajes para aplicaciones de negocios. El 28 de mayo del mismo año, en el Pentágono, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (usuario de gran importancia) convocó a alrededor de 40 representantes de usuarios, fabricantes y otras personas interesadas para discutir las conveniencias de un Lenguaje Común Orientado a los Negocios (Common Business Oriented Language, COBOL). Como las reuniones siguieron, se identificó a la Conferencia sobre Lenguajes de Sistemas de Datos (Conference on Data Systems Languages, CODASYL) como una organización informal y voluntaria de personas interesadas, que con el apoyo de sus respectivas instituciones, diseñaban y desarrollaban técnicas y lenguajes para ayudar en el análisis, diseño e implementación de los sistemas de datos.

El *modelo relacional* fue propuesto, por primera vez en 1970, por el Dr. Edgar F. Codd de IBM. Y de la misma manera en que se reconoce a Bachman como el padre de las bases de datos, Codd es el padre de la investigación sobre ellas. Actualmente se reconoce al modelo relacional como el otro modelo fundamental, al lado del modelo de red, de los sistemas de gestión de bases de datos (DBMS: Data Base Management System, las siglas en inglés de un sistema de gestión de bases de datos; el cual se define como un sistema que genera, ejecuta y mantiene una base de datos, y, como tal, el sistema debe incluir todo el software necesario para tal finalidad).

Hay que recordar que una *relación* es un término matemático que se utiliza para representar una tabla bidimensional mediante una relación de correspondencia de un conjunto al otro, resultando una colección de registros. Con el modelo relacional generalizado orientado a conseguir independencia de datos propuesto en 1970 por el Dr Edgar Codd, se define una relación mediante un conjunto de filas y columnas siendo cada entrada o elemento un valor de atributo (columna); no se trata de una matriz, ya que en ésta debe presentarse homogeneidad en las entradas, característica de la que carece el modelo relacional de bases de datos, ya que en éste las columnas si son homogéneas, pero no las filas. Por lo tanto, una *base de datos relacional* se compone de relaciones, que pueden almacenarse en dispositivos físicos de diversas maneras. El modelo básico propuesto por

Codd sólo especificaba una estructura de datos en forma de relaciones par el esquema conceptual y las relaciones se manejaban mediante versiones de lenguaje de alto nivel. Este modelo fue mejorado y ampliado por el mismo Codd y se convirtió en el objeto fundamental de investigación sobre bases de datos debido a su atractiva sencillez y alta efectividad. La representación tabular bidimensional también llamada de archivo plano bidimensional, es la manera mas natural de representar datos para el usuario.

Las *características de una relación en el contexto de bases de datos* son las siguientes:

- Todas las entradas o elementos de una columna son del mismo tipo.
- Se asignan nombres distintos a las columnas, denominados nombres de atributo.
- El orden de las columnas es indiferente.
- Cada fila es distinta, quedando de esta manera prohibida la duplicación de registros.
- El orden de los registros es indiferente.

Debe recordarse también que el término *dominio* hace referencia a una colección de valores con las mismas propiedades, y debido a que en algunos casos podría presentarse una correspondencia de uno a uno entre los dominios o columnas de una base de datos, en otros casos podría no presentarse. Razón adicional de la asignación del término relacional, aludiendo al concepto matemático relación, al modelo de bases de datos de Codd. Con base en lo anterior, se utiliza el término base de datos relacional para identificar una base de datos compuesta por relaciones bidimensionales; es decir, se trata de una base de datos constituida por archivos normalizados.

Al respecto, la *normalización* es un proceso reversible paso a paso que Codd desarrolló para transformar ciertas características estructurales que identificó que en las relaciones son capaces de crear problemas de recuperación y actualización. Con este fin, el proceso de normalización consiste en transformar progresivamente una relación no normalizada en una estructura más sencilla. Una relación es no normalizada cuando contiene

agrupaciones de datos, por lo tanto, las etapas de normalización se encargan de eliminar tales agrupaciones descomponiendo la relación no normalizada, en otras relaciones. Dicho proceso permite reemplazar relaciones entre datos tipo árbol y de red con relaciones de la forma plana bidimensional sin que se pierda ninguna de las relaciones existentes entre los datos.

Codd también desarrolló un cálculo de predicados conocido como *cálculo relacional*, que posteriormente utilizó para construir un lenguaje de manipulación de datos de alto nivel denominado Sublenguaje de Datos (DSL) Alfa, el cual implementó el *álgebra relacional*, basada en las operaciones de la teoría de conjuntos, proporcionando una potente técnica de recuperación en una base de datos relacional. El álgebra relacional opera sobre una o dos relaciones y da como resultado una nueva relación; las operaciones clásicas del álgebra relacional son: unión, intersección y diferencia, mientras que las menos comunes: proyección [que se refiere a la eliminación de las filas duplicadas (proyección única), con la excepción de que a veces la presencia de duplicados en la respuesta no tiene importancia. Su proceso consiste en extraer de una relación una o varias columnas con nombre en un orden especificado], selección [que es la operación complementaria a la proyección, ya que se encarga de extraer registros de una relación sujeta a condiciones especificadas en un predicado], join [que es la combinación de dos relaciones que comparten un dominio común] y división [definida como la operación de una relación binaria sobre una relación unaria cuyo resultado es una relación unaria que contiene la columna no común de la relación binaria. La columna común es el enlace de la operación y corresponde a una columna de la relación unaria que comparte el mismo dominio con una columna de la relación binaria]. Sin embargo, a pesar de la potente ayuda del álgebra relacional, el sublenguaje Alfa nunca se implementó ya que la notación original de Codd fue utilizada principalmente para transmitir conceptos más que para proporcionar una sintaxis para la implementación. Posteriormente, atendiendo a esta necesidad, surgió el lenguaje relacional QUEL (Query Language: lenguaje de interrogación) implementado en 1976 por Stonebraker y colaboradores. Como el modelo relacional original no hacía distinción alguna entre un

esquema conceptual y un esquema externo, los trabajos más recientes han producido facilidades de aplicación, separando las relaciones y lenguajes relacionales de las estructuras de almacenamiento. Además, éstos emplean el cálculo relacional (la manera más automática), en vez del álgebra relacional pura, ya que el usuario únicamente debe definir lo que desea y dejar que el sistema resuelva las operaciones del álgebra relacional que se requieren (esto es, se extraen los elementos de la lista de objetivos donde el predicado es cierto); en vez de especificar las operaciones detalladas para obtener la información propias del álgebra relacional. Por lo tanto, el sistema está en libertad para optimizar el método. El cálculo relacional representa un más alto nivel de automatización y se ha implementado en los diferentes DBMS existentes en el mercado computacional. Actualmente se encuentran disponibles otros lenguajes relacionales como SQL, de los cuales se comentará en el rubro de software para bases de datos.

Como se ha mencionado, no obstante, también suelen usarse muchos modelos estructurales de datos que no son bidimensionales, a los cuales se les conoce como modelos jerárquicos: *estructuras ramificadas* (o *árboles*) y *estructuras reticuladas* (o *redes*). Incluso, dichas estructuras complejas pueden descomponerse en estructuras bidimensionales con conjuntos de datos redundantes. Todo árbol está compuesto por una jerarquía de elementos denominados *nodos*. En la jerarquía más alta se encuentra un solo nodo llamado *raíz* y con excepción de éste, todo nodo en el árbol tiene un solo vínculo con otro nodo de un nivel más alto llamado *padre*. Si cada nodo tiene un solo padre y uno o más nodos relacionados en un nivel más bajo llamados *hijos*, el modelo es un árbol; de lo contrario, si un nodo hijo tiene más de un padre, la relación describe una estructura de red.

IV.2 Diseño de una base de datos para el sistema.

Definición.

Puede concebirse a una *base de datos* como un sistema cuya base (concepto clave) es una forma de manejo de datos.

Comúnmente se conoce como *entidad* a las cosas sobre las cuales se almacena información. Una entidad puede ser:

- 1) Un objeto tangible, esto es, por ejemplo, la representación de un artículo, un empleado, etc.; o
- 2) Algo intangible; que se refiere a un suceso, el nombre de alguna característica, el número de cuenta de un cliente, etc.

Por consiguiente, toda entidad tiene propiedades que se almacenan como atributos.

Una *base* es un sistema en el que se organizan los procedimientos de procesamiento de datos de manera tal que su presentación y manejo sea más sencillo y útil para el usuario potencial. Debido a esto, la elección de una base de datos en particular es un factor que afecta considerablemente los resultados.

Una *base de datos* es una colección de ocurrencias de varios registros, incluyendo además las relaciones existentes entre los mismos. Los datos interrelacionados que se almacenan en la base de datos no deben presentar redundancias perjudiciales o innecesarias, por lo que los datos deberán almacenarse de modo que resulten independientes de los programas que los usan.

Se dice que un sistema comprende una colección de bases de datos cuando éstas son totalmente independientes desde el punto de vista estructural. A las colecciones de bases de datos a veces se les llama *bancos de datos*.

En una base de datos, la *descripción y las relaciones entre los datos* adoptan una de dos formas:

- 1) *Lógica*, que se refiere a la forma en como los datos se presentan al programador de aplicaciones o a sus usuarios. Suele llamarse *esquema* a la descripción lógica global de una base de datos, el cual es un diagrama general de los tipos de datos que se usan, donde además se muestran los nombres de las entidades, sus atributos y se especifican las relaciones entre éstos. Se trata de la vista general de los datos como los contempla el administrador o los analistas de sistemas que utilizan toda la base. En este contexto, el término *subesquema* se refiere a la vista que el

programador tiene de las aplicaciones de los datos que utiliza. Se trata del diagrama de una porción de los datos orientado a satisfacer uno o más programas de aplicación. En tal caso, los programadores de cada aplicación, no necesariamente deben conocer la totalidad del esquema. Desde luego, que de un mismo esquema pueden derivarse muchos subesquemas.

- 2) **Física**, que se refiere a la forma de registro en el medio de almacenamiento o hardware. El diagrama de la distribución física de los datos en los dispositivos de almacenamiento es la vista de los datos que tienen los diseñadores y programadores de sistemas, que se encargan del desempeño y de cómo se ubican, indican o localizan, los datos en el hardware; además de las técnicas de compactación que se emplean.

Deberá considerarse una forma adicional de descripción de datos, cuya inclusión en el sistema resultará benéfico a la efectividad de uso del sistema; esta se refiere al punto de vista del usuario terminal y el modo de presentación de dicha descripción dependerá del diseño del diálogo usuario-terminal que se utilice. Esto se refiere a documentar el sistema de manera que la descripción de los datos pueda ser entendida fácilmente por los usuarios que no tienen preparación previa como programadores. Al respecto deberá ser posible la máxima flexibilidad en la formulación de interrogantes de forma no prevista o espontánea en las terminales.

De manera análoga a la descripción de datos, existen dos *niveles de independencia de datos*:

- 1) **Independencia lógica**, que se refiere a la característica que la modificación de la estructura lógica general no afecta a los programas de aplicación; e
- 2) **Independencia física**, que se refiere a la característica de la posibilidad de modificación de la distribución y organización físicas de los datos sin afectar ni a la estructura lógica general ni a los programas de aplicación.

Por consiguiente, un **Sistema de Base de Datos** es un sistema de procesado de datos que utiliza una base de datos; y ésta, una colección

generalizada e integrada de datos gestionada de manera tal que satisfaga las distintas necesidades de sus usuarios.

Previamente deberá seleccionarse correctamente la base de datos adecuada con el fin de que realice lo que se requiere, así como prepararla tomando ciertas medidas para adaptarla a la aplicación.

IV.2.1 Tipos de bases de datos.

Como podrá entenderse, una base de datos es más que un gran depósito de entidades. Razón por la cual deberá identificarse previamente el tipo de base de datos que la empresa necesita. Esta clasificación de bases de datos comprende las siguientes dos categorías:

1) **Sistema de operaciones** (o **sistema supervisor**).- Aquel diseñado para el procesamiento rutinario de datos dando respuesta a una clase de averiguaciones limitada y preestablecida; es decir, ejecuta un conjunto de operaciones limitado y exactamente definido con requisitos de procesamientos previstos y programados en lenguajes convencionales de computadora. Esto hace que la búsqueda por lo general sea más rápida y efectiva, ya que la información está almacenada de la manera más adecuada de acuerdo a los requerimientos.

2) **Sistema de información** (o **sistema ejecutivo**).- Aquel diseñado para atender averiguaciones imprevistas o que no han sido previamente definidas a detalle. Por tal motivo, frecuentemente se necesitan prolongadas búsquedas para responder a interrogantes planteadas.

Eventualmente, la base de datos de un sistema de información contiene los mismos datos que la de un sistema de operaciones. Aunque los sistemas de información pueden tener información resumida o abreviada sin la totalidad de detalles característicos e indispensables de los sistemas de operaciones.

En cuanto al costo, este es mayor en un sistema de información, ya que resulta costoso mantener los datos al día, en cambio, los sistemas de operaciones emplean estructuras más sencillas con un diseño que hace fácil

y rápida la actualización; además la inserción de nuevos datos y la eliminación de datos viejos de un sistema de información implica una operación fuera de línea en base al sistema de operaciones, en cambio, con un sistema de operaciones, estas modificaciones pueden realizarse en línea (en tiempo real o de uso del sistema).

Debido a que uno de los objetivos de la organización de una base de datos es la disminución al máximo de la redundancia, y como la separación de los datos informacionales de los datos operacionales introduce redundancia en el almacenamiento, es necesario señalar que en atención a la rapidez del tiempo de respuesta, conviene al sistema duplicar ciertas porciones críticas del conjunto de datos y almacenarlas aparte, en la forma más condensada posible, con el fin de que el acceso sea inmediato cuando se requiera.

Además, dentro de estas categorías, se encuentra otra clasificación de los más recientes *tipos de bases de datos de acuerdo a la clase de datos que se manejan*:

- a) Bases de datos numéricas.
- b) Bases de datos de texto.
- c) Bases de datos de imágenes y/o dibujos.
- d) Bases de datos de voz.

Respecto a las bases de datos numéricas, el problema fundamental radica en la representación de grandes matrices, ya que para solucionar problemas de programación lineal cuyas restricciones implican un gran número de columnas y filas, existe una necesidad creciente y evidente de un almacenamiento compacto y de utilización selectiva.

De los sistemas de recuperación y tratamiento de documentos se encargan las bases de datos de texto, propiamente. En estos sistemas, la estructura lógica de la información suele considerarse como amorfa, ya que los tipos de registro son de longitud variable así como los datos elementales.

Las imágenes o dibujos de objetos gráficos y/o digitalizados, se almacenan en las bases de datos de imágenes o dibujos. Debido a que con frecuencia, los ingenieros y arquitectos, crean diseños asistidos por

ordenador (CAD); es posible que requieran de un sistema automatizado mediante el cual puedan almacenar y consultar sus diseños en bases de datos CAD.

En las bases de datos de voz se almacenan, se analizan, se combinan y se reproducen sonidos.

Cuando las preguntas de consulta a una base de datos implican cierto número de deducciones o inferencias; y por ello no puedan contestarse fácilmente mediante los lenguajes de consulta tradicionales de una base de datos; se usa un *Sistema de Base de datos de Conocimiento Inteligente* (IKBS: Intelligent Knowing Data Base System) que es un sistema experto sofisticado. En particular Prolog y LISP son lenguajes frecuentemente usados en Sistemas de Bases de datos de Conocimiento Inteligente. Las bases de datos inteligentes han llegado a ser un área interesante en la investigación en bases de datos.

IV.2.2 Procesamiento de datos.

El *procesamiento de datos* comprende la manipulación de los mismos a través de varios procedimientos que alteran su contenido o presentación. Debe recordarse que la clave para que la computadora resulte útil a la empresa consiste en lograr que presente información adecuada en la forma adecuada.

Con el procesamiento de datos, estos serán diferentes en apariencia y contenido con respecto a los originales; debido a la creación de nuevos datos a partir de combinaciones de datos en primera instancia (ocasionadas por relaciones observadas en dichos datos: el establecimiento de relaciones lógicas se adopta en este contexto como un método de clasificación de los hechos), o, por ejemplo, debido a transformaciones matemáticas de índole estadística. Lo anterior explica el hecho de que las compañías modernas consideren y necesiten cada vez con mayor frecuencia departamentos de procesamiento de datos y administradores de procesamiento de datos debido a la posible existencia de numerosas relaciones o interminables permutaciones de datos. Además, éstos pueden cuantificarse de varias maneras: por ejemplo, pueden realizarse conteos de frecuencia de un

determinado valor o tomar un determinado valor como medida relativa para determinar si un dato es mayor o menor que el número seleccionado, este criterio de selección es el más usado en una base de datos.

Debe tenerse siempre en consideración que una base de datos no resulta la herramienta ideal para un análisis estadístico de cualquier grado de complejidad. Por lo que, si el resultado estadístico representa gran parte del proyecto, se requiere de un programa especializado en cálculos estadísticos (los datos se obtendrían de una base de datos, se colocarían en una tabla para posteriormente introducirse en el software especializado en estadística). Sin embargo, en caso de que ocasionalmente se necesite algún tipo de estadística simple para examinar el contenido de los datos, ésta se podría obtener mediante una base razonable.

Por otra parte, también es importante señalar que en muchas ocasiones, el término *datos* se usa para referirse a toda la gama de hechos y cifras originales almacenados en la computadora; e *información* para hacer referencia al resultado del procesado de alguna cantidad de datos con el fin de satisfacer un requerimiento específico. Sin embargo, este punto de vista es en realidad relativo, ya que los datos que son procesados por alguna instancia de la empresa, pueden ser datos en bruto para otra; es decir, los mismos datos son objeto de diferentes clases de procesamiento en diferentes circunstancias.

IV.2.3 Función y objetivo de una base de datos.

La *función de una base de datos* es proporcionar un sistema mediante el cual puedan procesarse los datos, los hechos y la información expresados como números o palabras, de manera que le permita a las personas llegar fácilmente a la información y presentarla de una manera atractiva para los usuarios. Así, éstos tendrán la posibilidad de aprovechar la información al máximo y obtener de ella datos adicionales con mayor efectividad que los registros en papel o en una hoja de cálculo, sin que esto sea esencialmente un proceso completamente diferente. El punto esencial es probar el sistema con el fin de determinar si puede o no almacenar los datos de tal manera que produzca el tipo correcto de resultados a velocidad aceptable en vez de

buscar determinado estilo de base conocida o de fama.

El *objetivo de una base de datos* es servir a una aplicación o más de la mejor manera posible. En la mayoría de los casos, si la información disponible en una base de datos se encuentra en un curso de acción preescrito, el objetivo de la base de datos se perderá. De la misma manera, si la opciones para el usuario se listan en una serie de menús, entonces sólo habrán tantas opciones como las imaginadas por el diseñador de software o la que pudieran incluirse en el espacio disponible.

Además; para satisfacer los requerimientos de los diferentes usuarios, una base de datos ha de usar flexiblemente los datos y las estructuras de almacenamiento. Ya que en cuanto mayor sea su flexibilidad, mayor es la capacidad de la base de datos para poder hacer frente a las necesidades del usuario durante un largo periodo de tiempo.

Si se trata de una aplicación simple, será necesario adoptar una base de datos sencilla, y probablemente una accionada por menú sea la más conveniente; por otro lado, si se trata de un sistema en cierto grado complejo, resultará más probable la adopción de una base de datos más sofisticada y de un software original de apoyo. Aunque parezca ilógico, sin duda, mientras más complicado sea el sistema, más importante será hacer que el sistema sea más fácil de manejar.

Si se programa mediante el uso de un *lenguaje de computadora* (*lenguaje anfitrión* o *host language* en inglés) o de una base de datos capaz de almacenar comandos, la creación de menús es relativamente sencilla una vez que se capta el objetivo del menú. El término *interactivo*, en computación, se refiere al hecho de que el usuario interactúa con la computadora instrucción por instrucción con un determinado fin.

Un lenguaje anfitrión es aquel como Visual Basic, que se amplía especialmente para permitir transacciones de datos. *Transucción* es el término definido en computación como la menor unidad de un programa de aplicación que extrae un conjunto consistente de datos de la base de datos (transacción de recuperación) o que la deja en un estado libre de error (transacción de actualización). Y se describe con una o más instrucciones del lenguaje de programación anfitrión.

En lo que respecta a la *transferencia de datos* a otros programas, resulta absolutamente esencial elegir una base que contenga datos de manera tal que su acceso sea razonablemente fácil, lo mismo que su consulta, su transferencia y su uso por otros programas; debido a que siempre existirán momentos en que será mas conveniente usar otro programa o paquete para ampliar la utilidad de los datos recopilados en la base.

Otro objetivo referente a la organización de las bases de datos, es el de eliminar los valores redundantes, ya que de esta manera será posible controlar las incoherencias que pueden ocasionar este tipo de datos. Con tal fin, deberán indentificarse los datos comunes para varias aplicaciones y almacenar una sola copia de ellos; sin embargo, como de esta manera resulta preciso almacenar y mantener las relaciones absolutamente necesarias, es esta la razón por la cual no siempre resulta razonable eliminar toda la redundancia del sistema.

IV.2.4 Componentes y características de una base de datos.

Características indispensables de una base de datos son el ofrecer un método fácil para captar los datos y otro para sacarlos nuevamente. Aunque sea fácil de llenar, si no ofrece un sistema para obtener la información en el momento o fecha posterior requerida, su utilidad será irrelevante. La capacidad de captación de datos es un criterio necesario, aunque no suficiente.

En cuanto a la recuperación de la información, el primer requerimiento es la capacidad de volver a examinar siempre cualquier parte de la información que se haya almacenado en la base y la inspección de la misma ya sea en el orden en que fueron insertados los datos o en uno nuevo bajo algún criterio de clasificación que se haya programado. El número de criterios en diversas presentaciones de los datos por lo regular puede ser muy grande, aunque debe tenerse cuidado ya que mientras más grande sea este número de criterios de selección, mayor será el tiempo que el sistema requiere par eliminar los registros que no cumplen el criterio.

Recordemos que en términos de un arreglo, de una matriz o de una tabla, nos referiremos correctamente a una base de datos mediante el término

relación. Así una relación de dos es bidimensional y los datos con tres dimensiones se denominan longitudinales, en éste último caso nos referiremos a una base de datos de tablas o archivos relacionados. Esto es, en una tabla o archivo, por ejemplo, se guardarán los datos de personas y en otro vinculado al primero (por ejemplo por la fecha), información adicional recopilada en fechas posteriores. Así se tendrá acceso a los registros para cada persona en cada fecha. Las respuestas de la búsqueda y procesamiento de datos estarán determinadas por el uso que se les quiera dar, por ello debe llevarse previamente una cuidadosa consideración de los datos y un establecimiento correcto de las relaciones entre los mismos.

En el modelo relacional, se llama *tupla* o *registro* a cada fila de una tabla la cual está formada por varias *columnas* o *atributos* que especifican los valores de cada una. Tal definición se toma del concepto de grupos donde un grupo de n elementos es una n -tupla; y una relación de n columnas cada fila o tupla es una n -tupla. El número de filas o tuplas de una relación es su *cardinalidad*, y el número de columnas corresponde a su *grado*. Una relación de grado 1 se denomina *unaria*, a una de grado 2 *binaria*, a una de grado 3, *ternaria*, y en general a una de grado n , *n-aria*.

Las tuplas de una relación deberán identificarse de forma única por una o más claves, para lo cual el contenido de cada atributo debe ser no redundante. Dichas claves se denominan *claves candidatas* y a la clave elegida para identificar una tupla para una relación se denomina *clave primaria*. En principio, cada relación debe tener una clave primaria. Por consiguiente, otra restricción del modelo relacional es que una clave primaria no puede tener valores nulos, ya que un valor nulo no puede identificar una tupla. Esto se denomina *integridad de entidad*. Si un atributo o colección de atributos de una relación contiene el valor de clave primaria de otra relación, a ese atributo o colección de los mismos se denomina *clave externa*. Los valores posibles de una clave externa son el valor de la clave primaria o un valor nulo; lo cual se conoce como *integridad referencial* debido a que los valores se obtienen por referencia a los valores de clave primaria de otra relación. De esta manera, *clave* es el atributo o conjunto de atributos que la computadora utiliza para identificar un registro. Clave

primaria es aquella usada para definir unívocamente un registro; y *clave secundaria*, aquella que no identifica registros únicos, sino aquellos que cumplen con cierta propiedad.

La *función generadora de formas* es un recurso de las bases de datos que permite al usuario crear una forma en lenguajes anfitriones, para que aparezca en la pantalla como la imagen de una forma de papel. El cursor guía al usuario a través de la forma y pasa al siguiente campo cuando se termina la inserción en el anterior. El usuario es conducido por toda la pantalla de encabezado a encabezado siguiendo el orden de captación de las entradas. Un campo puede tender un atributo que haga obligatoria una entrada, por ejemplo, el campo para un número de cliente impediría pasar al cursor al siguiente encabezado si no se ha realizado su inserción. El establecimiento de atributos y la validación de las entradas de los campos es una medida que ayuda a la rápida y precisa captación de los datos. Otra medida es la de los valores de inicio, que se refiere a aquel valor o valores que el sistema adopta automáticamente a falta de uno proporcionado por el usuario, y sólo podrá cambiarse si se introduce otro en su lugar. Este último recurso resulta útil para acelerar las entradas en las que determinada respuesta es más probable que otra y también para proporcionar un valor faltante establecido que por alguna u otra razón no pudiera localizarse. Debido a que el dejar espacios en blanco dificulta la manipulación correcta de los datos por la razón de que algunos tipos de software insertan un 0 para indicar un espacio y otros no: es común usar el número 9 tantas veces conforme el tamaño del campo. Los espacios son poco impredecibles, por lo que es mejor contar con un valor real para posteriormente apartar los registros que no tengan el valor faltante o un valor que indique que faltan datos y realizar los cálculos con los buenos.

La *depuración* es la corrección de los datos de entrada por lo que deberá adoptarse una base de datos que cuente con esta capacidad. La mayoría de estos tipos de errores surgen por errores mecanográficos o por desplazamiento de los datos (colocados bajo el encabezado incorrecto). En este caso debe verificarse que el rango de respuesta, si es numérico, tenga sentido así como verificaciones de contenido lógico, por ejemplo; esto es, la

respuesta a una pregunta previa debe corresponder a una determinada categoría.

Una **tabla de consulta** es una lista o tabla de información almacenada por separado, en la que se buscan ciertas partes inalteradas de información a manera de consulta. Se trata de información independiente de lo almacenado en otras tablas que se estén usando, con propósitos de verificación.

Otra característica esencial de una base de datos es su capacidad de proporcionar un **método de reorganización de datos** de acuerdo con las necesidades particulares, por lo que los diversos métodos o algoritmos para lograrlo dependerán de la programación del analista y estarán expuestos a discusiones con los administradores de la empresa, quienes a fin de cuentas serán los usuarios potenciales del sistema. Debido a que, como es de suponerse, al usuario sólo le interesa que el método sea bueno y como cualquier método funciona bien cuando se manejan pequeñas cantidades de datos ya que no se prueba adecuadamente: deberá verificarse con el proveedor que la base se ha usado o probado en grandes aplicaciones.

El despliegue de los datos también se manifiesta en la forma de **reportes**, cuya elaboración de los mismos involucra la presentación de resultados impresos de datos de interés u operaciones, de resultados dispuestos de manera atractiva o que se ajusten a los requerimientos del usuario, éste deberá tener la capacidad de dar instrucciones a la base de datos acerca de cómo habrán de desplegarse los datos referidos.

En cuanto a la **protección de datos**, esta es otra característica imprescindible que una base de datos debe presentar, e implica 3 tipos de seguridad:

- **Seguridad Física**, que se refiere a la protección de los dispositivos de almacenamiento y del equipo de comunicaciones contra los desastres naturales, robo, fuego, accidentes, polvo, etc. El director de la instalación será el responsable de este tipo de seguridad del sistema.
- **Seguridad Operacional**, que se refiere a la protección de integridad, la cual implica la protección de los datos frente a errores (como la prueba de rango de valores de entrada, que asegura que un valor de un dato elemental

único, o un conjunto de valores combinados tomados como destino, caigan dentro del rango especificado de valores permisibles); y a la fiabilidad o confiabilidad en la base de datos, ya que implica el mantenimiento de una base de datos correcta y completa, a pesar de pérdidas y daños de los datos; ordinariamente, se logra reteniendo periódicamente una copia previa de la base de datos, con el fin de que con la ocurrencia de una falla, se vuelva a crear la base de datos a partir de la copia disponible más reciente. Debido a que este último proceso puede consumir bastante tiempo y capacidad de la base de datos, se debe realizar un vaciado periódico de la base de datos, normalmente cuando se está inactiva. Y la existencia del archivo log (archivo de vaciado incremental de actualizaciones de los datos), que contenga los ítems de la base de datos anteriores a un cambio con fines de recuperación en caso de error.

- ***Seguridad de Autorización***, que se refiere a la protección de la privacidad de los datos (confidencialidad) frente a utilización no autorizada. La base de datos deberá contar con la facultad de ejercer el control en varios niveles por medio de códigos de acceso específico o contraseñas.

Debido a que una vez que se implementa una base de datos es muy difícil modificarla (si es que no se construye una nueva, lo cual implicaría pérdida de tiempo y mayor costo), deberán asegurarse ampliamente los siguientes ***aspectos en el diseño*** con el fin de minimizar los inconvenientes de modificación y así facilitar las modificaciones posteriores en una base de datos:

- ***Versátil en la representación de relaciones***; es decir, deberá ajustarse con el fin de mejorar el rendimiento cuando se cambie el uso de los datos, lo cual se logrará mediante un seguimiento o monitoreo del rendimiento el cual implica recopilar estadísticas sobre el mismo así como análisis de las mismas. Al respecto, el administrador de la base de datos necesita realizar regularmente operaciones de eliminación, para dejar libre el espacio ocupado por los datos borrados, y reorganizar los datos existentes aumentando así la eficacia al incrementar el espacio libre disponible. Las estadísticas de uso obtenidas deberán analizarse con el fin de reorganizar el

esquema de almacenamiento con vista hacia un rendimiento óptimo de la base de datos. Y también deberá permitir alterar el esquema conceptual cuando la empresa cambie la forma de ver los datos mediante la reestructuración de la base de datos la cual implica cambios a nivel lógico.

- **Desempeño:** deberá permitir que se agreguen nuevos sistemas conforme se requieran, lo cual implica una reorganización de la base de datos a nivel de almacenamiento físico; así como asegurar un tiempo de respuesta adecuado entre el usuario y la terminal: capacidad para realizar un adecuado caudal de transacciones.

- No debe olvidarse el aspecto de proporcionar *documentación de la base de datos*, ya que su existencia es la clave para el uso eficaz de los datos en la misma. El término empleado para este compendio es el de *diccionario de datos*, que implica un soporte de toda la información necesaria para los usuarios y el sistema; como se indicó respecto a la descripción de datos en el rubro Definición. En este compendio se almacenan las definiciones de los datos (nombres, longitudes y descripciones), sus significados, restricciones de uso y estatus de autorización, códigos fuente y objeto de programas, utilidades (entradas de vaciado, impresión y edición; rutinas de seguimiento y análisis; rutinas de reorganización de índices y sus desbordamientos; así como rutinas que suprimen físicamente de los dispositivos de almacenamiento los registros borrados con el fin de consolidar el espacio liberado y reasignarlo donde se requiera), herramientas de diseño, procedimientos de bases de datos, así como información de control administrativa y de tiempo de ejecución, estadísticas de uso, facilidades de copias de seguridad, etc.

Los diccionarios de datos, pueden realmente llegar a formar los fundamentos para el control efectivo de los sistemas de bases de datos. Además, podría ser necesario que éste incluyera una lista de sinónimos atendiendo a las ocasiones en que diferentes departamentos de una empresa tienen nombres y representaciones propias para los mismos conjuntos de datos. Los analistas de sistemas deberán evitar las estructuras de datos que resulten difíciles de modificar o que inhiban los tipos de evolución que

conducen la combinación de distintas bases de datos y sus aplicaciones.

IV.2.5 Ventajas de un sistema de gestión de bases de datos con respecto a un sistema convencional.

-Independencia de datos y programas; que permite ahorrar tiempo y dinero en la modificación del sistema, ya que será posible alterar independientemente uno del otro tanto a la base de datos como al programa de usuario manteniendo su consistencia. Como ya se indicó, la **independencia lógica de los datos** se refiere a la posibilidad de agregar nuevos campos a un registro sin afectar a los programas de aplicación existentes que usen esos registros. Y la **independencia física de los datos** a la no alteración, en todo caso al mínimo, de los programas de aplicación cuando se introduzcan cambios en la organización física de los datos o en el hardware del sistema. Esto debido a que cuando las necesidades de información de un programa de aplicación cambien, dicho cambio puede exigir la modificación de la descripción lógica global de los datos, pero no debe dar lugar a la necesidad de modificar otros programas.

-Fácil diseño de sistemas; lo cual implica una ventaja para el programador de sistemas ya que no tendrá que preocuparse por la creación de extensos ficheros, en la duplicación de datos, en el mantenimiento ni en las facilidades de copia de seguridad debido a que la base de datos puede ser programada con tales fines. Además, en la base de datos del sistema ya se presentarán en una forma apropiada todos los datos para todas las aplicaciones; de esta manera, el diseñador solo tendrá que escoger la que necesita.

-Fácil programación; el término programación en este caso se usa para referirnos al código fuente del programa de aplicación. Esta ventaja permite que los programadores de una base de datos sean relevados de los detalles de procesos tales como la ordenación, actualizaciones múltiples y depuración de las mismas, por ejemplo. Sin embargo, el programador necesita someterse a rigurosos controles referentes a codificación, validación de datos y comprobación de programas.

-Existencia de múltiples lenguajes anfitriones; ya que el sistema de gestión de base de datos permitirá el uso del lenguaje anfitrión que se considere más conveniente para la aplicación en particular.

-Datos consistentes y actualizados; ya que una base de datos reduce al máximo la duplicación de datos y ayuda a mantenerlos consistentes y actualizados. Para ello es preciso identificar los datos que son utilizados en común por varias aplicaciones y almacenar una copia de ellos de manera que nunca se pierdan los datos y puedan recuperarse (reconstruirse) en caso de contingencias. Se recomienda que los datos sean sometidos a auditorías frecuentes con el fin de evitar errores y delitos. En cuanto a la privacidad, el sistema debe diseñarse a prueba de intromisiones y ser capaz de verificar que sus acciones han sido autorizadas.

-Utilización concurrente; que permite la maximización de la utilización de recursos, ya que la base de datos permitirá que varios usuarios la consulten a la vez e incluso con diferentes programas que se hayan establecido.

-Protección de los datos; ya que una base de datos permite que se controlen más efectivamente la privacidad e integridad de los datos. Debido a que incluye información usada por muchos usuarios y por ello pudieran destruirse los datos almacenados o las relaciones entre los mismos; el almacenamiento de los datos y los procedimientos de actualización e inserción deben asegurar que el sistema pueda recuperarse de contingencias sin daño para los datos.

-Facilidades de interrogación; que la base de datos proporcionará a un alto nivel.

-Sistema evolutivo; que concierne a la ventaja que una base de datos proporciona respecto a la optimización del rendimiento total de la misma, ya que se espera que el usuario aprenda gradualmente de su experiencia y que con el tiempo se proporcionen facilidades para reorganizar la base de datos. Sin embargo, una base de datos, presenta las desventajas enlistadas a continuación.

IV.2.6 Desventajas en la implementación de una base de datos.

La desventaja principal es el costo, ya que su instalación, funcionamiento, mantenimiento e implementación pueden resultar costosos para la empresa. Los principales factores del mismo son:

El requerimiento de gran memoria para albergar las rutinas, los programas de aplicación, las tablas de la base de datos, los directorios, los búferes del sistema, etc, además del sistema operativo anfitrión. Así como de dispositivos de almacenamiento especiales y de gran capacidad. Además también puede requerirse de capacidad adicional del canal de entrada/salida con el fin de tener suficiente potencia para hacer frente al incremento de movimiento de datos entre la base de datos sobre los dispositivos físicos de almacenamiento y la memoria del ordenador.

Inclusive la velocidad de procesado, y en específico la velocidad de actualización pudieran verse afectadas presentando lentitud debido a implementaciones adicionales en la base de datos.

Además, debido a que una base de datos necesita personal adicional para su administración, se requerirá de adiestramiento e incluso de personal adicional, dependiendo de la capacidad de la base de datos. E incluso cambios posteriores en la base de datos ocasionados por la adición de programas o una nueva estructura de datos; si es que no se tomaron las medidas de minimización de inconvenientes para la facilidad de modificaciones en una base de datos, que se mencionaron anteriormente; podrían provocar que la base de datos resultara incompatible para usos posteriores.

Sin embargo, es sumamente probable que la empresa u organización que instale y utilice satisfactoriamente una base de datos durante cierto tiempo, olvide el coste y considere únicamente los beneficios que su base de datos le otorga. No debe olvidarse que en realidad una base de datos no ahorra dinero, pero puede producir más dinero.

IV.2.7 Justificación de la implementación de una base de datos.

Debido a que preparar cualquier operación en una computadora toma tiempo, en particular, es importante que se justifique la implementación de una base de datos computacional por el uso que se le dará y por la presencia de alguna o ambas de las siguientes dos características importantes en una empresa:

- 1) gran cantidad de información; o
- 2) información compleja y la posibilidad de que su uso sea relativamente frecuente.

Con el fin de decidir la forma de almacenamiento más adecuada para el conjunto de datos, primero debe corroborarse que existe una relación constante entre conjuntos de datos y que su almacenamiento en una computadora resultará benéfico. Por ello, si se concibe que la base de datos que se pretende implementar es capaz de almacenar la información de manera muy similar a la ya conocida por el usuario y que sin duda le será de gran utilidad, deberá implementarse el sistema de base de datos; atendiendo así a la función esencial de la misma.

La labor del analista comienza tan pronto la alta dirección de la empresa toma la decisión de implementar un sistema de base de datos. De esta manera, la primera tarea consiste en establecer un conjunto de criterios de selección basados en la evaluación de las necesidades presentes y futuras de la empresa. La elección del DBMS frecuentemente está condicionada por el hardware disponible, y obviamente se tendrá preferencia por los DBMS independientes del ordenador, ya que permiten el cambio de éste, cuando sea necesario, sin tener que cambiar también el DBMS.

Además, se contribuirá a la flexibilidad en la estructura de los datos mediante la estructura correcta de los mismos junto con sus relaciones naturales entre ellos; ya que una base de datos debe representar adecuadamente todas esas relaciones entre datos, junto con las restricciones de privacidad e integridad (restricciones de uso) para la protección de datos contra usos no autorizados y actualizaciones no deseables. Mediante las estructuras de apoyo (caminos de acceso como claves) podrá conseguirse

una mayor capacidad de procesado eficiente. Cada establecimiento de relación entre datos conduce a una combinación diferente de atributos y por tanto, a diferentes relaciones entre registros.

En realidad, el analista tiene que trabajar por ciclos, es decir, tiene que volver sobre los mismos datos muchas veces, hasta lograr una decisión global satisfactoria. También debe considerar la pérdida de datos, las posibles adiciones, los cambios y el crecimiento, además de las consecuencias de la decisión actual sobre el uso futuro. La elaboración del diccionario de datos a partir de este momento resultará muy útil para éste análisis y suministrará el fundamento para futuros análisis. Así, una vez que se completa el análisis, se comienza el diseño del esquema de la base de datos, dependiente del modelo establecido por las relaciones descubiertas entre los datos, con la ayuda de las herramientas de diseño disponibles.

La sofisticación creciente de las grandes computadoras trae consigo la creación de áreas de aplicación cada vez más complejas. Cualquiera que sea la razón, siempre habrán situaciones y sus datos deberán almacenarse en una base de datos. Existen muchas compañías cuyo sistema no se ajusta totalmente a las expectativas estándar de una base de datos. En este caso es mejor contar con una base de datos que con un sistema hecho a la medida. La búsqueda mediante computadoras es casi siempre más rápida. Es posible suponer que cuando una colección de información no puede buscarse a mano muy rápidamente, podría manejarse mejor mediante la implementación de una base de datos en una computadora. Así, un sistema de base de datos examinará cuidadosamente y enumerará todos los casos que cumplan las especificaciones, de acuerdo a las relaciones entre los datos que el analista haya previamente estipulado. Entonces será posible buscar, seleccionar y formar un índice para una rápida búsqueda, con el fin de diseñar un despliegue en pantalla y/o impreso adecuado conforme los requerimientos. Aunque en sofisticación matemática las bases de datos no se encuentren ubicadas como la última palabra al respecto, cada día se mejoran debido a que la mayoría de los datos que requieren las matemáticas aplicadas (como es el caso del presente trabajo de tesis) también necesitan las capacidades de la base para ser manipulados.

El uso de una base de datos no siempre es lo óptimo a pesar de que facilita el trabajo. Si ya se dispone de una para otra aplicación, podría resultar conveniente y económico estudiar la posibilidad de complementar la misma con lo que actualmente se requiere; en vez de gastar mucho dinero en la adquisición de otra en la que además se puede dedicar mucho tiempo para aprender a usarla en forma efectiva. Una base de datos capaz de vincular la información de diferentes niveles podría manejar la base de datos arriba descrita.

La ventaja de una base de datos radica en su posibilidad de ajuste a las necesidades específicas y su uso incluso para otro tipo de cosas muy diferentes. También, en general, resulta más económica que un paquete especializado debido a que uno mismo lo adapta y también porque un paquete de propósito general se vende en grandes cantidades, independientemente de su calidad.

Es difícil encontrar un paquete de aplicación estándar, y complicado cambiar un programa hecho y escrito a la medida si más adelante se verifica que hay errores en éste. Una base de datos tiene la virtud de ser más flexible y fácil de cambiar que las otras alternativas, sobre todo si uno mismo se enfrenta a los problemas y conoce el sistema. No se requiere que un programador use una base de datos, si ésta es buena y tiene documentación razonable. Es decir, en muchos casos, no se necesita un especialista para preparar una base de datos siempre y cuando el usuario realice ciertos trabajos preliminares mientras aprende a usar las características de la base (capacitación y conocimiento de la documentación que debe proporcionársele). Todo depende de lo que se pretenda realizar.

Se define a un *administrador de base de datos* como aquella persona responsable de la base de datos en una organización, normalmente debe ser una persona experimentada, y de preferencia involucrada desde el principio en el proceso de selección de la base de datos. Como anteriormente se indicó, la idea básica de la implementación de una base de datos es que los mismos datos deben ser aprovechados por el mayor número de aplicaciones que sea posible. Por ello, es usual concebir a una base de datos como un depósito o reunión de la información necesaria para el ejercicio de las

funciones de la organización o empresa de la cual forma parte. Se pretende con esto que la base de datos permita no sólo la lectura o la consulta de datos, sino la modificación continua de datos (procesamiento) necesaria para el control de las operaciones. De esta manera será posible inspeccionar la base de datos en busca de información importante y organizada que servirá a varios departamentos con la posibilidad de no considerar fronteras administrativas.

Al final de cuentas, la base de datos que se implemente, será uno de los activos más importantes de la empresa. Y su introducción en la misma cambiará la actitud de la organización hacia los requerimientos y gestión de datos, creando nuevas autoridades lo que implicará nuevas especializaciones, requiriéndose, por consiguiente, una mayor coordinación entre los distintos departamentos de usuarios y más estricto ajuste a los estándares. Un buen esquema de implementación deberá incluir la previsión conveniente para abordar dichos aspectos, así como la planificación para el desarrollo del sistema, distribución y manejo óptimo de los recursos. El administrador de la base de datos realizará esta labor, de la cual dependerá el aprovechamiento exitoso del nuevo activo de la empresa. Si se trata de una base de datos pequeña, la función del administrador de la base de datos puede llevarse a cabo por una sola persona como un trabajo a tiempo parcial, pero cuando en la base de datos se guarden centralizados todos los datos de la compañía o de ciertos departamentos en particular, dicha responsabilidad requerirá la labor de tiempo completo de un equipo administrador de la base de datos, en representación de la compañía con vistas a preservar los intereses de los usuarios actuales y futuros. Por consiguiente, las actividades de la labor de un administrador de bases de datos (una sola persona o un equipo) son: la creación de la base de datos, la optimización de su rendimiento, la protección de los datos, la especificación e imposición de estándares (áreas de establecimiento de estándares: validación de datos, actualización, comprobación de programas, códigos de privacidad, documentación); así como la coordinación y provisión de la facilidades de usuario, ya que el administrador de la base de datos es el elemento de control entre la base de datos y los usuarios. Incluso

se recomienda constituir una comisión de coordinación formada por los departamentos de usuarios, que sirva como medio de manifestación de quejas y sugerencia de mejoras, etc., lo cual contribuirá a una mejor observación y evaluación de las interacciones entre la base de datos y los usuarios, aspecto clave de todo el estudio, lo cual también deberá documentarse.

IV.2.8 Software para bases de datos.

Actualmente existen en el mercado los siguientes sistemas de gestión de bases de datos:

Lenguajes relacionales.

SQL.

Fox Pro

Datawarehouse

Dbase

Oracle

JDBC

Access

IV.2.9 Proceso de selección de una base de datos.

Debe siempre recordarse que para lograr una implementación eficiente que armonice la potencia de un lenguaje relacional se requiere de la solución previa de una serie de problemas relacionados con la optimización.

Paso 1. Organizar una comisión de selección que evalúe técnicamente los productos disponibles en el mercado así como los requisitos actuales y futuros de la organización. Si la empresa no cuenta con este tipo de expertos, será necesario solicitar un servicio externo al respecto. Es de crucial importancia no ser pionero, pues el riesgo es grande.

Paso 2. Establecer los requisitos y solicitar ofertas de los vendedores de bases de datos.

Paso 3. Seleccionar los mejores sistemas de gestión de bases de datos (normalmente el establecimiento de los criterios de selección al respecto se

basa en los requisitos de los usuarios).

Los *criterios de decisión de una base de datos* son los siguientes:

- El *grado de flexibilidad del sistema existente* para poder con el volumen creciente de datos y con la demanda creciente de información, así como la necesidad de integración de los sistemas relacionados con el deseo de minimizar el coste del desarrollo y mantenimiento de programas. Gracias al progreso tecnológico, el costo de almacenamiento está decreciendo rápidamente, sin embargo, con el costo de programación no ocurre lo mismo, por lo que existe una necesidad creciente de mantener sencilla la programación de aplicación y, por tanto, de un diseño lógico de la organización de los datos con tal objetivo.
- La necesidad de suministrar un *mejor y más rápido manejo de la información* y la posibilidad de *soportar sistemas en línea*.
- *Eficiencia de procesado*, la evaluación del parámetro velocidad deberá realizarse sometiendo el DBMS a un banco de pruebas creando una base de datos representativa.
- *Facilidad de instalación*, ya que es un reflejo de la complejidad del DBMS. Además, toda instalación debe garantizar la integridad de la información que almacena.
- *Lenguajes de consulta y anfitriones soportados* y la facilidad relativa de su uso. Las complejidades de los comandos y el trabajo adicional requerido por el programador para asegurar la integridad de los datos, determina la facilidad de programación
- El tamaño de la *memoria del ordenador* deberá permanecer claramente dentro de un límite prescrito.
- El *horizonte de tiempo*, ya que para un desarrollo a largo plazo, deberán preferirse los modelos de red y relacionales.
- *Calidad de la documentación disponible*.

Paso 4. Evaluación detallada de los productos restantes mediante un estudio comparativo de las características, rendimiento y facilidades de soporte de

cada uno, con vistas a satisfacer los criterios de selección establecidos. La eficiencia de procesamiento esperada constituye uno de los factores más importantes en la selección de una base de datos en particular.

IV.3 Obtención de pronósticos como entrada del modelo matemático.

IV.3.1 Organización de datos con fines de pronósticos.

Los datos de interés para una empresa real en particular han sido recolectados cada día, mes y año, y se han reunido en series de tiempo de datos mensuales desde el segundo semestre del año 1999 hasta el primero del 2001.

Los datos recolectados por la empresa de las compras realizadas a cada proveedor se encuentran en hojas de cálculo de Microsoft Excel: Pon1999a.xls, SCYPM1999a.xls, Pon2000a.xls y SCYPM2000a.xls en estos documentos se encuentran también datos adicionales de las compras imprevistas realizadas a proveedores distintos.

Tales datos originales se han organizado de acuerdo al tipo de producto pedido por mes. Y se han calculado los totales de kilogramos pedidos primero para cada tipo de producto por proveedor, cuyos resultados se encuentran en las hojas de cálculo: Pon1999.xls, SCYPM1999.xls, Pon2000.xls y SCYPM2000.xls. Posteriormente, en la hoja de cálculo DatosOrganizados.xls se muestra la suma total de kilogramos pedidos, sin considerar el proveedor, de cada producto por mes durante los semestres mencionados.

Los datos de este último documento se han analizado para descubrir patrones pasados de crecimiento y cambio que se puedan emplear para predecir patrones futuros junto con las necesidades para el funcionamiento óptimo de la empresa.

En la siguiente tabla se muestran los datos organizados con fines de pronósticos:

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

Año	Mes	Compras								
1999	Julio	10692	5667	190394	367551	112206	119969	34638	0	18373
	Agosto	5735	85403	502994	146097	43143	14043	26461	32894	51523
	Septiembre	2987	17828	566894	158369	44647	28259	108104	0	14997
	Octubre	0	22607	494894	231561	11413	27116	44609	3964	11055
	Noviembre	0	18110	165494	168786	19628	66254	86045	2321	10703
	Diciembre	30782	47934	411194	119040	90757	122792	43830	80309	29289
2000	Enero	0	27677	528194	205360	61901	24289	73970	0	2484
	Febrero	4872	14032	526094	37064	174260	129273	119883	2974	3189
	Marzo	2024	30864	169094	177928	176111	192613	46502	31870	0
	Abril	14059	21529	484094	99490	212620	120362	36124	62957	0
	Mayo	0	18494	643994	120157	110529	64844	22942	19965	0
	Junio	12206	99212	608594	251298	8448	134006	18090	18508	0
	Julio	0	107160	253994	89853	140528	107243	23397	22418	0
	Agosto	9616	53911	715394	35880	233461	67894	33383	0	2974
	Septiembre	4193	109160	928094	158693	120563	71836	44221	40204	0
	Octubre	3861	28110	960494	136693	68763	151265	8500	23014	12981
	Noviembre	10981	55362	526694	162907	50998	66019	13409	3659	0
	Diciembre	0	11191	950894	83494	131037	95450	75417	25855	11311
2001	Enero	16680	31423	1141394	141501	125374	116250	0	63165	2814
	Febrero	3295	4595	1186694	175207	290469	75243	38515	0	0
	Marzo	22209	42819	540794	316420	71098	123981	7316	68630	0
	Abril	70639	19957	955394	131032	177127	37799	107367	7016	7849
	Mayo	1330	59103	981494	160577	185953	49251	7898	40306	5884
	Junio	92569	10228	905294	185581	97983	77332	11786	71444	0

Recordando que una serie de tiempo es una secuencia ordenada de observaciones sobre una variable en particular. Como se indicó en el Capítulo 3, el análisis de series de tiempo no proporciona la respuesta de lo que depara el futuro, pero resulta valioso en el proceso de pronósticos y ayuda a reducir errores en ellos.

La generación de un pronóstico preciso y útil implica dos consideraciones

básicas:

- 1ª. Reunir datos que sean aplicables para la tarea de pronóstico y que contengan información que pueda producir pronósticos precisos.
- 2ª. Seleccionar una técnica de pronóstico que utilice al máximo la información contenida en los datos y los patrones que estos presenten.

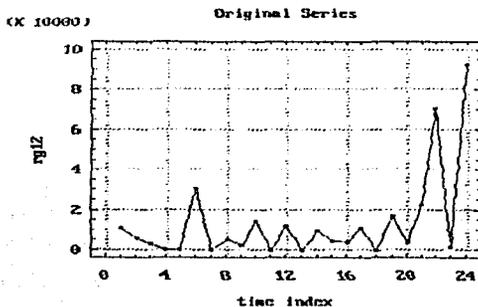
Pasos en la formulación de pronósticos:

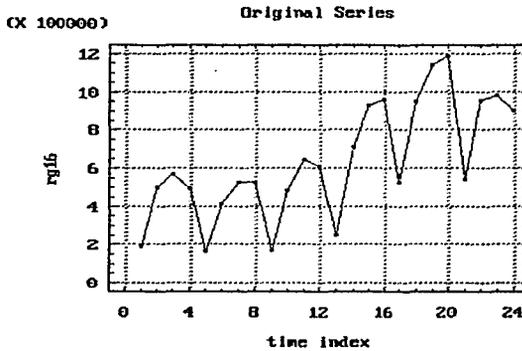
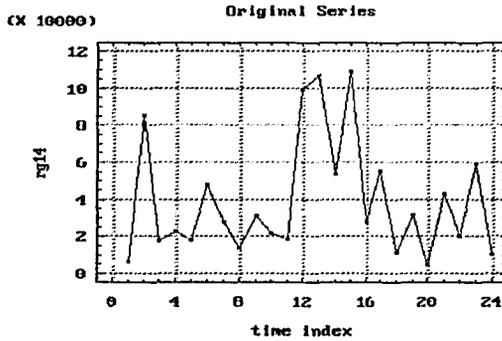
1. Recolección de datos.
2. Reducción de datos, donde empieza la importante tarea de explorar los patrones de datos.

La observación de los datos, el número disponible de los mismos, la comprensión de lo que sugieren y el uso de varios métodos gráficos para obtener una mejor visión en el proceso que los genera proporciona la elección de un método adecuado y útil de predicción.

Las gráficas que se presentan a continuación describen el comportamiento de la cantidad de compra adquirida durante los semestres bajo estudio (último de 1999 hasta el primero del 2001). Éstas fueron realizadas en StatGraphics, software estadístico que también se ha proporcionado a la empresa.

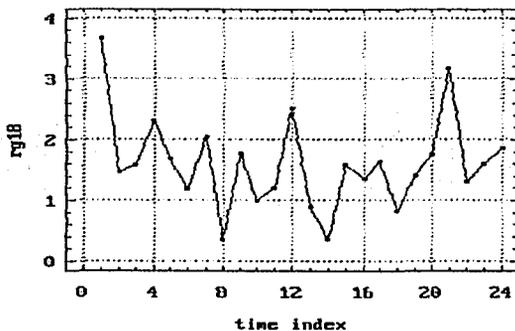
GRAFICAS





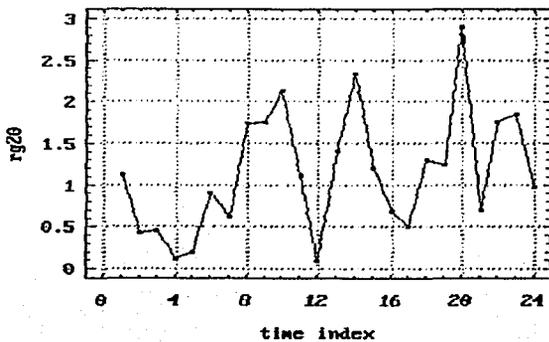
(X 100000)

Original Series



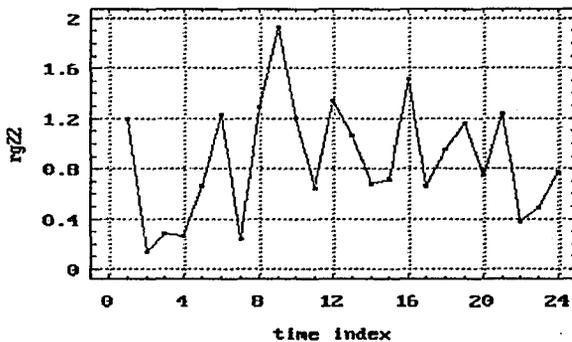
(X 100000)

Original Series



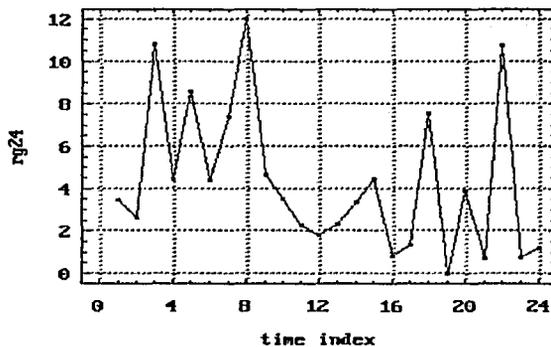
(X 100000)

Original Series



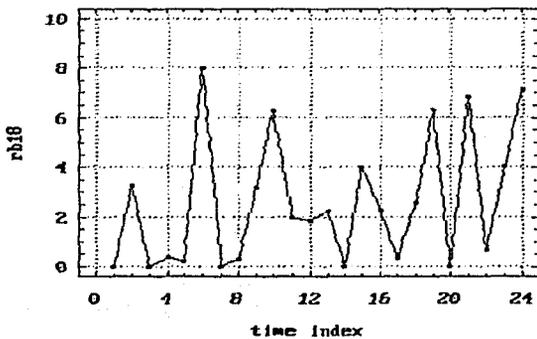
(X 10000)

Original Series



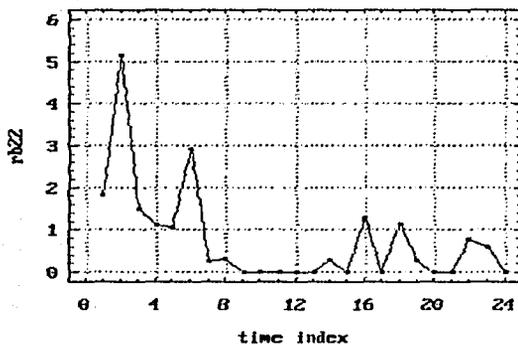
(X 10000)

Original Series



(X 10000)

Original Series



Debido a que el número de datos de cada serie es pequeño se decidió no hacer uso de la metodología de Box-Jenkins del software estadístico StatGraphics. Por consiguiente se aplicarán, posteriormente al estudio de aleatoriedad de las series, las técnicas de promedios móviles seleccionando la adecuada conforme a los patrones que cada serie presente. Como también se indicó en el Capítulo 3, no es recomendable limitarse a una sola técnica, y por consiguiente, los auxiliares para elegir los resultados de una sola técnica en particular (evaluación de lo adecuado de cada técnica de pronóstico para poder tomar una decisión) serán los cálculos de los errores de pronóstico.

IV.3.2 Desarrollo de los pronósticos.

Primero identificamos si existe o no autocorrelación en cada una de las series de tiempo correspondientes a cada uno de los productos adquiridos. Para identificar si las compras sucesivas de cada producto están de algún modo correlacionadas unas con otras, desfásamos cada serie un período y obtenemos el coeficiente de autocorrelación de primer orden. Debido a que la cantidad de operaciones involucradas es grande, se recomienda realizar los cálculos en algún software estadístico como Minitab, incluso Statgraphics también dispone de esta herramienta; y si no se dispone de alguno, en algún software de hoja de cálculo, como Microsoft Excel. Como ejemplo a continuación se presentan los cálculos realizados para obtener el coeficiente de autocorrelación del producto 14RG así como su análisis. Para los productos restantes se muestran únicamente los resultados y su análisis respectivo. Todos estos cálculos fueron realizados en Microsoft Excel, con el fin de ilustrar las operaciones matemáticas que se realizan, y se incluyen en el documento DatosOrganizados.xls.

IRG
Compras

Y_t	Y_{t-1}	$Y_t - MEDIA$	$Y_{t-1} - MEDIA$	$(Y_t - MEDIA)^2$	$(Y_t - MEDIA) \times (Y_{t-1} - MEDIA)$
5967	----	-33311.08	----	1109628251	----
85403	5967	46124.917	-33311.083	2127507968	-1536470939
17828	85403	-21450.08	46124.917	460106060.7	-989383298
22607	17828	-16671.08	-21450.083	277925008.4	357596114
18110	22607	-21168.08	-16671.083	448087737.9	352894868.6
47934	18110	8655.917	-21168.083	74924899.11	-183229169.5
27677	47934	-11601.08	8655.917	134585126.8	-100418011.6
14032	27677	-25246.08	-11601.083	637364706.8	292881904.3
30864	14032	-8414.083	-25246.083	70796792.73	212422637.8
21529	30864	-17749.08	-8414.083	315029947.3	149342257.5
18494	21529	-20784.08	-17749.083	431978106.2	368898414.2
99212	18494	59933.917	-20784.083	3592074407	-1245671505
107160	99212	67881.917	59933.917	4607954656	4068429179
53911	107160	14632.917	67881.917	214122259.9	993310457.3
109160	53911	69881.917	14632.917	4883482324	1022576291
28110	109160	-11168.08	69881.917	124726077.9	-780447049.3
55362	28110	16083.917	-11168.083	258692386.1	-179626520
11191	55362	-28087.08	16083.917	788884231.4	-451750311.7
31423	11191	-7855.083	-28087.083	61702328.94	220626368.2
4595	31423	-34683.08	-7855.083	1202916246	272438495.7
42819	4595	3540.917	-34683.083	12538093.2	-122809918.2
19957	42819	-19321.08	3540.917	373304248.3	-68414351.25
59103	19957	19824.917	-19321.083	393027334.1	-383038866.8
10226	59103	-29052.08	19824.917	844023526.6	-575955134.2
39278.08		0.008	29052.091	23445382724	1694201914
Media					

0.072261645 Coef. de auto-
correlación

Debido a que el coeficiente de autocorrelación obtenido para un desfase de un periodo es menor que 0.5, y en particular, es muy pequeño. Esto indica que no existe relación alguna entre las compras sucesivas por mes para este artículo.

De la misma manera, la tabla de datos siguiente indica que para los artículos restantes, tampoco existe relación entre compras sucesivas:

Producto	Coeficiente de autocorrelación
12RG	-0.07690354
14RG	0.07226164
16RG	0.47411739
18RG	-0.09885436
20RG	0.23974146
22RG	0.11356362
24RG	-0.04518667
18RB	-0.26217208
22RB	0.34048137

Además, como también se indicó en el Capítulo 3, la aplicación de la fórmula del coeficiente de autocorrelación en desfases de magnitud cada vez mayor generalmente ocasiona un decremento en el coeficiente de autocorrelación (debido a que se incluye cada vez un término menos en el numerador); esto podría conducir a una consideración de presencia de aleatoriedad en la serie; pero en realidad resulta conveniente en el estudio del comportamiento de la compra de los productos, analizar las gráficas de sus correlogramas con el fin de identificar mejor sus comportamientos y si es que son o no aleatorias en desfases sucesivos mayores.

Para probar si las series de tiempo de la cantidad de compra son o no aleatorias, calculamos un intervalo de confianza del 95% que corresponde a cada una de ellas:

$$0 \pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{24}}$$
$$0 \pm 0.4000833$$

Lo cual quiere decir que planteadas la hipótesis nula y la hipótesis alterna

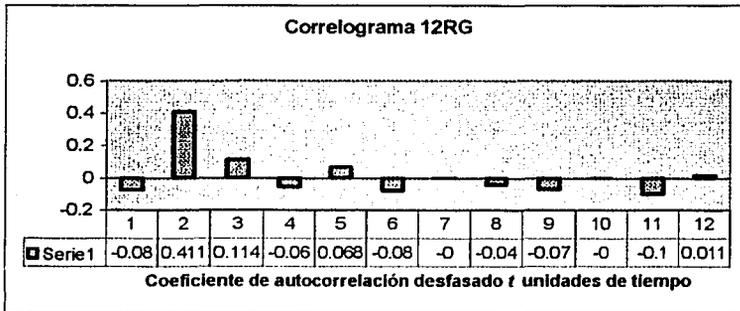
$$H_0: \rho_k=0$$

$$H_a: \rho_k \neq 0$$

dicho intervalo de confianza indica que si los valores de los coeficientes de autocorrelación en el correlograma se encuentran dentro de este intervalo, deberá aceptarse la hipótesis nula; es decir, la serie es aleatoria; en cuyo caso la aplicación del modelo no deberá basarse en un pronóstico, sino en los requerimientos de compra actuales de la empresa. En caso contrario deberá rechazarse la hipótesis nula lo cual implica que debido a que la serie no es aleatoria puede presentar componentes particulares de una serie de tiempo (tendencia, ciclo, estacionalidad), las cuales pueden ser identificadas en el correlograma y su análisis como ya se indicó se realizará mediante los métodos de promedios de pronósticos.

CORRELOGRAMAS

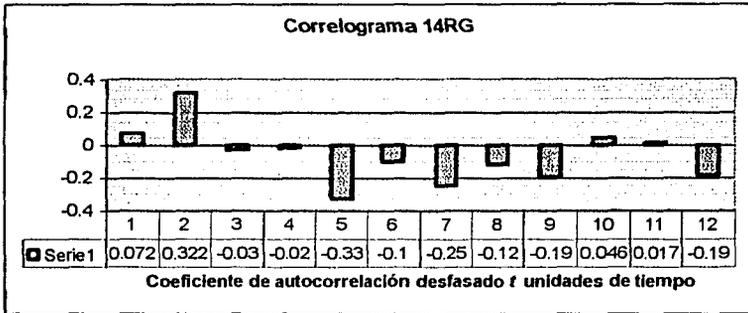
12RG:



El análisis del correlograma para el desfase 2, el coeficiente de autocorrelación correspondiente sale del intervalo de aleatoriedad, por tal razón, se concluye que esta serie no es aleatoria. Por lo que requerirá de un análisis posterior.

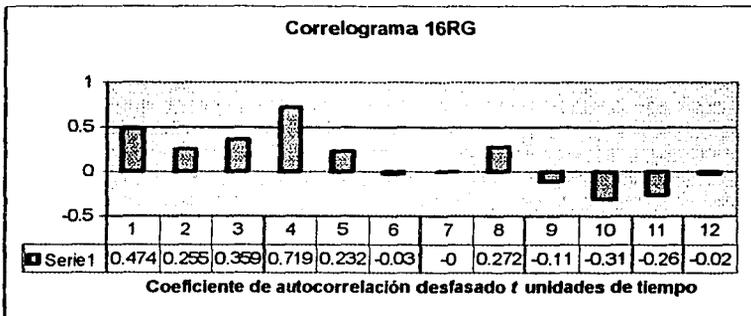
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

14RG:



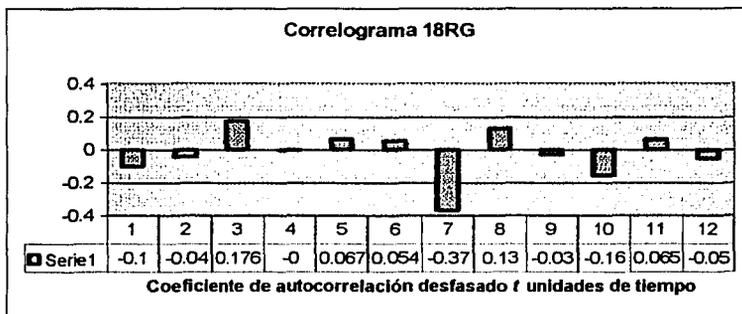
El análisis del correlograma indica que la serie es aleatoria; es importante observar que puede ser factible que la serie presente estacionalidad anual con incrementos imprevistos. Para un intervalo de confianza del 80% (0 ± 0.2633201), dos coeficientes de correlación no se encuentran en el intervalo. Pero en los análisis posteriores se considerará un intervalo de confianza del 95%. Por consiguiente, el comportamiento de compra del artículo 14RG para satisfacer los requerimientos de la empresa es aleatorio.

16RG:



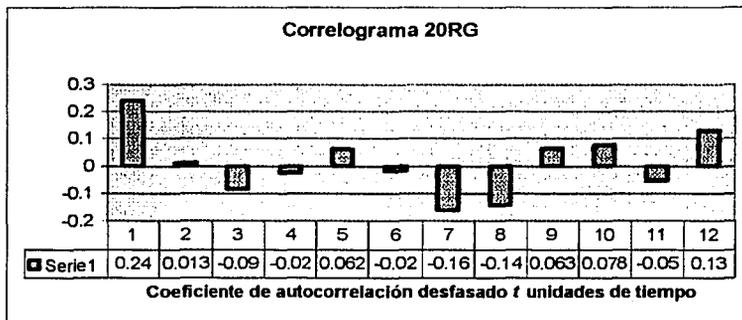
En este caso, incluso con un intervalo de confianza de 90% (0 ± 0.3368048), la serie no es aleatoria, por lo que requerirá del análisis de identificación de patrones.

18RG:



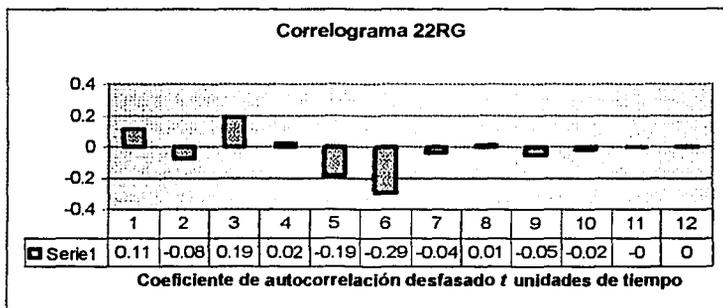
El análisis del presente correlograma también indica que la serie es aleatoria, es decir, no existe relación entre las compras adquiridas en meses pasados.

20RG:



El presente análisis también conduce a la conclusión de que las compras del artículo en cuestión es aleatoria ya que los coeficientes de autocorrelación calculados se encuentran dentro del intervalo de aleatoriedad [incluso para un intervalo de confianza del 80% (0 ± 0.2633201)]. Es importante indicar que las compras en los semestres julio a diciembre del 2000 y enero a junio del 2001 se presenta cierto incremento en las compras.

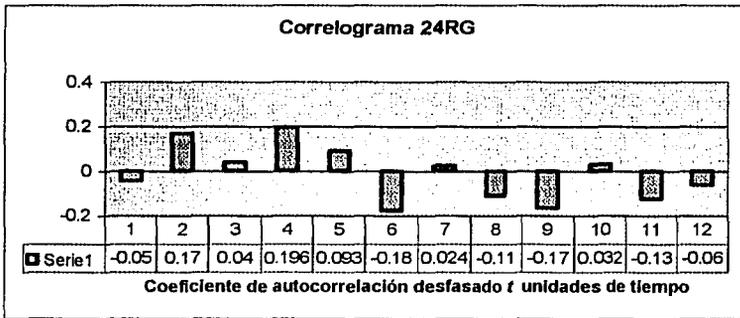
22RG:



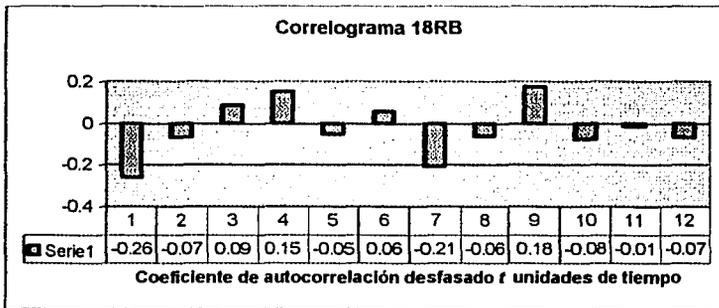
El análisis del correlograma indica que incluso con un intervalo de confianza del 90% (0 ± 0.3368048), la serie de tiempo de la compra del artículo 22RG es aleatoria. Es importante hacer la observación que las compras se han incrementado a partir de febrero del 2000.

24RG:

El presente análisis también indica que incluso con un intervalo de confianza del 80% (0 ± 0.2633201) la serie de compra del artículo 24RG es aleatoria. También es importante señalar que a partir de marzo del 2000 las compras han disminuido relativamente.

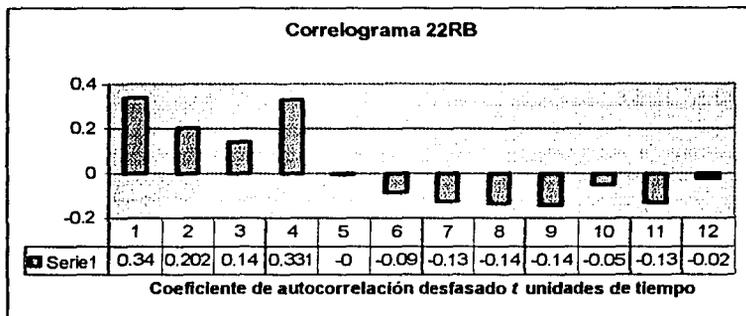


18RB:



El comportamiento de compra del artículo 18RB incluso con un intervalo del 85% (0 ± 0.2939387) es aleatorio como lo indica el correlograma correspondiente.

22RB:



Con un intervalo de confianza del 95% la serie es aleatoria, y con uno del 90%, únicamente un valor sale del intervalo, por lo que debido a que la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95% no debe rechazarse: la serie es aleatoria lo cual indica que no hay relación entre valores históricos de compra de este artículo. Es importante indicar que los valores de compra han disminuido considerablemente, deberá considerarse una tendencia a la baja.

Lo anterior constituye el primer paso que debe realizar el tomador de decisiones para empezar el proceso de obtención de pronósticos.

Para los artículos cuyo análisis de correlograma resultó en la presencia de comportamiento aleatorio se realizará un estudio de pronóstico mediante la técnica cualitativa de investigación de mercado con el fin de obtener información relevante adicional a la que los proveedores actuales suministran (esto es una aportación de cotización de precios a la empresa) que sea la entrada del modelo matemático que va a desarrollarse en la sección siguiente. También deberá llevarse a cabo la técnica de pronóstico cualitativa de formulación de escenarios, con el fin de especular en base también a un consenso de las opiniones de los expertos, los posibles estados económicos futuros de la empresa si por ejemplo, deja de considerar o incluye a determinados proveedores; así como si adquiere más cantidades de los requerimientos necesarios de algún artículo.

Es de gran importancia señalar, que en el presente estudio de una empresa, el inventario no implica un costo pero desde luego que hay un límite máximo de artículos extra que pudieran adquirirse.

Y en el caso de los artículos cuyo análisis de correlograma llevó a la conclusión que el comportamiento de la serie no es aleatorio (esto es para 12RG y 16RG), se pretenderá hallar pronósticos factibles mediante técnicas cuantitativas, los cuales se usarán como las entradas del modelo matemático de minimización de costos.

IV.3.2.1 Investigación de mercado correspondiente a la compra de productos.

La información que se muestra a continuación fue reunida por los administradores de la empresa y su análisis es presentado posteriormente. (Los documentos originales fueron realizados en Microsoft Excel).

Los proveedores nacionales son:

- 1) Ponderosa,
- 2) SCYPM,
- 3) Promasa,
- 4) Grupo Industrial Baca (Línea Mexicana),
- 5) Productora de Papel e
- 6) Intercarton.

Los proveedores internacionales son:

- 1) CMPC Chile,
- 2) Grupo Industrial Baca Los Angeles,
- 3) International Paper,
- 4) WestVaco,
- 5) Perez Trading,
- 6) Eckman y
- 7) Rock Ten.

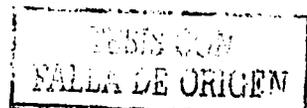
**INFORMACIÓN DE COSTOS DE CARTONCILLO DE
PROVEEDORES NACIONALES:**

Reverso Gris Proveedor Ponderosa

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg Flete / Seg.	\$\$ x Kg. Neto	\$\$ x M ² Sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	300 a 399 T. Desccto 5%	400T. en Adel. Desccto 10%
12	8.69	235	0.1419	8.83	2.0410	2.075	1.971	1.868
14	8.29	275	0.1419	8.44	2.2810	2.321	2.205	2.089
16	7.88	315	0.1419	8.02	2.4820	2.527	2.401	2.275
18	7.55	350	0.1419	7.69	2.6420	2.692	2.558	2.423
20	7.45	385	0.1419	7.59	2.8680	2.923	2.776	2.630
22	7.45	420	0.1419	7.59	3.1290	3.189	3.029	2.870
24	7.37	455	0.1419	7.52	3.3550	3.419	3.248	3.077
26	7.31	490	0.1419	7.45	3.5810	3.649	3.467	3.284

Reverso Blanco Proveedor Ponderosa

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg Flete / Seg.	\$\$ x Kg. Neto	\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	300 a 399 T. Desccto 5%	400T. en Adel. Desccto 10%
12	10.10	235	0.1419	10.24	2.3740	2.408	2.408	2.408
14	9.63	275	0.1419	9.77	2.6480	2.688	2.688	2.688
16	9.07	315	0.1419	9.21	2.8560	2.901	2.901	2.901
18	8.67	350	0.1419	8.82	3.0360	3.086	3.086	3.086
20	8.55	385	0.1419	8.69	3.2920	3.347	3.347	3.347
22	8.55	420	0.1419	8.69	3.5910	3.651	3.651	3.651
24	8.46	455	0.1419	8.60	3.8480	3.912	3.912	3.912
26	8.38	490	0.1419	8.52	4.1040	4.172	4.172	4.172



Reverso Gris Proveedor SCYPM

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg Flete / Seg.	\$\$ x Kg.	\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	300 a 399 T. Descto 13%	400T. en Adel. Descto 15%
				Neto				
12	8.835	265	0.0650	8.900	2.3413	2.369	2.052	2.005
14	8.255	290	0.0650	8.320	2.3940	2.413	2.099	2.051
16	7.720	315	0.0650	7.785	2.4318	2.452	2.133	2.084
18	7.435	345	0.0650	7.500	2.5651	2.588	2.251	2.199
20	7.435	375	0.0650	7.500	2.7881	2.813	2.447	2.391
22	7.435	405	0.0650	7.500	3.0112	3.038	2.643	2.582
24	7.435	440	0.0650	7.500	3.2714	3.300	2.871	2.805
26	7.435	465	0.0650	7.500	3.4573	3.488	3.034	2.964

Reverso Gris Proveedor Promasa

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg Flete / Seg.	\$\$ x Kg.	\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Descto 0%	Descto 0%
				Neto				
12	9.27	235		9.270	2.1785	2.178	2.178	2.178
14	8.86	275		8.860	2.4365	2.437	2.437	2.437
16	8.41	315		8.410	2.6492	2.649	2.649	2.649
18	8.06	350		8.060	2.8210	2.821	2.821	2.821
20	8.06	385		8.060	3.1031	3.103	3.103	3.103
22	8.06	420		8.060	3.3852	3.385	3.385	3.385
24	8.06	455		8.060	3.6673	3.667	3.667	3.667
26	8.06	490		8.060	3.9494	3.949	3.949	3.949

Reverso Blanco Proveedor Promasa

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg		\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² Con Flete/Seg.	Desccto 0%	Desccto 0%
			Flete / Seg.	Neto				
12	10.78	235		10.780	2.5333	2.533	2.533	2.533
14	10.28	275		10.280	2.8270	2.827	2.827	2.827
16	9.68	315		9.680	3.0492	3.049	3.049	3.049
18	9.26	350		9.260	3.2410	3.241	3.241	3.241
20	9.26	385		9.260	3.5651	3.565	3.565	3.565
22	9.26	420		9.260	3.8892	3.889	3.889	3.889
24	9.26	455		9.260	4.2133	4.213	4.213	4.213
26	9.26	490		9.260	4.5374	4.537	4.537	4.537

Reverso Gris Proveedor Grupo Industrial Baca Línea Mexicana

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg		\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Desccto 0%	Desccto 0%
			Flete / Seg.	Neto				
12	8.00	273		8.000	2.1840	2.184	2.184	2.184
14	7.39	306		7.390	2.2613	2.261	2.261	2.261
16	7.39	335		7.390	2.4757	2.476	2.476	2.476
18	7.39	374		7.390	2.7639	2.764	2.764	2.764
20	7.28	399		7.280	2.9047	2.905	2.905	2.905
22	7.28	428		7.280	3.1158	3.116	3.116	3.116
24	7.28	467		7.280	3.3998	3.400	3.400	3.400
26	7.28	475		7.280	3.4580	3.458	3.458	3.458

Reverso Gris Proveedor Productora de Papel

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg		\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Desccto 0%	Desccto 0%
			Flete / Seg.	Neto				
12	8.82	233		8.820	2.0551	2.055	2.055	2.055
14	8.52	265		8.520	2.2578	2.258	2.258	2.258
16	8.12	303		8.120	2.4604	2.460	2.460	2.460
18	7.70	341		7.700	2.6257	2.626	2.626	2.626
20	7.60	377		7.600	2.8652	2.865	2.865	2.865
22	7.60	411		7.600	3.1236	3.124	3.124	3.124
24	7.52	446		7.520	3.3539	3.354	3.354	3.354
26								

Reverso Blanco Proveedor Productora de Papel

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg		\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Desccto 0%	Desccto 0%
			Flete / Seg.	Neto				
12	10.25	233		10.250	2.3883	2.388	2.388	2.388
14	9.85	265		9.850	2.6103	2.610	2.610	2.610
16	9.30	303		9.300	2.8179	2.818	2.818	2.818
18	8.80	341		8.800	3.0008	3.001	3.001	3.001
20	8.70	377		8.700	3.2799	3.280	3.280	3.280
22	8.70	411		8.700	3.5757	3.576	3.576	3.576
24	8.60	446		8.600	3.8356	3.836	3.836	3.836
26								

Reverso Gris Intercarton

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg		\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Descto 0%	Descto 0%
			Flete / Seg.	Neto				
12	10.21	200		10.21	2.0410	2.041	2.041	2.041
14	9.92	230		9.92	2.2810	2.281	2.281	2.281
16	9.37	265		9.37	2.4820	2.482	2.482	2.482
18	8.96	295		8.96	2.6420	2.642	2.642	2.642
20	8.96	325		8.96	2.9130	2.913	2.913	2.913
22	8.57	365		8.57	3.1290	3.129	3.129	3.129
24	8.29	395		8.29	3.2730	3.273	3.273	3.273
26	8.33	425		8.33	3.5410	3.541	3.541	3.541

INFORMACIÓN DE COSTOS DE CARTONCILLO DE PROVEEDORES INTERNACIONALES:

Reverso Gris Proveedor CMPC Chile

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg		Flete / Seg. X Hja m ²	\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Descto 0%	Descto 0%
			Flete / Seg.	Neto					
12	0.000	200		10.055	*		2.011	2.011	2.011
14	0.000	230		10.055	*		2.313	2.313	2.313
15	0.000	250		9.818	*		2.454	2.454	2.454
16	0.000	265		9.818	*		2.602	2.602	2.602
17	0.000	280		9.818	*		2.749	2.749	2.749
18	0.000	295		9.818	*		2.896	2.896	2.896
19	0.000	305		9.818	*		2.994	2.994	2.994
20	0.000	325		9.818	*		3.191	3.191	3.191

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

21	0.000	345		9.818	*		3.387	3.387	3.387
22	0.000	365		9.818	*		3.583	3.583	3.583
24	0.000	395		9.818	*		3.878	3.878	3.878

Reverso Gris Proveedor Grupo Industrial Baca Los Angeles

Calibre	\$\$ x Kg.	Grs x M ²	Costo x Kg Flete / Seg.	\$\$ x Kg. Neto	Flete / Seg. X Hja m ²	\$\$ x M ² sin Flete/Seg.	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Descto 0%	Descto 0%
								0%	0%
12	6.60	273		6.600		1.8018	1.802	1.802	1.802
14	6.60	306		6.600		2.0196	2.020	2.020	2.020
16	6.60	335		6.600		2.2110	2.211	2.211	2.211
18	6.60	374		6.600		2.4684	2.468	2.468	2.468
20	6.60	399		6.600		2.6334	2.633	2.633	2.633
22	6.60	428		6.600		2.8248	2.825	2.825	2.825
24	6.60	467		6.600		3.0822	3.082	3.082	3.082
26	6.60	475		6.600		3.1350	3.135	3.135	3.135

A continuación se presenta un resumen de los datos de interés para la aplicación del modelo (análisis de los datos) así como datos adicionales importantes respecto a proveedores internacionales:

Reverso Gris:

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	12	2.075	235
SCYPM	12	2.359	265
CMPC	12	2.011	200
PROMASA	12	2.178	235

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

IND BACA (MEX)	12	2.184	273
IND BACA (L.A.)	12	1.802	273
PROD. DE PAPEL	12	2.055	233
INTERCARTON	12	2.041	200
ROCK TEN	12		
COPINSA	12		

Proveedor	Calibre	\$ \$ x M ²	
		con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	14	2.321	275
SCYPM	14	2.413	290
CMPC	14	2.313	230
PROMASA	14	2.437	275
IND BACA (MEX)	14	2.261	306
IND BACA (L.A.)	14	2.020	306
PROD. DE PAPEL	14	2.258	265
INTERCARTON	14	2.281	230
ROCK TEN	14		
COPINSA	14		

Proveedor	Calibre	\$ \$ x M ²	
		con Flete/Seg.	Grs x M ²
CMPC	15	2.454	250

Proveedor	Calibre	\$ \$ x M ²	
		con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	16	2.527	315
SCYPM	16	2.452	315
CMPC	16	2.602	265
PROMASA	16	2.649	315
IND BACA (MEX)	16	2.476	335
IND BACA (L.A.)	16	2.211	335
PROD. DE PAPEL	16	2.460	303
INTERCARTON	16	2.482	265
ROCK TEN	16		

COPINSA

16

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Gr x M²
CMPC	17	2.469	280

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Gr x M²
PONDEROSA	18	2.692	350
SCYPM	18	2.588	345
CMPC	18	2.601	295
PROMASA	18	2.821	350
IND BACA (MEX)	18	2.764	374
IND BACA (L.A.)	18	2.468	374
PROD. DE PAPEL	18	2.626	341
INTERCARTON	18	2.642	295
ROCK TEN	18		
COPINSA	18		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Gr x M²
CMPC	19	2.689	305

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Gr x M²
PONDEROSA	20	2.923	385
SCYPM	20	2.813	375
CMPC	20	2.866	325
PROMASA	20	3.103	385
IND BACA (MEX)	20	2.905	399
IND BACA (L.A.)	20	2.633	399
PROD. DE PAPEL	20	2.865	377
INTERCARTON	20	2.913	325
ROCK TEN	20		

COPINSA

20

Proveedor	Calibre	\$ \$ x M ²	
		con Flete/Seg.	Grs x M ²
CMPC	21	3.042	345

Proveedor	Calibre	\$ \$ x M ²	
		con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	22	3.189	420
SCYPM	22	3.038	405
CMPC	22	3.218	365
PROMASA	22	3.385	420
IND BACA (MEX)	22	3.116	428
IND BACA (L.A.)	22	2.825	428
PROD. DE PAPEL	22	3.124	411
INTERCARTON	22	3.129	365
ROCK TEN	22		
COPINSA	22		

Proveedor	Calibre	\$ \$ x M ²	
		con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	24	3.419	455
SCYPM	24	3.300	440
CMPC	24	3.483	395
PROMASA	24	3.667	455
IND BACA (MEX)	24	3.400	467
IND BACA (L.A.)	24	3.082	467
PROD. DE PAPEL	24	3.354	446
INTERCARTON	24	3.273	395
ROCK TEN	24		
COPINSA	24		

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Grs x M²
PONDEROSA	26	3.649	490
SCYPM	26	3.488	465
CMPC	26		
PROMASA	26	3.949	490
IND BACA (MEX)	26	3.458	475
IND BACA (L.A.)	26	3.135	475
PROD. DE PAPEL	26		
INTERCARTON	26	3.541	425
ROCK TEN	26		
COPINSA	26		

Reverso Blanco:

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Grs x M²
PONDEROSA	12	2.408	235
SCYPM	12		
CMPC	12		
PROMASA	12	2.533	235
IND BACA (MEX)	12		
IND BACA (L.A.)	12		
PROD. DE PAPEL	12	2.388	233
INTERCARTON	12		
ROCK TEN	12		
COPINSA	12		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Grs x M²
PONDEROSA	14	2.688	275
SCYPM	14		

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

CMPC	14		
PROMASA	14	2.827	275
IND BACA (MEX)	14		
IND BACA (L.A.)	14		
PROD. DE PAPEL	14	2.610	265
INTERCARTON	14		
ROCK TEN	14		
COPINSA	14		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
CMPC	15	250.000	2.20435544

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	16	2.901	315
SCYPM	16		
CMPC	16		
PROMASA	16	3.049	315
IND BACA (MEX)	16		
IND BACA (L.A.)	16		
PROD. DE PAPEL	16	2.818	303
INTERCARTON	16		
ROCK TEN	16		
COPINSA	16		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
CMPC	17	280.000	2.46887809

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	18	3.086	350
SCYPM	18		

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

CMPC	18		
PROMASA	18	3.241	350
IND BACA (MEX)	18		
IND BACA (L.A.)	18		
PROD. DE PAPEL	18	3.001	341
INTERCARTON	18		
ROCK TEN	18		
COPINSA	18		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
CMPC	19	305.000	2.68931364

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	20	3.347	385
SCYPM	20		
CMPC	20		
PROMASA	20	3.565	385
IND BACA (MEX)	20		
IND BACA (L.A.)	20		
PROD. DE PAPEL	20	3.280	377
INTERCARTON	20		
ROCK TEN	20		
COPINSA	20		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
CMPC	21	345.000	3.04201051

Proveedor	Calibre	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²
PONDEROSA	22	3.651	420
SCYPM	22		

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

CMPC	22		
PROMASA	22	3.889	420
IND BACA (MEX)	22		
IND BACA (L.A.)	22		
PROD. DE PAPEL	22	3.576	411
INTERCARTON	22		
ROCK TEN	22		
COPINSA	22		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Grs x M²
PONDEROSA	24	3.912	455
SCYPM	24		
CMPC	24		
PROMASA	24	4.213	455
IND BACA (MEX)	24		
IND BACA (L.A.)	24		
PROD. DE PAPEL	24	3.836	446
INTERCARTON	24		
ROCK TEN	24		
COPINSA	24		

Proveedor	Calibre	\$\$ x M² con Flete/Seg.	Grs x M²
PONDEROSA	26	4.172	490
SCYPM	26		
CMPC	26		
PROMASA	26	4.537	490
IND BACA (MEX)	26		
IND BACA (L.A.)	26		
PROD. DE PAPEL	26		
INTERCARTON	26		
ROCK TEN	26		
COPINSA	26		

A continuación se presentan cuadros comparativos de los precios ofrecidos por los proveedores mas frecuentes de la empresa: [las últimas dos columnas se obtuvieron realizando las operaciones (precio del proveedor1 – precio del proveedor2)/precio del proveedor1; donde proveedor1 y proveedor2 se van alternando, con el fin de comparar los precios de cada par de proveedores]

Reverso Gris (sin descuento):

Calibre	Proveedor						% SCYPM vs Ponderosa	% SCYPM vs Ponderosa	% Ponderosa vs PROPASA
	Ponderosa		SCYPM		PROPASA				
	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²			
12	2.075	235	2.359	265	2.055	233	12.0%	12.9%	1.0%
14	2.321	275	2.413	290	2.258	265	3.8%	6.4%	2.7%
16	2.527	315	2.452	315	2.460	303	-3.1%	-0.3%	2.7%
18	2.692	350	2.588	345	2.626	341	-4.1%	-1.5%	2.5%
20	2.923	385	2.813	375	2.865	377	-3.9%	-1.9%	2.0%
22	3.189	420	3.038	405	3.124	411	-5.0%	-2.8%	2.0%
24	3.419	455	3.300	440	3.354	446	-3.6%	-1.6%	1.9%
26	3.649	490	3.488	465			-4.6%		
	2.849		2.806		2.677		-1.5%	4.6%	6.0%

Reverso Gris (de 200 a 299 toneladas):

Calibre	Proveedor						% SCYPM vs Ponderosa	% SCYPM vs PROPASA	% Ponderosa vs PROPASA
	Ponderosa		SCYPM		PROPASA				
	\$\$ x M ² Con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²			
12	1.764	235	2.123	265	1.623	233	16.9%	23.5%	8.0%
14	1.973	275	2.172	290	1.784	265	9.2%	17.9%	9.6%
16	2.148	315	2.207	315	1.944	303	2.7%	11.9%	9.5%
18	2.289	350	2.329	345	2.074	341	1.7%	10.9%	9.4%
20	2.484	385	2.531	375	2.264	377	1.9%	10.6%	8.9%

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

22	2.710	420	2.734	405	2.468	411	0.9%	9.7%	9.0%
24	2.906	455	2.970	440	2.650	446	2.2%	10.8%	8.8%
26	3.102	490	3.139	465			1.2%		
	2.422		2.525		2.115		4.1%	16.2%	12.7%

Reverso Gris (de 300 a 399 toneladas):

Calibre	Proveedor						% SCYPM vs Ponderosa	% SCYPM vs PROPASA	% Ponderosa vs PROPASA
	Ponderosa		SCYPM		PROPASA				
	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²			
12	1.764	235	2.099	265	1.623	233	16.0%	22.7%	8.0%
14	1.973	275	2.147	290	1.784	265	8.1%	16.9%	9.6%
16	2.148	315	2.183	315	1.944	303	1.6%	10.9%	9.5%
18	2.289	350	2.303	345	2.074	341	0.6%	9.9%	9.4%
20	2.484	385	2.503	375	2.264	377	0.8%	9.6%	8.9%
22	2.710	420	2.703	405	2.468	411	-0.3%	8.7%	9.0%
24	2.906	455	2.937	440	2.650	446	1.1%	9.8%	8.8%
26	3.102	490	3.104	465			0.1%		
	2.422		2.497		2.115		3.0%	15.3%	12.7%

Reverso Gris (de 400 a 499 toneladas)

Calibre	Proveedor						% SCYPM vs Ponderosa	% SCYPM vs PROPASA	% Ponderosa vs PROPASA
	Ponderosa		SCYPM		PROPASA				
	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²			
12	1.764	235	2.075	265	1.623	233	15.0%	21.8%	8.0%
14	1.973	275	2.123	290	1.784	265	7.1%	16.0%	9.6%
16	2.148	315	2.158	315	1.944	303	0.4%	9.9%	9.5%
18	2.289	350	2.277	345	2.074	341	-0.5%	8.9%	9.4%
20	2.484	385	2.475	375	2.264	377	-0.4%	8.5%	8.9%
22	2.710	420	2.673	405	2.468	411	-1.4%	7.7%	9.0%

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

24	2.906	455	2.904	440	2.650	446	-0.1%	8.8%	8.8%
26	3.102	490	3.089	465			-1.1%		
	2.422		2.469		2.115		1.9%	14.3%	12.7%

Reverso Gris (de 500 a 599 toneladas).

Calibre	Proveedor						% SCYPM vs Ponderosa	% SCYPM vs PROPASA	% Ponderosa vs PROPASA
	Ponderosa		SCYPM		PROPASA				
	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²			
12	1.764	235	2.052	265	1.623	233	14.0%	20.9%	8.0%
14	1.973	275	2.099	290	1.784	265	6.0%	15.0%	9.6%
16	2.148	315	2.133	315	1.944	303	-0.7%	8.9%	9.5%
18	2.289	350	2.251	345	2.074	341	-1.7%	7.9%	9.4%
20	2.484	385	2.447	375	2.264	377	-1.5%	7.5%	8.9%
22	2.710	420	2.643	405	2.468	411	-2.6%	6.6%	9.0%
24	2.906	455	2.871	440	2.650	446	-1.2%	7.7%	8.8%
26	3.102	490	3.034	465			-2.2%		
	2.422		2.441		2.115		0.8%	13.4%	12.7%

Reverso Gris (de 600 a 699 toneladas):

Calibre	Proveedor						% SCYPM vs Ponderosa	% SCYPM vs PROPASA	% Ponderosa vs PROPASA
	Ponderosa		SCYPM		PROPASA				
	\$\$ x M ² Con Flete/Seg.	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg	Grs x M ²			
12	1.764	235	2.028	265	1.623	233	13.0%	20.0%	8.0%
14	1.973	275	2.075	290	1.784	265	4.9%	14.0%	9.6%
16	2.148	315	2.109	315	1.944	303	-1.9%	7.8%	9.5%
18	2.289	350	2.225	345	2.074	341	-2.8%	6.8%	9.4%
20	2.484	385	2.419	375	2.264	377	-2.7%	6.4%	8.9%
22	2.710	420	2.612	405	2.468	411	-3.8%	5.5%	9.0%

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

24	2.906	455	2.838	440	2.650	446	-2.4%	6.6%	8.8%
26	3.102	490	2.999	465			-3.4%		
	2.422		2.413		2.115		-0.4%	12.4%	12.7%

Reverso Gris (de 700 a 799 toneladas):

Calibre	Proveedor						% SCYPM vs Ponderosa	% SCYPM vs PROPASA	% Ponderosa Vs PROPASA
	Ponderosa		SCYPM		PROPASA				
	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²	\$\$ x M ² con Flete/Seg.	Grs x M ²			
12	1.764	235	2.005	265	1.623	233	12.0%	19.0%	8.0%
14	1.973	275	2.051	290	1.784	265	3.8%	13.0%	9.6%
16	2.148	315	2.084	315	1.944	303	-3.1%	6.8%	9.5%
18	2.289	350	2.199	345	2.074	341	-4.1%	5.7%	9.4%
20	2.484	385	2.391	375	2.264	377	-3.9%	5.3%	8.9%
22	2.710	420	2.582	405	2.468	411	-5.0%	4.4%	9.0%
24	2.906	455	2.805	440	2.650	446	-3.6%	5.5%	8.8%
26	3.102	490	2.964	465			-4.6%		
	2.422		2.385		2.115		-1.5%	11.3%	12.7%

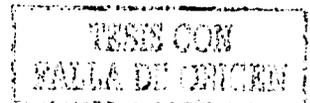
Información adicional de la compra de materiales importados:

Flete San Antonio Chile,
1 contenedor 1,400 USD

NOTA : ESTE CARTONCILLO SE RECIBE EN LA PLANTA

«««««««« DATOS »»»»»»»»

TIPO DE CAMBIO	N\$9.85	
FLETE TERR NAL	N\$0	
TODO GASTO	N\$6,925	
FLETE LADO AMERIC.	1,400	DLLS
MAQ. HOJEADO	N\$0.600	
MAQ. POLIET	N\$1.100	



**Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados**

INCREMENTABLES 18%
 FACTOR DE RIESGO 20%

DESCRIPCIÓN:	COSTO X	CARTON REVERSO GRIS	
TONELADAS	TON (DLS)	HOJEADO	POLIETILENO
20 (Ejemplo)	740	(S/N)	(S/N)
		N	N

***Todo Gasto**

Derechos Muellaje	\$85
Maniobras	\$4,000
THC	\$560
Almacenaje	\$2,280
	\$6,925
	(Σ columna)

**DATOS DE COSTO DE MATERIALES DE IMPORTACIÓN
 CARTON IMPORTADO REVERSO GRIS CMPC CHILE**

POLIETILENO	(S/N) N		
CORTE EN HOJAS	(S/N) N		
PROM. KG EMBARQUE	20000		
COSTO POR TON	740		DLS
	14,800		
COSTO DEL EMBARQUE	(20 x 740)		DLS
TIPO DE CAMBIO	\$9.8500		
COSTO MONEDA NACIONAL		\$145,780	26,240
		(14,800 x 9.85)	(145,780 x 0.18)
COSTO FLETE		0	0
TODO GASTOS		6,925	
		805	
		0.0045x(145,780+0	
HONORARIOS	0.4500%	+6,925+26,240+0)	
		13,790	
FLETE LADO AMERICANO	\$1,400	(1400 x 9.85)	
		29,156	
FACTOR DE RIESGO	20%	(145,780 x 0.20)	
MAQUILA HOJEADO X KG	\$0.000		0
MAQUILA POLIETILENO M2	\$0.000		0

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

	196,456		
COSTO TOTAL DE LA ORDEN	(Σ columna)	196,456	→ CTO TOTAL S/MAQUILA
KG NETOS RECIBIDOS		20	
COSTO DEL EMBARQUE YA HOJEADO		9,822.81 (196,456/20)	→ CTO X KG S/MAQUILA
		9,823	

Flete Nueva Laredo Texas

Ekman

NOTA : ESTE CARTONCILLO SE RECIBE EN LA PLANTA

<<<<<<<<< DATOS >>>>>>>>>

TIPO DE CAMBIO	\$9.85	
FLETE TERR NAL	\$12,000	
TODO GASTO	\$0	
FLETE LADO AMERIC.	1,950	DLLS
MAQ. HOJEADO	\$0.600	
MAQ. POLIET	\$1.100	
INCREMENTABLES	5%	
FACTOR DE RIESGO	0%	

DESCRIPCION:

CARTON ANTIGRASO 14 PUNTOS
HOJEADO POLIETILENO

	COSTO X TON (DLLS)	(S/N)	(S/N)
TONELADAS 20 (Ejemplo)	875	S	N

***Todo Gasto**

Derechos Muellaje	\$0
Maniobras	\$0
THC	\$0
Almacenaje	\$0
	\$0
	(Σ columna)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

DATOS DE COSTO DE MATERIALES DE IMPORTACIÓN
CARTON IMPORTADO ANTIGRASO EKMAN

POLIETILENO	(S/N) N		
CORTE EN HOJAS	(S/N) S		
PROM. KG			
EMBARQUE	20000		
COSTO POR TON	875	DLLS	
	\$17,500		
	(20 X		
COSTO DEL	875)	DLLS	
EMBARQUE			
TIPO DE CAMBIO	\$9.8500		
COSTO MONEDA		172,375	8,619
NACIONAL		(17,500 X 9.85)	(172,375 x 0.05)
			1,800
			(12,000 x 0.15)
COSTO FLETE		12,000	
TODO GASTOS		0	
		877	
		0.0045(172375	
		+12000+0+861	
HONORARIOS	0.4500%	9+1800)	
FLETE LADO		19,208	
AMERICANO	1,950	(1950 x 9.85)	
FACTOR DE			
RIESGO	0%	0	
MAQUILA		12,000	
HOJEADO X KG	\$0.600	(20000 x 0.6)	
MAQUILA POLIETILENO			
M2	\$0.000	0	
COSTO TOTAL DE LA		216,459	204,459
ORDEN		(Σ columna)	(216,459-12,000-0) → *
		19.000	
KG NETOS RECIBIDOS		(20000 x 0.95)	

COSTO DEL EMBARQUE YA HOJEADO	11,392.58 (216459/19)	10.761 (204459/19000) → **
----------------------------------	--------------------------	-------------------------------

* CTO TOTAL S/MAQUILA

** CTO X KG S/MAQUILA

De manera semejante los administradores de la empresa realizan los cálculos para obtener los precios de otros proveedores.

Los valores para los precios por kilogramo se categorizarán con el fin de representar los coeficientes de costos a considerar en el planteamiento del modelo matemático de minimización de costos de la siguiente sección.

La aplicación de la técnica de pronóstico cualitativa de formulación de escenarios se ejemplifica en la siguiente sección ya que se consideran rangos de cantidad de compra permisible para cada artículo.

IV.3.2.2 Métodos de promedio.

Se obtienen a continuación los pronósticos para las series de tiempo de la compra de los materiales 12RG y 16RG.

Se hace el recordatorio de que el tipo de técnica que se utilizará en este caso realiza una forma de promedio ponderado de observaciones anteriores para atenuar fluctuaciones de corto plazo y que la suposición fundamental es que las fluctuaciones en los valores anteriores representan puntos de partida aleatorios de alguna curva atenuada. Una vez que se identifica esta curva, se puede proyectar hacia el futuro para producir un pronóstico. De igual manera, recordemos que debido a la escasez de datos del método; no es conveniente utilizarlo en períodos largos ya que este tipo de procesos suelen ser inestables.

Primeramente, es necesario analizar los correlogramas, ya que éstos sugerirán la consideración de ciertos patrones en las series, esto es, si alguna de ellas es estacionaria o si presentan tendencia y/o estacionalidad.

IV.3.2.2.1 Obtención de pronósticos de cantidad de compra para los meses julio y agosto del 2001 para el material 12RG.

Los resultados correspondientes, que a continuación se presentan, se comparan también con los datos reales con el fin de evaluar el pronóstico. De tal manera que posteriormente se obtenga un pronóstico confiable para septiembre y octubre del año en curso.

Mediante el análisis de los coeficientes de correlación en el correlograma correspondiente, podemos observar que se presentan los valores más inferiores a partir del desfase 1 cada tres desfases; razón por la cual se identifica que la serie de tiempo presenta estacionalidad.

Desfasamiento	Coefficiente de autocorrelacion
1	-0.07690354
2	0.41065742
3	0.1143116
4	-0.05884902
5	0.06754166
6	-0.08013523
7	-0.00279621
8	-0.04225937
9	-0.07131297
10	-0.00280596
11	-0.10040249
12	0.01136925

Por lo tanto, el método de pronóstico adecuado (que maneja estacionalidad), es el método de Winter; como se explicó en el Capítulo 3, este método permite la inclusión o exclusión de tendencia si es que la serie la presenta o no, respectivamente. En este análisis resulta conveniente incluir un valor para β , que corresponde a la tendencia, ya que la observación mediante el método gráfico lo sugiere.

A continuación se presentan los valores de la serie ajustada a la serie bajo estudio, los valores de los residuales y las medidas de los errores. Estos valores fueron obtenidos mediante el método de Winter con los valores que se indican para α , β y γ en el paquete Statgraphics con la ruta del menú Time►Forecasting/Smoothing►Winter's Seasonal Smoothing, con el valor 3 como longitud de estacionalidad (length of seasonality).

PRC

Compras

Y_t	Y_{t+p}	e_t
10692	10692	0
5735	10692	-4957
2987	10692	-7705
0	10692	-10692
0	-4026.39	4026.39
30782	-7239.78	38021.78
0	3406.39	-3406.39
4972	212.948	4759.052
2024	2634.91	-610.91
14059	-534.411	14593.411
0	8208.25	-8208.25
12206	8585.02	3620.98
0	2750.91	-2750.91
9616	423.672	9192.328
4193	12589.4	-8396.4
3861	1727.32	2133.68
10981	3412.1	7568.9
0	12613.8	-12613.8
16660	2076.07	14583.93
3295	13606.7	-10311.7
22209	11222.6	10986.4
70639	10153.8	60485.2
1330	37826.7	-36496.7
92569	41450.6	51118.4

EMC	433,958,430
DAM	13634.9796
PEMA	2.49012275
PME	-1.54529873

El Error Medio Cuadrado (EMC) penaliza los errores mayores de pronóstico ya que eleva cada uno al cuadrado. En este caso, debido a que resulta más conveniente una serie ajustada que presente errores moderados en vez de una con errores pequeños que ocasionalmente arroje valores en extremo grandes. Los valores obtenidos para la serie ajustada al comportamiento de compra del material 12RG no resultan ser tan moderados, pero representa el mejor despliegue obtenido.

El valor obtenido para la Desviación Absoluta de la Media (DAM) indica la precisión del pronóstico usando las mismas unidades de la serie mediante el promedio de los errores de pronóstico. En este caso, esta medida del error indica que hay un error aproximado de 14 toneladas en el pedido de compra mediante pronósticos.

El valor obtenido en el cálculo del Porcentaje de Error Medio Absoluto (PEMA) proporciona un índice de que tan grandes son los errores de pronóstico comparados con los valores reales, lo cual en este caso implica que los valores obtenidos son relativamente confiables, ya que indica que son aproximadamente 2 veces y medio mayores.

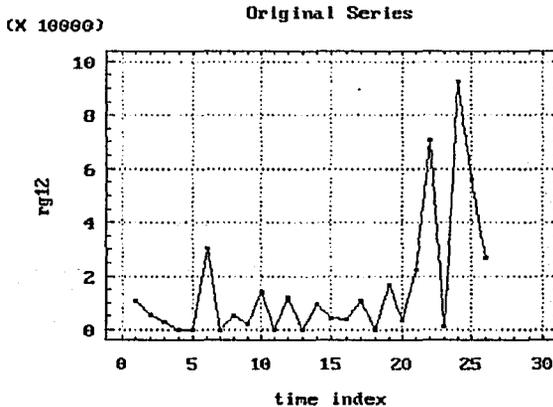
El valor obtenido para el Porcentaje Medio de Error (PME) indica que tan sesgado es el método; como es un valor negativo relativamente cercano a cero, esto quiere decir que el enfoque de pronóstico está sobreestimando los valores, pero no es tan sesgado, respectivamente.

A continuación se presentan resaltados al final de la tabla, los valores de pronósticos de compra de producto obtenidos, así como su comparación con los datos reales:

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

	$\alpha=0.4$	$\beta=0.1$	$\gamma=0.3$
Año	Producto	T	Compras Yt
1999	Julio	1	10692
	Agosto	2	5735
	Septiembre	3	2987
	Octubre	4	0
	Noviembre	5	0
	Diciembre	6	30782
2000	Enero	7	0
	Febrero	8	4972
	Marzo	9	2024
	Abril	10	14059
	Mayo	11	0
	Junio	12	12206
	Julio	13	0
	Agosto	14	9616
	Septiembre	15	4193
	Octubre	16	3861
	Noviembre	17	10981
	Diciembre	18	0
2001	Enero	19	16660
	Febrero	20	3295
	Marzo	21	22209
	Abril	22	70639
	Mayo	23	1330
	Junio	24	92569
	Julio	25	55811.3
	Agosto	26	26574.7

Serie de tiempo con los valores pronosticados:



Datos reales de compra del material 12RG en los meses Julio y Agosto del 2001:

	Kilogramos recibidos en	
	Julio	Agosto
12RG	25201	24516

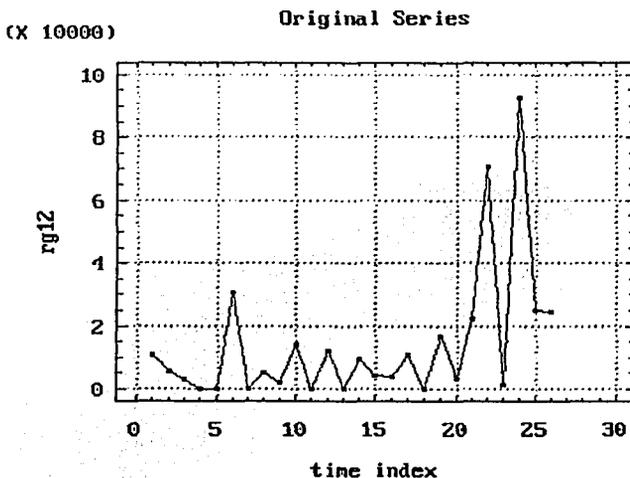
En la siguiente tabla se puede observar que los pronósticos obtenidos sobrestiman los valores reales de compra, es decir, se encuentran por arriba de éstos, lo cual implica que si se hubieran llevado a cabo, cierta cantidad de compra tendría que haberse mantenido en inventario. Como en esta aplicación, el costo por inventario es nulo, pero existe la restricción de que el máximo de material que pueden guardarse son 400 toneladas, el aplicar los pronósticos hubiera resultado factible.

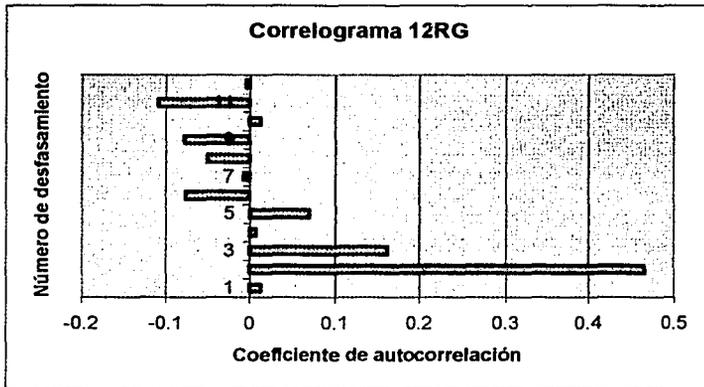
Operaciones de comparación:

	Julio 2001	Agosto 2001	
Pronóstico (kg)	55911.3	26574.7	
Valor real (kg)	25201	24516	
Cantidad en inventario (kg) para ser utilizado en el siguiente mes:	30710.3	2058.7	$\Sigma=32769$
	(55911.3-25201)	(26574.7-24516)	

IV.3.2.2.2 Obtención de pronósticos de cantidad de compra para los meses septiembre y octubre del 2001 para el material 12RG.

Serie completa hasta Agosto del 2001:





Coeficiente de autocorrelación correspondiente a cada desfaseamiento:

Desfaseamiento	12RG
1	0.01283886
2	0.463293
3	0.16157883
4	0.00670946
5	0.06999972
6	-0.07717037
7	-0.00720605
8	-0.05094778
9	-0.07809419
10	0.01283886
11	-0.10913922
12	-0.00491757

Con la adición de los nuevos datos reales para los meses julio y agosto del 2001, tenemos que el intervalo de aleatoriedad con un nivel de confianza del 95% para los coeficientes de autocorrelación ahora es:

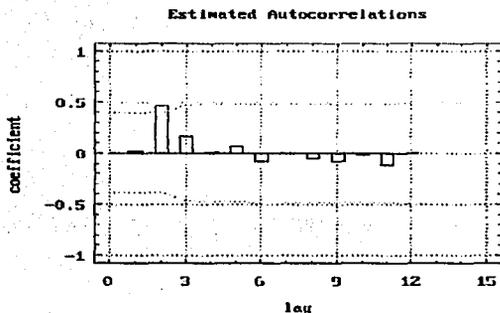
$$0 \pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{26}}$$

$$0 \pm 0.3843$$

el cual indica que en este caso la prueba de hipótesis correspondiente implica que debe rechazarse la hipótesis nula de aleatoriedad de la serie, ya que un valor de los coeficientes de autocorrelación sale del intervalo de aleatoriedad.

El análisis del autocorrelograma correspondiente, lleva a la conclusión de que existe una tendencia negativa además de una estacionalidad cuatrimestral en los datos, ya que los valores decrecen con el tiempo y se presenta un comportamiento similar durante los periodos que comprenden los tiempos de desfaseamiento 3,4,5,6,7 y 8,9,10,11,12 que comienzan con el fin de un periodo con comportamiento similar a los últimos dos tiempos de los periodos mencionados, esto es, los tiempos de desfaseamiento 1 y 2 corresponden a los tiempos de desfaseamiento 6 y 7, y 11 y 12.

A continuación se presenta nuevamente el correlograma de la serie de tiempo RG12, ahora realizado en STATGRAPHICS:



Debido a que se observa que los datos presentan cierta tendencia, en este caso se decide realizar una primera diferenciación con el fin de hacer estacionarios los datos, los valores obtenidos en STATGRAPHICS para la serie de tiempo RG12 son:

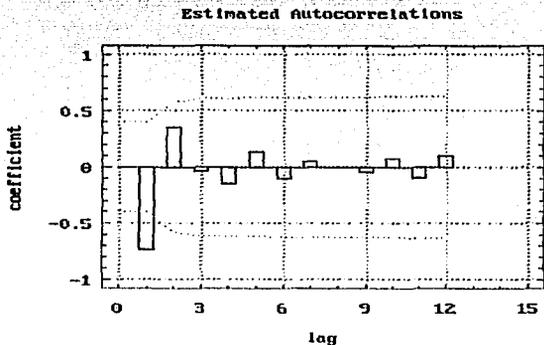
Variable: WORKAREA.DIFFS (length = 25)

(1) -4957	(14) -5423
(2) -2748	(15) -332
(3) -2987	(16) 7120
(4) 0	(17) -10981
(5) 30782	(18) 16660
(6) -30782	(19) -13365
(7) 4972	(20) 18914
(8) -2948	(21) 48430
(9) 12035	(22) -69309
(10) -14059	(23) 91239
(11) 12206	(24) -67368
(12) -12206	(25) -685
(13) 9616	

A continuación se calcula el correlograma para estos valores resultantes:

Estimated autocorrelations

Lag	Estimate	Std.Error	Lag	Estimate	Std.Error
1	-.73354	.20000	2	.35112	.28818
3	-.03551	.30481	4	-.14300	.30498
5	.13294	.30765	6	-.10699	.30994
7	.05244	.31141	8	-.00168	.31176
9	-.04776	.31176	10	.07838	.31206
11	-.09806	.31284	12	.10424	.31407



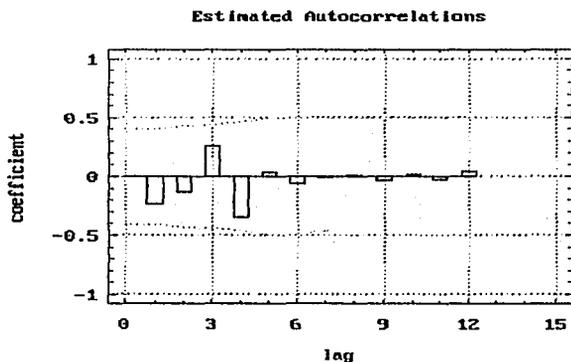
El estudio de correlograma lleva a establecer que aun un valor se sale de límites de control; pero puede establecerse que “los datos son estacionarios en la primera diferenciación”, ya que si se realiza una segunda diferenciación, se obtiene lo siguiente:

Variable: WORKAREA.DIFFS (length = 24)

(1) -7705 (19) 5549
 (2) -5735 (20) 67344
 (3) -2987 (21) -20879
 (4) 30782 (22) 21930
 (5) 0 (23) 23871
 (6) -25810 (24) -68053
 (7) 2024
 (8) 9087
 (9) -2024
 (10) -1853
 (11) 0
 (12) -2590
 (13) 4193
 (14) -5755
 (15) 6788
 (16) -3861
 (17) 5679
 (18) 3295

Estimated autocorrelations for diffs

Lag	Estimate	Std.Error	Lag	Estimate	Std.Error
1	-.23070	.20412	2	-.12798	.21471
3	.25704	.21787	4	-.34501	.23016
5	.03632	.25078	6	-.06523	.25100
7	-.00652	.25171	8	.00669	.25171
9	-.03720	.25172	10	.01996	.25195
11	-.02662	.25202	12	.04398	.25213



Y como debe recordarse, al realizar un determinado número de diferenciaciones a una serie, este número indica también el número de datos que se pierden de la misma para su análisis. Por lo tanto, el estudio de esta serie de tiempo indica mediante el cálculo de los coeficientes de autocorrelación y la aplicación de la prueba de hipótesis correspondiente, que la serie es aleatoria al nivel de confianza del 95%. Esto es, los coeficientes de correlación caen en el intervalo de confianza.

Intervalo de confianza del 95% para 26 datos:

$$0 \pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{26}}$$

$$0 \pm 0.38$$

Intervalo de confianza del 95% para 25 datos:

$$0 \pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{25}}$$

$$0 \pm 0.39$$

Intervalo de confianza del 95% para 24 datos:

$$0 \pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{24}}$$

$$0 \pm 0.4$$

IV.3.2.2.3 Obtención de pronósticos de cantidad de compra para los meses julio y agosto del 2001 para el material 16RG.

En este análisis, la serie también presenta estacionalidad, ya que en este caso se presentan en el correlograma los valores superiores de los coeficientes de autocorrelación a partir del desfase 1, cada cuatro desfases. Por tal motivo, el método más adecuado de pronóstico resulta ser también el método de Winter.

Desfase	Coefficientes de autocorrelación
1	0.474117395
2	0.25542528
3	0.358994552
4	0.71882789
5	0.232425839
6	-0.033169143
7	-0.00383036
8	0.271951471
9	-0.112614554
10	-0.313667153
11	-0.263900545
12	-0.023630994

A través del método gráfico, que fue aplicado a la serie, podemos observar que presenta cierta tendencia, por lo que también es conveniente incluir un valor para β . En este caso el valor de longitud de estacionalidad usado en Statgraphics fue de 4.

A continuación se presentan los valores de la serie ajustada a la serie bajo estudio, así como los valores de los residuales y las medidas de los errores obtenidas mediante estos resultados.

URC

Compras

Y_t	$Y_{t,p}$	e_t
190394	190394	0
502994	190394	312600
566894	190394	376500
494894	190394	304500
165494	190394	-24900
411194	763730	-352536
528194	642118	-113924
526094	489392	36702
169094	367173	-198079
484094	664569	-180475
643994	626613	17381
608594	524110	84484
253994	340684	-86690
715394	739827	-24433
928094	801077	127017
960494	706586	253908
526694	449876	76818
950894	1.21E+06	-258276
1141394	1.24E+06	-101146
1186694	1.01E+06	172584
540794	580076	-39282
955394	1.30E+06	-347766
981494	1.32E+06	-342246
905294	1.03E+06	-120076

EMC	41,918,232,489
DAM	164680.125
PEMA	0.302098
PME	-0.066350544

El Error Medio Cuadrado (EMC) para la serie ajustada al comportamiento de compra del material 16RG resultan no ser tan moderados, pero de igual manera, fue el mejor despliegue obtenido.

El valor obtenido para la Desviación Absoluta de la Media (DAM) indica que hay un error aproximado de 160 toneladas en el pedido de compra mediante pronósticos, por lo que se requiere analizar si el pronóstico sobreestima los valores reales, en cuyo caso la cantidad de pedido de este material no deberá exceder el límite de almacenamiento permisible. Y si se trata de una subestimación, deberá decidirse si es factible aprovechar algún precio de proveedores mediante la aplicación del modelo matemático de manera que haga permisible adquirir más material.

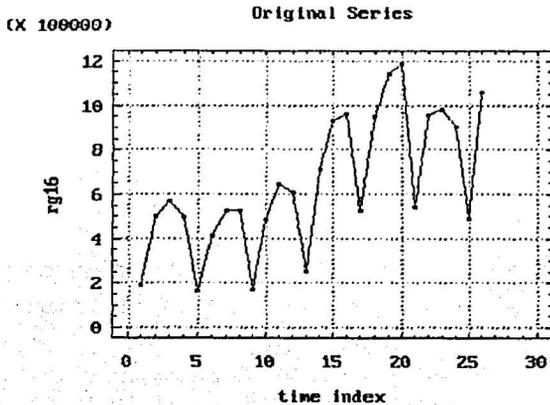
El valor obtenido en el cálculo del Porcentaje de Error Medio Absoluto (PEMA) indica que los valores obtenidos son relativamente confiables, ya que representan un 30% más de los valores reales. El PME también indica que los valores pronosticados sobreestiman a los valores reales; es decir, es negativo y cercano a cero (no es sesgado).

Así mismo, a continuación se presentan resaltados al final de la tabla, los valores de pronósticos de compra de producto obtenidos, así como su comparación con los datos reales:

	$\alpha=0.4$	$\beta=0.1$	$\gamma=0.3$
Año	Mes	T	Compras Yt
1999	Julio	1	190394
	Agosto	2	502994
	Septiembre	3	566894
	Octubre	4	494894
	Noviembre	5	165494
	Diciembre	6	411194
2000	Enero	7	528194
	Febrero	8	526094
	Marzo	9	169094
	Abril	10	484094

	Mayo	11	643994
	Junio	12	608594
	Julio	13	253994
	Agosto	14	715394
	Septiembre	15	928094
	Octubre	16	960494
	Noviembre	17	526694
	Diciembre	18	950894
2001	Enero	19	1141394
	Febrero	20	1186694
	Marzo	21	540794
	Abril	22	955394
	Mayo	23	981494
	Junio	24	905294
	Julio	25	490182
	Agosto	26	1061440

Serie de tiempo con los valores pronosticados:



Datos reales de compra del material 16RG en los meses Julio y Agosto del 2001:

	Kilogramos recibidos en	
	Julio	Agosto
16RG	217839	69438

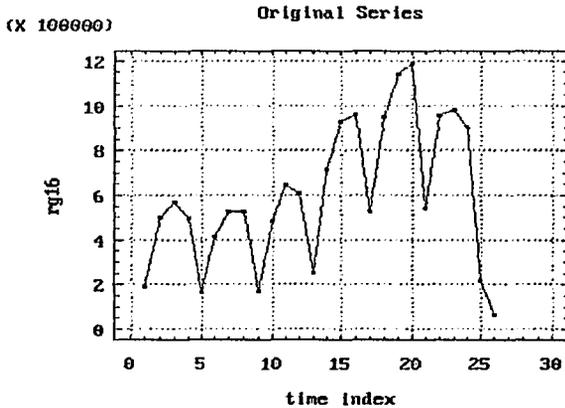
Puede observarse que los pronósticos obtenidos sobreestiman los valores reales; por tal motivo, llevarlos a la práctica hubiera implicado mantener en inventario los kilogramos comprados que no se hubieran utilizado. Debido a que en esta aplicación el inventario no implica un costo, pero si la restricción de que el máximo de material que pueden guardarse son 400 toneladas, el pronóstico hubiera resultado factible, únicamente para el mes de Julio del 2001, ya que adquirir la cantidad indicada por el pronóstico para el mes de agosto del 2001, hubiera implicado tener que conservar en inventario la cantidad de 1264.345 toneladas, lo cual no es factible.

Operaciones de comparación:

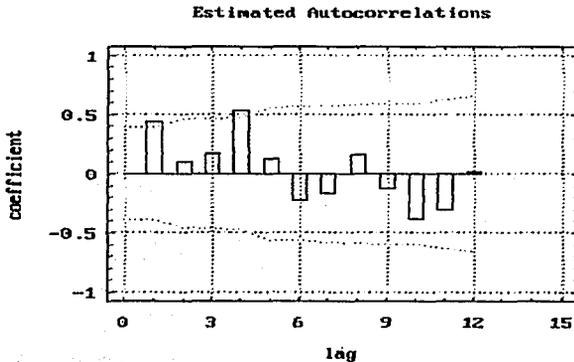
	Julio 2001	Agosto 2001	
Pronóstico (kg)	490182	1061440	
Valor real (kg)	217839	69438	
Cantidad en inventario (kg) para			
Ser utilizada en el mes siguiente:	272343	992002	$\Sigma=1264345$
	(490182-217839) (1061440-69438)		

IV.3.2.2.4 Obtención de los pronósticos de cantidad de compra para los meses septiembre y octubre de 2001 del material 16RG.

Serie completa hasta Agosto del 2001:



Correlograma de la serie de tiempo RG16 realizado en STATGRAPHICS:



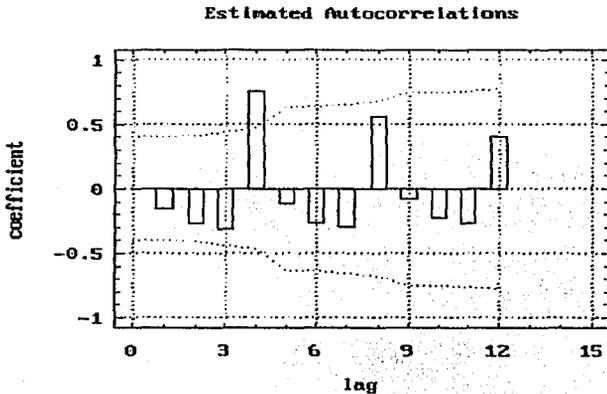
Estimated autocorrelations for rg16

Lag	Estimate	Std.Error	Lag	Estimate	Std.Error
1	.43790	.19612	2	.10098	.23068
3	.16963	.23237	4	.53473	.23709
5	.12434	.27965	6	-.22515	.28177
7	-.16675	.28861	8	.16490	.29229
9	-.12506	.29584	10	-.37748	.29787
11	-.29993	.31573	12	.01567	.32651

Resultados obtenidos con una diferenciación:

Variable: WORKAREA.DIFFS (length = 25)

- | | |
|--------------|--------------|
| (1) 312600 | (19) 45300 |
| (2) 63900 | (20) -645900 |
| (3) -72000 | (21) 414600 |
| (4) -329400 | (22) 26100 |
| (5) 245700 | (23) -76200 |
| (6) 117000 | (24) -687455 |
| (7) -2100 | (25) -148401 |
| (8) -357000 | |
| (9) 315000 | |
| (10) 159900 | |
| (11) -35400 | |
| (12) -354600 | |
| (13) 461400 | |
| (14) 212700 | |
| (15) 32400 | |
| (16) -433800 | |
| (17) 424200 | |
| (18) 190500 | |



Estimated autocorrelations for diffs

Lag	Estimate	Std.Error	Lag	Estimate	Std.Error
1	-.15273	.20000	2	-.26575	.20461
3	-.30739	.21798	4	.75839	.23468
5	-.11337	.31794	6	-.26772	.31955
7	-.29748	.32840	8	.55521	.33901
9	-.07928	.37362	10	-.22546	.37429
11	-.26378	.37968	12	.40020	.38694

Resultados para la 2a. diferenciación:

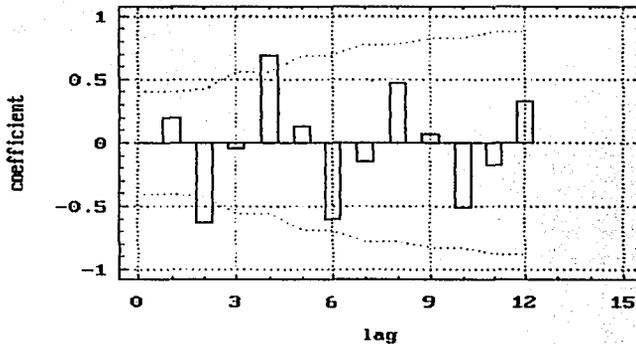
Variable: WORKAREA.DIFFS (length = 24)

- (1) 376500 (14) 245100
 (2) -8100 (15) -401400

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

- (3) -401400 (16) -9600
 (4) -83700 (17) 614700
 (5) 362700 (18) 235800
 (6) 114900 (19) -600600
 (7) -359100 (20) -231300
 (8) -42000 (21) 440700
 (9) 474900 (22) -50100
 (10) 124500 (23) -763655
 (11) -390000 (24) -835856
 (12) 106800
 (13) 674100

Estimated autocorrelations



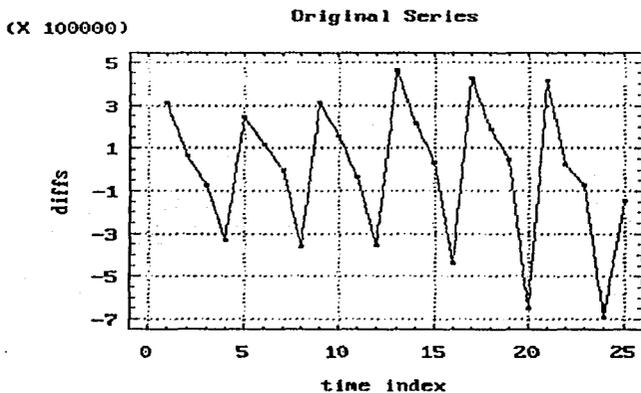
Estimated autocorrelations for diffs

Lag	Estimate	Std.Error	Lag	Estimate	Std.Error
1	.20078	.20412	2	-.62865	.21219

3	-.04195	.27921	4	.69072	.27947
5	.12451	.34331	6	-.60438	.34519
7	-.14773	.38678	8	.47288	.38912
9	.06617	.41237	10	-.50668	.41281
11	-.17383	.43796	12	.32556	.44082

El análisis de los coeficientes de autocorrelación mediante la prueba de hipótesis del 95% de nivel de confianza, lleva a la conclusión de que la serie no es aleatoria, ya que para el caso de la primera diferenciación, se presentan 3 coeficientes fuera de los límites de confianza, y para el caso de la segunda diferenciación, esto son 5 coeficientes.

Se considerará la serie obtenida mediante la primera diferenciación para obtener de ella un pronóstico:



Debido a que se observa estacionalidad en la serie, se aplica el método de Winter con los siguientes valores para los parámetros: $\alpha = 0.2$, $\beta = 0.1$ y $\gamma = 0.3$; y se obtiene la siguiente serie ajustada y los pronósticos respectivos:

Variable: WORKAREA.SMOOTHES (length = 20)

(1) -369872	(17) 187562
(2) -388140	(18) 88760.4
(3) -664632	(19) -153727
(4) -384835	(20) 640856
(5) -226195	
(6) -234295	
(7) -479578	
(8) -97864.8	
(9) 7596.93	
(10) 118027	
(11) 240657	
(12) 173674	
(13) 30897.8	
(14) 58190	
(15) -86024.5	
(16) 993428	

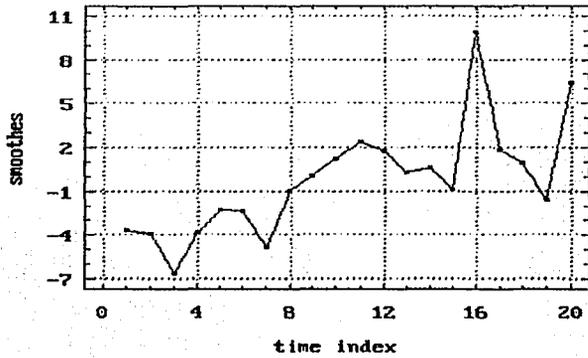
Variable: WORKAREA.FORECASTS (length = 2)

(1) 88208.3
(2) 18987.4

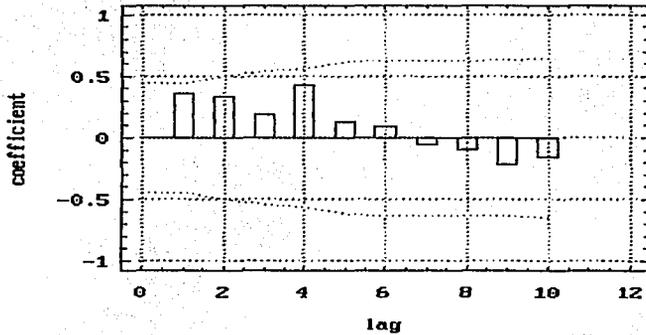
Las siguientes gráficas muestran la serie ajustada obtenida mediante pronósticos y los valores de los coeficientes de correlación respectivamente:

(X 100000)

Original Series



Estimated Autocorrelations



Estimated autocorrelations for smoothes

Lag	Estimate	Std.Error	Lag	Estimate	Std.Error
1	.36305	.22361	2	.33668	.25136
3	.18739	.27298	4	.43056	.27933
5	.12745	.31075	6	.09185	.31335
7	-.05455	.31470	8	-.09225	.31517
9	-.21978	.31652	10	-.15945	.32406

Data: diffs		Percent: 100				
Period	Period					
Forecast	summary	M.E.	M.S.E.	M.A.E.	M.A.P.E.	M.P.E.
26	27					

Winter:	0.2	0.1	0.3	10187.81	.84489E11	366296.
88208.3	18987.4					

La siguiente tabla de comparación muestra que los valores obtenidos como pronósticos de compra resultarían factibles de ser aplicados, ya que se satisface la demanda requerida por los administradores de la empresa a la vez que se mantiene cantidad de compra en inventario, además dicha cantidad no rebasa el límite permitido en bodegas ni durante los meses independientes ni al final del bimestre.

Operaciones de comparación:

	Septiembre 2001	Octubre 2001	
Pronóstico (kg)	88208.3	18987.4	
Valor real (kg)	70000	20000	
Cantidad en inventario (kg) para ser utilizado en el siguiente mes	18208.3	-1012.6	$\Sigma=17195.7$
	(88208.3-70000)	(18987.4-20000)	

A continuación se presenta a manera de resumen tablas con los valores obtenidos:

Producto o artículo	Aleatoriedad	
12RG	No	⇒Aplicar técnica cuantitativa
14RG	Sí	⇒Aplicar técnica cualitativa
16RG	No	⇒Aplicar técnica cuantitativa
18RG	Sí	⇒Aplicar técnica cualitativa
20RG	Sí	⇒Aplicar técnica cualitativa
22RG	Sí	⇒Aplicar técnica cualitativa
24RG	Sí	⇒Aplicar técnica cualitativa
18RB	Sí	⇒Aplicar técnica cualitativa
22RB	Sí	⇒Aplicar técnica cualitativa

Obtención de pronósticos para Julio y Agosto del 2001:

Producto o artículo	Patrones presentados	Método aplicado	Medidas del error			
			EMC	DAM	PEMA	PME
12RG	Estacionalidad	Método de Winter	Residuales no tan moderados	14 tons.	2.49	-1.54
			Pronósticos (kgs)		Valores reales (kgs)	
	Julio 2001		Agosto 2001		Julio 2001	Agosto 2001
	55911.3		26574.7		25201	24516
	Cantidad en inventario para ser utilizado en el siguiente mes (kgs)					
	Julio 2001		30710.3	⇒Factible en inventario		
	Agosto 2001		2058.7	⇒Factible en inventario		
			Σ=32769	⇒Factible en inventario		

Nota: recordar que el límite superior de almacenamiento en inventario es de 400 tons.

Producto o artículo	Patrones presentados	Método aplicado	Medidas del error			
			EMC	DAM	PEMA	PME
16RG	Estacionalidad Tendencia	Método de Winter	Residuales no tan moderados	160 tons.	0.30	-0.66
	Pronósticos (kgs)		Valores reales (kgs)			
	Julio 2001	Agosto 2001	Julio 2001		Agosto 2001	
	490182	1061440	217839		69438	
	Cantidad en inventario para ser utilizado en el siguiente mes (kgs)					
	Julio 2001	272343	⇒Factible en inventario			
	Agosto 2001	992002	⇒No factible en inventario			
		$\Sigma = 1264345$ =1264.345 tons.	⇒No factible en inventario			

Obtención de pronósticos para Septiembre y Octubre del 2001:

Producto o artículo	Aleatoriedad	Patrones presentados	Método aplicado	Pronósticos
12RG	No	Estacionalidad Tendencia negativa	1ª diferenciación	La serie se considera aleatoria

Producto o artículo	Aleatoriedad	Patrones presentados	Método aplicado
16RG	No	Estacionalidad	Método de Winter

16RG	Pronósticos (kgs)		Valores reales (kgs)	
	Septiembre 2001	Octubre 2001	Septiembre 2001	Octubre 2001
	88208.3	18987.4	70000	20000
Cantidad en inventario para ser utilizado en el siguiente mes (kgs)				
	Septiembre 2001	18208.3	⇒Factible en inventario	
	Octubre 2001	-1012.6	⇒Factible en inventario	
		$\Sigma = 17195.7$	⇒Factible en inventario	

IV.4 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos.

Objetivo del modelo: identificar la cantidad de pedido óptima de kilogramos para cada material que satisfaga los requerimientos de la empresa y minimice el costo total; de manera que el modelo planteado permita:

- Especificar el número de kilogramos que deberán pedirse por material, considerando lo que ya se tenga en existencia de dichos materiales. [Demanda e inventario]
- Respetar el rango de capacidad de surtido de proveedores.
- Sustituir un proveedor por otro.

Debe darse prioridad a pedir lo necesario, ya que una de las políticas de la empresa al respecto; y desde luego implícita, necesaria y trascendente en el modelo; es no contar con excedentes grandes de materiales. Además, si existe deficiencia en la capacidad de satisfacer el pedido por parte de los proveedores, debe evitarse no cumplir la demanda de la empresa.

IV.4.1 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 12RG para el mes de septiembre del 2001.

En este caso el número de kilogramos que la empresa pedirá atiende a la demanda actual de material que el departamento de producción en acuerdo con los administrativos requieren, esta se refiere a 80,000 kg.

El análisis de proveedores permisibles en el modelo lleva a lo siguiente: La cotización de precios que se muestra en las tablas de resumen de la sección anterior, muestran que para este material, el proveedor con el precio más económico de venta es Industria Baca Los Ángeles, pero debido a que es un proveedor internacional, a este precio se le agregarían otros costos debido a aspectos que a su vez se mostraron en las tablas de obtención de costos de proveedores internacionales de la sección anterior. Por tal motivo, no se considerará en el modelo; lo mismo ocurre con el proveedor internacional CMPC de Chile. De manera semejante los proveedores internacionales RockTen, Copinsa, y los proveedores nacionales Industria Baca México e Intercartón; quienes además han estipulado que su tiempo de producción de dicho material no está en período de fabricación, por lo que no se encuentran en la posibilidad de satisfacer órdenes de compra; para efectos de análisis, nivel de servicio será el término empleado para hacer referencia a esta característica, y en este caso, se califica como nulo. Los proveedores permisibles por tanto, son: Ponderosa, SCYPM, Promasa y Productora de papel.

IV.4.1.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Ponderosa	$(1-0.15)C_1$	[3, 1000]
SCYPM	C_2 $(1-0.10)C_2$	(0,200) [200,300]

	(1-0.11)C ₂	[300,400)
	(1-0.12)C ₂	[400,500)
	(1-0.13)C ₂	[500,600)
	(1-0.14)C ₂	[600,700)
	(1-0.15)C ₂	[700,800)
Promasa	C ₃	(0,200)
	(1-0.10)C ₃	[200,300)
	(1-0.11)C ₃	[300,400)
	(1-0.12)C ₃	[400,500)
	(1-0.13)C ₃	[500,600)
	(1-0.14)C ₃	[600,700)
	(1-0.15)C ₃	[700,800)
Propasa	(1-0.12) C ₄	(0,1000]

donde C₁= 2.075, C₂= 2.359, C₃= 2.178, C₄=2.055. (Pesos por kilogramo)

IV.4.1.2 Desarrollo del modelo matemático.

$\varphi_1(x_1)=$	{	0	$x_1=0$	1
		$1.76375 x_1$	$3 \leq x_1 \leq 1000$	2
$\varphi_2(x_2)=$	{	0	$x_2=0$	1
		$2.359 x_2$	$0 < x_2 < 200$	2
		$2.1231 x_2$	$200 \leq x_2 < 300$	3
		$2.09951 x_2$	$300 \leq x_2 < 400$	4
		$2.07592 x_2$	$400 \leq x_2 < 500$	5
		$2.05233 x_2$	$500 \leq x_2 < 600$	6
		$2.02874 x_2$	$600 \leq x_2 < 700$	7
		$2.00515 x_2$	$700 \leq x_2 < 800$	8

$\varphi_3(x_3) =$	{	0	$x_3 = 0$	1
		$2.178 x_3$	$0 < x_3 < 200$	2
		$1.9602 x_3$	$200 \leq x_3 < 300$	3
		$1.93842 x_3$	$300 \leq x_3 < 400$	4
		$1.91664 x_3$	$400 \leq x_3 < 500$	5
		$1.89486 x_3$	$500 \leq x_3 < 600$	6
		$1.87308 x_3$	$600 \leq x_3 < 700$	7
		$1.8513 x_3$	$700 \leq x_3 < 800$	8
$\varphi_4(x_4) =$	{	0	$x_4 = 0$	1
		$1.8084 x_4$	$0 < x_4 \leq 1000$	2

Elegir x_1, x_2, x_3 y x_4 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3) + \varphi_4(x_4)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 80,000$$

$$0 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 < 800,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$0 \leq x_4 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3, 4$$

IV.4.1.3 Procedimiento de solución del PPL.

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 3 proveedores permisibles:

$$\min \quad 1.76375x_1 + 2.359x_2 + 2.178x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 80,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 < 200,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3$$

Solución :

$$x_1 = 80,000$$

$$z \min = 141,100$$

(1,0,0), mediante el cual se considera que al proveedor 1 no se le va a comprar:

$$\min \quad 0x_1 + 2.359x_2 + 2.178x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 80,000$$

$$x_1 = 0$$

$$0 \leq x_2 < 200,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3$$

Solución :

$$x_3 = 80,000$$

$$z \min = 174,240$$

(0,1,0), mediante el cual se considera que al proveedor 2 no se le va a comprar:

$$\min \quad 1.76375x_1 + 0x_2 + 2.178x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 80,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$x_2 = 0$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_1 = 80,000$$

$$z \text{ min} = 141,100$$

(0,0,1), mediante el cual se considera que al proveedor 3 no se le va a comprar:

$$\text{min } 1.76375x_1 + 2.359x_2 + 0x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 80,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 < 200,000$$

$$x_3 = 0$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_1 = 80,000$$

$$z \text{ min} = 141,100$$

En este caso se observa que atendiendo a la cantidad de compra solicitada, los niveles permisibles en el modelo para los proveedores 1,2 y 3 son únicamente el 1 y 2, esto debido al rango de toneladas de pedido. Los modelos antes presentados hacen ver que a simple vista puede notarse que conviene comprarle toda la cantidad de kilogramos de pedido al proveedor 1, ya que ofrece el precio más bajo. Sin embargo, el uso del modelo

matemático proporciona, como se observó en este caso; hace ver que es posible elegir la mejor opción en el dado caso de no considerar determinados proveedores, incluso podrían agregarse otros. Además, si a última hora un proveedor no puede satisfacer todo el pedido, es posible modificar el modelo mediante el cambio adecuado en el rango correspondiente.

IV.4.2 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 14RG para el mes de septiembre del 2001.

En este caso, debido al estudio del comportamiento de la serie de tiempo de cantidad de compra de este material realizado en la sección anterior, la consideración de un pronóstico del número de kilogramos que la empresa pedirá no resulta factible; por lo que la decisión sobre la cantidad de material a comprar dependerá del estudio de mercado correspondiente.

Los precios que se muestran en las tablas de resumen de la sección anterior, proporcionan la cotización del mejor precio en el mercado de este material; pero la empresa en este caso únicamente considerará a los proveedores nacionales Ponderosa, SCYPM y Promasa, ya que son los que pueden cumplir la demanda de 25,000 kg que la empresa requiere. Esta cantidad se ha calculado previamente a partir del material existente en bodegas de la empresa; es decir, la empresa desea ocupar el material que guarda en bodegas aunado a su orden de compra para este mes para satisfacer la demanda.

IV.4.2.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Ponderosa	$(1-0.15)C_1$	[3, 1000]
SCYPM	C_2	(0,200)

	(1-0.10) C_2	[200,300]
	(1-0.11) C_2	[300,400]
	(1-0.12) C_2	[400,500]
	(1-0.13) C_2	[500,600]
	(1-0.14) C_2	[600,700]
	(1-0.15) C_2	[700,800]
Promasa	C_3	(0,200)
	(1-0.10) C_3	[200,300]
	(1-0.11) C_3	[300,400]
	(1-0.12) C_3	[400,500]
	(1-0.13) C_3	[500,600]
	(1-0.14) C_3	[600,700]
	(1-0.15) C_3	[700,800]

donde $C_1 = 2.321$, $C_2 = 2.413$, $C_3 = 2.258$. (Pesos por kilogramo)

IV.4.2.2 Desarrollo del modelo matemático.

$\varphi_1(x_1) =$	{	0	$x_1 = 0$	Nivel 1
		$1.97285 x_1$	$3 \leq x_1 \leq 1000$	2
$\varphi_2(x_2) =$	{	0	$x_2 = 0$	1
		$2.413 x_2$	$0 < x_2 < 200$	2
		$2.1717 x_2$	$200 \leq x_2 < 300$	3
		$2.14757 x_2$	$300 \leq x_2 < 400$	4
		$2.12344 x_2$	$400 \leq x_2 < 500$	5
		$2.09931 x_2$	$500 \leq x_2 < 600$	6
		$2.07518 x_2$	$600 \leq x_2 < 700$	7
		$2.05105 x_2$	$700 \leq x_2 < 800$	8

$\varphi_3(x_3) =$	{	0	$x_3 = 0$	1
		$2.258 x_3$	$0 < x_3 < 200$	2
		$2.0322 x_3$	$200 \leq x_3 < 300$	3
		$2.00962 x_3$	$300 \leq x_3 < 400$	4
		$1.98704 x_3$	$400 \leq x_3 < 500$	5
		$1.96446 x_3$	$500 \leq x_3 < 600$	6
		$1.94188 x_3$	$600 \leq x_3 < 700$	7
		$1.9193 x_3$	$700 \leq x_3 < 800$	8

Elegir x_1 , x_2 y x_3 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 25,000.$$

$$0 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 < 800,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

IV.4.2.3 Procedimiento de solución del PPL.

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 3 proveedores permisibles:

$$\text{min } 1.97285x_1 + 2.413x_2 + 2.258x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 25,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 < 200,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3$$

Solución :

$$x_1 = 25,000$$

$$z \text{ min} = 49,314.5$$

(1,0,0), mediante el cual se considera que al proveedor 1 no se le va a comprar:

$$\text{min } 0x_1 + 2.413x_2 + 2.258x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 25,000$$

$$x_1 = 0$$

$$0 \leq x_2 < 200,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3$$

Solución :

$$x_3 = 25,000$$

$$z \text{ min} = 56,450$$

(0,1,0), mediante el cual se considera que al proveedor 2 no se le va a comprar:

$$\text{min } 1.97285x_1 + 0x_2 + 2.258x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 25,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$x_2 = 0$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_1 = 25,000$$

$$z \text{ min} = 49,314.5$$

(0,0,1), mediante el cual se considera que al proveedor 3 no se le va a comprar:

$$\text{min } 1.97285x_1 + 2.413x_2 + 0x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 25,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 < 200,000$$

$$x_3 = 0$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_1 = 25,000$$

$$z \text{ min} = 49,314.5$$

Puede observarse que los niveles permisibles en el modelo para los proveedores son también únicamente el 1 y 2. El modelo para estos casos sencillos, como se ve, tiende a elegir el proveedor que ofrece el precio más bajo. Si se presentaran mas proveedores o cambios en los parámetros, un análisis de sensibilidad tendría que aplicarse al modelo con el resultado óptimo obtenido.

IV.4.3 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RG.

IV.4.3.1 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RG para el mes de septiembre del 2001.

Los proveedores permisibles en el modelo son: Industria Baca (México), Ponderosa, SCYPM y Propasa quienes han estipulado que su tiempo de producción de dicho material está en periodo de fabricación, por lo que se encuentran en la posibilidad de satisfacer órdenes de compra.

IV.4.3.1.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Ind. Baca (México)	C_1	(0,300)
	$(1-0.12)C_1$	[300,500]
	$(1-0.14)C_1$	[500,800]
	$(1-0.16)C_1$	[800,1000]
Ponderosa	$(1-0.15)C_2$	[3, 1000]
SCYPM	C_3	(0,200)
	$(1-0.10)C_3$	[200,300]
	$(1-0.11)C_3$	[300,400]
	$(1-0.12)C_3$	[400,500]
	$(1-0.13)C_3$	[500,600]
	$(1-0.14)C_3$	[600,700]
Propasa	$(1-0.15)C_3$	[700,800]
	$(1-0.12) C_4$	(0,1000]

donde $C_1=2.476$, $C_2=2.527$, $C_3=2.452$, $C_4=2.460$. (Pesos por kilogramo)

IV.4.3.1.2 Desarrollo del modelo matemático.

			Nivel	
$\varphi_1(x_1)=$	{	0	$x_1=0$	1
		$2.476 x_1$	$0 < x_1 < 300$	2
		$2.17888 x_1$	$300 \leq x_1 < 500$	3
		$2.12936 x_1$	$500 \leq x_1 < 800$	4
		$2.07984 x_1$	$800 \leq x_1 < 1000$	5
$\varphi_2(x_2)=$	{	0	$x_2=0$	1
		$2.14795 x_2$	$3 \leq x_2 \leq 1000$	2
$\varphi_3(x_3)=$	{	0	$x_3=0$	1
		$2.452 x_3$	$0 < x_3 < 200$	2
		$2.2068 x_3$	$200 \leq x_3 < 300$	3
		$2.18228 x_3$	$300 \leq x_3 < 400$	4
		$2.15776 x_3$	$400 \leq x_3 < 500$	5
		$2.13324 x_3$	$500 \leq x_3 < 600$	6
		$2.10872 x_3$	$600 \leq x_3 < 700$	7
$2.0842 x_3$	$700 \leq x_3 < 800$	8		
$\varphi_4(x_4)=$	{	0	$x_4=0$	1
		$2.1648 x_4$	$0 < x_4 \leq 1000$	2

Elegir x_1 , x_2 , x_3 y x_4 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3) + \varphi_4(x_4)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = \text{cantidad de compra}$$

$$0 \leq x_1 < 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$0 \leq x_4 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3,4$$

IV.4.3.1.3 Desarrollo con los pronósticos obtenidos.

En este caso la estimación obtenida del número de kilogramos que la empresa pedirá se ha llevado a cabo mediante un pronóstico, la cual fue: 88,208 kg.

Además, los administradores de la empresa desean añadir kilogramos a la cantidad de compra establecida, ya que les interesa guardar excedentes en bodegas para atender a emergencias. Al respecto el pronóstico obtenido aconseja adquirir una cantidad de material relativamente grande para el siguiente mes, por lo que el pronóstico y la situación actual coinciden.

IV.4.3.1.3.1 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	1,2
2	1,2
3	1,2
4	1,2

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 4 proveedores permisibles:

$$\min \quad 2.476x_1 + 2.14795x_2 + 2.452x_3 + 2.1648x_4$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 88,208$$

$$0 \leq x_1 \leq 300,000$$

$$3,000 \leq x_2 < 300,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$0 \leq x_4 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

Solución :

$$x_2 = 88,208$$

$$z \min = 189,466.37$$

Como se observa claramente, la solución óptima del modelo matemático tiende, como se esperaba, al proveedor con el precio más bajo. La decisión que el desarrollo del modelo, su resultado y aplicación sugieren se refiere al proveedor 2.

IV.4.3.1.4 Desarrollo con los datos reales.

Elegir x_1, x_2, x_3 y x_4 de manera que:

$$\text{minimice} \quad \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3) + \varphi_4(x_4)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 75,000$$

$$0 \leq x_1 < 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$0 \leq x_4 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

IV.4.3.1.4.1 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	1,2
2	1,2
3	1,2
4	1,2

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 4 proveedores permisibles:

$$\min 2.476x_1 + 2.14795x_2 + 2.452x_3 + 2.1648x_4$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 75,000$$

$$0 \leq x_1 \leq 300,000$$

$$3,000 \leq x_2 < 300,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$0 \leq x_4 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3, 4$$

Solución :

$$x_2 = 75,000$$

$$z \min = 161,096.25$$

IV.4.3.2 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RG para el mes de octubre del 2001.

El planteamiento del problema es el mismo que para el mes anterior, ya que los precios durante este bimestre no han cambiado.

IV.4.3.2.1 Desarrollo con los pronósticos obtenidos.

Elegir x_1, x_2, x_3 y x_4 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3) + \varphi_4(x_4)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 18,987 \text{ (la cantidad obtenida con el pronóstico se redondea)}$$

$$0 \leq x_1 < 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$0 \leq x_4 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3,4$$

IV.4.3.2.1.1 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	1,2
2	1,2
3	1,2
4	1,2

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 4 proveedores permisibles:

$$\text{min } 2.476x_1 + 2.14795x_2 + 2.452x_3 + 2.1648x_4$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 18,987$$

$$0 \leq x_1 \leq 300,000$$

$$3,000 \leq x_2 < 300,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$0 \leq x_4 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

Solución :

$$x_2 = 18,987$$

$$z \text{ min} = 40,783.13$$

IV.4.3.2.2 Desarrollo con los datos reales.

Elegir x_1, x_2, x_3 y x_4 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3) + \varphi_4(x_4)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 20,000$$

$$0 \leq x_1 < 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$0 \leq x_4 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

IV.4.3.2.2.1 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	1,2
2	1,2
3	1,2
4	1,2

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 4 proveedores permisibles:

$$\min \quad 2.476x_1 + 2.14795x_2 + 2.452x_3 + 2.1648x_4$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 20,000$$

$$0 \leq x_1 \leq 300,000$$

$$3,000 \leq x_2 < 300,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$0 \leq x_4 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

Solución :

$$x_2 = 20,000$$

$$z \min = 42,959$$

IV.4.3.3 Comparación de los resultados obtenidos con los pronósticos y con los datos reales para la minimización de costos del material 16RG.

Resultados usando los datos obtenidos mediante pronósticos:

Suma de costos de septiembre y octubre:

$$189,466.37 + 40,783.13 = 230,249.5$$

Resultados usando los datos reales:

Suma de costos de septiembre y octubre:

$$161,096.25 + 42,959 = 204,055.25$$

Haciendo referencia a la tabla de operaciones de comparación que se presentó al final de la obtención de los pronósticos de compra de este material:

Operaciones de comparación:

	Septiembre 2001	Octubre 2001	
Pronóstico (kg)	88208.3	18987.4	
Valor real (kg)	70000	20000	
Cantidad en inventario (kg) para ser utilizado en el siguiente mes	18208.3	-1012.6	$\Sigma=17195.7$
	(88208.3-70000)	(18987.4-20000)	

Se observa que si se consideran las cantidades de los pronósticos en las compras, se satisface la demanda y se conserva cantidad en inventario, que es justamente lo que los directivos pretenden. Además, de que se aprovecharía el costo actual que los proveedores ofrecen.

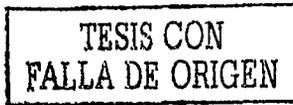
IV.4.4 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 18RG para el mes de septiembre de 2001.

En este caso la demanda de la empresa con respecto a este material no se ha obtenido mediante un pronóstico, sino por un mandato de la administración en base a la cantidad de material existente y a la exigencia de producción con el fin de no detener la producción; esta cantidad es: 100,000 kg.

En este caso se considerará a los proveedores internacionales Industria Baca (Los Ángeles) y CMPC, así como a los proveedores nacionales SCYPM y Productora de Papel; ya que la fecha de entrega que ellos estipulan es adecuada para los administrativos de la empresa, no así la de los demás proveedores; además de que su nivel de servicio no es nulo.

IV.4.4.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Ind. Baca (Los Ángeles)	$C_{1,1}$	[20,300)



Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

	$(1-0.12)C_{1,2}$	[300,500)
	$(1-0.14)C_{1,3}$	[500,800)
CMPC	$C_{2,1}$	[10, 100)
	$(1-0.10)C_{2,2}$	[100,300)
	$(1-0.12)C_{2,3}$	[300,500)
	$(1-0.14)C_{2,4}$	[500,800)
SCYPM	C_3	(0,200)
	$(1-0.10)C_3$	[200,300)
	$(1-0.11)C_3$	[300,400)
	$(1-0.12)C_3$	[400,500)
	$(1-0.13)C_3$	[500,600)
	$(1-0.14)C_3$	[600,700)
	$(1-0.15)C_3$	[700,800)
Propasa	$(1-0.12) C_4$	(0,1000]

donde

$C_{1,1}$ = 9.136 (valor obtenido para el promedio del rango correspondiente),
 $C_{1,2}$ = 9.034 (valor obtenido para el promedio del rango correspondiente),
 $C_{1,3}$ = 9.007 (valor obtenido para el promedio del rango correspondiente),
 $C_{2,1}$ = 9.570 (valor obtenido para el promedio del rango correspondiente),
 $C_{2,2}$ = 8.889 (valor obtenido para el promedio del rango correspondiente),
 $C_{2,3}$ = 8.837 (valor obtenido para el promedio del rango correspondiente),
 $C_{2,4}$ = 8.817 (valor obtenido para el promedio del rango correspondiente),
 C_3 = 2.588, C_4 =2.626. (Pesos por kilogramo)

IV.4.4.2 Desarrollo del modelo matemático.

$\varphi_1(x_1)=$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 9.136 x_1 \\ 7.94992 x_1 \\ 7.74602 x_1 \end{array} \right.$	$x_1=0$	1
		$20 \leq x_1 < 300$	2
		$300 \leq x_1 < 500$	3
		$500 \leq x_1 < 800$	4
$\varphi_2(x_2)=$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 9.570 x_2 \\ 8.0001 x_2 \\ 7.77656 x_2 \\ 7.58262 x_2 \end{array} \right.$	$x_2=0$	1
		$10 \leq x_2 < 100$	2
		$100 \leq x_2 < 300$	3
		$300 \leq x_2 < 500$	4
		$500 \leq x_2 < 800$	5
$\varphi_3(x_3)=$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 2.588 x_3 \\ 2.3292 x_3 \\ 2.30332 x_3 \\ 2.27744 x_3 \\ 2.25156 x_3 \\ 2.22568 x_3 \\ 2.1998 x_3 \end{array} \right.$	$x_3=0$	1
		$0 < x_3 < 200$	2
		$200 \leq x_3 < 300$	3
		$300 \leq x_3 < 400$	4
		$400 \leq x_3 < 500$	5
		$500 \leq x_3 < 600$	6
		$600 \leq x_3 < 700$	7
		$700 \leq x_3 < 800$	8
$\varphi_4(x_4)=$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 2.31088 x_4 \end{array} \right.$	$x_4=0$	1
		$0 < x_4 \leq 1000$	2

Elegir x_1, x_2, x_3 y x_4 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3) + \varphi_4(x_4)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 100,000$$

$$0 \leq x_1 < 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 < 800,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$0 \leq x_4 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

IV.4.4.3 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	1,2
2	1,2,3
3	1,2
4	1,2

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 4 proveedores permisibles:

$$\min \quad 9.136x_1 + 8.000x_2 + 2.588x_3 + 2.3108x_4$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 100,000$$

$$0 \leq x_1 \leq 300,000$$

$$0 \leq x_2 < 300,000$$

$$0 \leq x_3 < 200,000$$

$$0 \leq x_4 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_4 = 100,000$$

$$z \text{ min} = 231,087.9375$$

El análisis de proveedores para la adquisición de la cantidad solicitada de este material es similar a los ya presentados, ya que el precio más bajo en los rangos permisibles claramente se observa en la decisión del proveedor 4.

IV.4.5 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material ZORG para el mes de septiembre del 2001.

En este caso la empresa ha estipulado que desea deshacerse de todo el excedente que guarda en bodegas; por lo que se recomienda que aún así se realice un pedido con el fin de evitar rezagos que ocasionen la suspensión temporal de la producción.

Se considerarán, también conforme a los descuentos que cada uno ofrece de acuerdo a la cantidad de compra, los siguientes proveedores: SCYPM, Industria Baca (México) y Productora de Papel.

IV.4.5.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
SCYPM	C_1	(0,200)
	(1-0.10) C_1	[200,300)
	(1-0.11) C_1	[300,400)
	(1-0.12) C_1	[400,500)
	(1-0.13) C_1	[500,600)
	(1-0.14) C_1	[600,700)
	(1-0.15) C_1	[700,800)
Industria Baca (México)	C_2	(0,300)

(1-0.12)C ₂	[300,500)
(1-0.14)C ₂	[500,800)
(1-0.16)C ₂	[800,1000)

Propasa (1-0.12) C₃ (0,1000]

donde C₁= 2.923, C₂= 2.905, C₃= 2.865. (Pesos por kilogramo)

IV.4.5.2 Desarrollo del modelo matemático.

		Nivel
$\varphi_1(x_1) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 2.923 x_1 \\ 2.6307 x_1 \\ 2.60147 x_1 \\ 2.57224 x_1 \\ 2.54301 x_1 \\ 2.51378 x_1 \\ 2.48455 x_1 \end{array} \right.$	$x_1 = 0$	1
	$0 < x_1 < 200$	2
	$200 \leq x_1 < 300$	3
	$300 \leq x_1 < 400$	4
	$400 \leq x_1 < 500$	5
	$500 \leq x_1 < 600$	6
	$600 \leq x_1 < 700$	7
	$700 \leq x_1 < 800$	8
$\varphi_2(x_2) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 2.905 x_2 \\ 2.5564 x_2 \\ 2.4983 x_2 \\ 2.4402 x_2 \end{array} \right.$	$x_2 = 0$	1
	$0 < x_2 < 300$	2
	$300 \leq x_2 < 500$	3
	$500 \leq x_2 < 800$	4
	$800 \leq x_2 < 1000$	5
$\varphi_3(x_3) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 2.5212 x_3 \end{array} \right.$	$x_3 = 0$	1
	$0 < x_3 \leq 1000$	2

Elegir x_1 , x_2 y x_3 de manera que:

minimice $\varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3)$

sujeto a

$x_1 + x_2 + x_3 =$ cantidad de producto que desea comprarse.

$$0 \leq x_1 < 800,000$$

$$0 \leq x_2 < 1,000,000$$

$$0 \leq x_3 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3$$

El estudio de las ofertas que los proveedores ofrecen en este caso, lleva también a un análisis similar al de la adquisición de los materiales 14RG y 18RG, ya que la cantidad a pedir queda en los primeros 2 niveles de rangos permisibles, lo cual lleva a la elección del proveedor con el precio más bajo (proveedor 3).

IV.4.6 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 22RG para el mes de septiembre del 2001.

En este caso, para el mes en curso, la empresa requiere la cantidad de 250,000 kg de este material.

Ponderosa, SCYPM y Productora de Papel son los proveedores permisibles en el modelo debido a su nivel de servicio no nulo; además, debido a que el proveedor SCYPM es el que mas frecuentemente atiende a la demanda de este material para la empresa, este proveedor tiene guardada ya con anterioridad en sus bodegas cierta cantidad de material con característica de exclusivo para la empresa, por lo que ésta tendrá que hacer uso de dicha cantidad de material, ya que si se guarda por mas tiempo, éste lapso implicará un costo.

IV.4.6.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Ponderosa	$(1-0.15)C_1$	[3, 1000]
SCYPM	C_2	(0,200)
	$(1-0.10)C_2$	[200,300]
	$(1-0.11)C_2$	[300,400]
	$(1-0.12)C_2$	[400,500]
	$(1-0.13)C_2$	[500,600]
	$(1-0.14)C_2$	[600,700]
	$(1-0.15)C_2$	[700,800]
Propasa	$(1-0.12) C_3$	(0,1000]

donde $C_1= 3.189$, $C_2= 3.038$, $C_3= 3.124$. (Pesos por kilogramo)

IV.4.6.2 Desarrollo del modelo matemático.

		Nivel
$\varphi_1(x_1)=$	0	1
	$2.71065 x_1$	2
$\varphi_2(x_2)=$	0	1
	$3.038 x_2$	2
	$2.7342 x_2$	3
	$2.70382 x_2$	4
	$2.67344 x_2$	5
	$2.64306 x_2$	6
	$2.61268 x_2$	7
	$2.5823 x_2$	8

$$\varphi_3(x_3) = \begin{cases} 0 & x_3 = 0 & 1 \\ 2.74912 x_3 & 0 < x_3 \leq 1000 & 2 \end{cases}$$

Elegir x_1, x_2 y x_3 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 250,000$$

$$0 \leq x_1 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_2 \leq 800,000$$

$$0 \leq x_3 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3$$

IV.4.6.3 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	1,2
2	1,2,3
3	1,2

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 3 proveedores permisibles:

$$\text{min } 2.71065x_1 + 2.7342x_2 + 2.74912x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 250,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 200,000$$

$$0 \leq x_2 < 300,000$$

$$0 \leq x_3 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_1 = 200,000$$

$$x_2 = 50,000$$

$$z \text{ min} = 678,840$$

(1,0,0), mediante el cual se considera que al proveedor 1 no se le va a comprar:

$$\text{min } 0x_1 + 2.7342x_2 + 2.74912x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 250,000$$

$$x_1 = 0$$

$$0 \leq x_2 < 300,000$$

$$0 \leq x_3 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_2 = 250,000$$

$$z \text{ min} = 683,550$$

(0,1,0), mediante el cual se considera que al proveedor 2 no se le va a comprar:

$$\text{min } 2.71065x_1 + 0x_2 + 2.74912x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 250,000$$

$$3,000 \leq x_1 < 200,000$$

$$\begin{aligned}x_2 &= 0 \\0 \leq x_3 &< 1,000,000 \\x_j &\geq 0 \quad j=1,2,3\end{aligned}$$

Solución :

$$\begin{aligned}x_1 &= 200,000 \\x_3 &= 50,000 \\z \text{ min} &= 679,585.9375\end{aligned}$$

(0,0,1), mediante el cual se considera que al proveedor 3 no se le va a comprar:

$$\begin{aligned}\text{min} \quad & 2.71065x_1 + 2.7342x_2 + 0x_3 \\ \text{s.a} \quad & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_1 + x_2 + x_3 &= 250,000 \\3,000 \leq x_1 &< 200,000 \\0 \leq x_2 &< 300,000 \\x_3 &= 0 \\x_j &\geq 0 \quad j=1,2,3\end{aligned}$$

Solución :

$$\begin{aligned}x_1 &= 200,000 \\x_2 &= 50,000 \\z \text{ min} &= 678,840\end{aligned}$$

En este caso se observa que la elección óptima debido a que los niveles son los primeros, se inclina hacia el proveedor con la mejor oferta, y como éste ha disminuido el número de kilogramos de material que puede surtir, la solución del modelo tiende a elegir el proveedor más bajo hasta la cantidad de compra coincidente a la cota superior, y el resto de la compra al proveedor con la siguiente mejor oferta.

IV.4.7 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 24RG para el mes de septiembre del 2001.

Demanda de la empresa para el mes en curso: 100,000 kg.

Ponderosa, SCYPM y Productora de Papel son los proveedores permisibles en el modelo debido a su nivel de servicio no nulo. El estudio de compra de material a proveedores ha llevado a la observación que los proveedores más frecuentes de la empresa son los que en este caso se mencionan.

IV.4.7.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Ponderosa	$(1-0.15)C_1$	[3, 1000]
SCYPM	C_2	(0,200)
	$(1-0.10)C_2$	[200,300)
	$(1-0.11)C_2$	[300,400)
	$(1-0.12)C_2$	[400,500)
	$(1-0.13)C_2$	[500,600)
	$(1-0.14)C_2$	[600,700)
	$(1-0.15)C_2$	[700,800)
Propasa	$(1-0.12) C_3$	(0,1000]

donde

$C_1= 3.419$, $C_2= 3.3$, $C_3= 3.354$. (Pesos por kilogramo)

IV.4.7.2 Desarrollo del modelo matemático.

			Nivel	
$\varphi_1(x_1)=$	{	0	$x_1=0$	1
		$2.90615 x_1$	$3 \leq x_1 \leq 1000$	2
$\varphi_2(x_2)=$	{	0	$x_2=0$	1
		$3.3 x_2$	$0 < x_2 < 200$	2
		$2.97 x_2$	$200 \leq x_2 < 300$	3
		$2.937 x_2$	$300 \leq x_2 < 400$	4
		$2.904 x_2$	$400 \leq x_2 < 500$	5
		$2.871 x_2$	$500 \leq x_2 < 600$	6
		$2.838 x_2$	$600 \leq x_2 < 700$	7
		$2.805 x_2$	$700 \leq x_2 < 800$	8
$\varphi_3(x_3)=$	{	0	$x_3=0$	1
		$2.95152 x_3$	$0 < x_3 \leq 1000$	2

Elegir x_1 , x_2 y x_3 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3)$$

sujeto a

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 &= 100,000 \\ 0 \leq x_1 &\leq 1,000,000 \\ 0 \leq x_2 &< 800,000 \\ 0 \leq x_3 &\leq 1,000,000 \end{aligned}$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3$$

IV.4.7.3 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	1,2
2	1,2
3	1,2

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 3 proveedores permisibles:

$$\begin{aligned} \min \quad & 2.90615x_1 + 3.3x_2 + 2.95152x_3 \\ \text{s.a} \end{aligned}$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 100,000$$

$$3,000 \leq x_1 \leq 200,000$$

$$0 \leq x_2 < 200,000$$

$$0 \leq x_3 < 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,3$$

Solución :

$$x_1 = 100,000$$

$$z \text{ min} = 290,615$$

Este caso es similar al anterior modelo en cuanto a la disminución de capacidad de surtido de un proveedor; pero esto no influye en la demanda de la empresa, ya que cualquier de los tres pudiera surtir todo el pedido. El resultado óptimo también en este caso es la elección del proveedor con la mejor oferta.

El desarrollo de los siguientes modelos matemáticos se refiere a materiales que no con frecuencia la empresa tiene demanda de ellos; por lo que hasta la fecha no existen datos históricos de cantidad de compra. Ante

esto se recomienda que en adelante estos datos se registren en una base de datos, ya que en el futuro algún material no considerado hoy como frecuente podría convertirse posteriormente en usual para la demanda de la empresa.

La demanda que se estipula para cada uno atiende a un estándar que la empresa tiene para no detener la producción así como para mantener en bodegas cierta cantidad de material en caso de emergencias. Esto se considera muy adecuado, y de la misma manera se hace énfasis en la recomendación de almacenar en una base de datos todos los pedidos realizados con el fin de tener referencias para estudios posteriores.

Además la empresa cuenta con un acuerdo con los proveedores SCYPM, Ponderosa y Productora de Papel para los materiales que se citan en los modelos que a continuación se presentan; es decir, la empresa encuentra en la lista de clientes exclusivos de dichos proveedores al respecto de estos materiales.

Así mismo, a continuación se presentan los modelos matemáticos y sus soluciones respectivas de acuerdo a una demanda existente por la empresa. La razón por la cual solo los materiales RG (reverso gris) de distintos calibres son los más usuales es porque el tratamiento del cartón por parte del departamento de producción de la empresa se basa en cartones con reverso gris.

IV.4.8 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 12RB para el mes de septiembre del 2001.

Demanda de la empresa para el mes en curso: no hay pedido.

Proveedores permisibles: Promasa, Ponderosa y Productora de Papel.

IV.4.8.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Promasa	C_1	(0,200)

	(1-0.10)C ₁	[200,300]
	(1-0.11)C ₁	[300,400]
	(1-0.12)C ₁	[400,500]
	(1-0.13)C ₁	[500,600]
	(1-0.14)C ₁	[600,700]
	(1-0.15)C ₁	[700,800]
Ponderosa	(1-0.15)C ₂	[3, 1000]
Propasa	(1-0.12) C ₃	(0,1000]

donde C₁= 2.533, C₂= 2.408, C₃= 2.388. (Pesos por kilogramo)

IV.4.8.2 Desarrollo del modelo matemático.

			Nivel
φ ₁ (x ₁)=	0	x ₁ =0	1
	2.533 x ₁	0 < x ₁ < 200	2
	2.2797 x ₁	200 ≤ x ₁ < 300	3
	2.25437 x ₁	300 ≤ x ₁ < 400	4
	2.22904 x ₁	400 ≤ x ₁ < 500	5
	2.20371 x ₁	500 ≤ x ₁ < 600	6
	2.17838 x ₁	600 ≤ x ₁ < 700	7
	2.15305 x ₁	700 ≤ x ₁ < 800	8
φ ₂ (x ₂)=	0	x ₂ =0	1
	2.0468 x ₂	3 ≤ x ₂ ≤ 1000	2
φ ₃ (x ₃)=	0	x ₃ =0	1
	2.10144 x ₃	0 < x ₃ ≤ 1000	2

Elegir x_1, x_2 y x_3 de manera que:

$$\text{minimice } \varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3)$$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 = \text{cantidad demandada}$$

$$0 \leq x_1 < 800,000$$

$$0 \leq x_2 \leq 1,000,000$$

$$0 \leq x_3 \leq 1,000,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3$$

IV.4.9 Desarrollo del modelo matemático de minimización de costos del material 16RB para el mes de septiembre del 2001.

Demanda de la empresa para el mes en curso: 900 toneladas.

Proveedores permisibles: SCYPM, Ponderosa y Productora de Papel.

IV.4.9.1 Planteamiento del modelo matemático.

PROVEEDOR	Precio unitario (Precio por tonelada)	Cantidad (Rango de Toneladas pedidas)
Promasa	C_1	(0,200)
	$(1-0.10)C_1$	[200,300)
	$(1-0.11)C_1$	[300,400)
	$(1-0.12)C_1$	[400,500)
	$(1-0.13)C_1$	[500,600)
	$(1-0.14)C_1$	[600,700)
	$(1-0.15)C_1$	[700,800)
Ponderosa	$(1-0.15)C_2$	[3, 800]

Propasa $(1-0.12) C_3$ $(0,800]$

donde

$C_1 = 3.049$, $C_2 = 2.901$, $C_3 = 2.818$. (Pesos por kilogramo)

IV.4.9.2 Desarrollo del modelo matemático.

	0	$x_1=0$	Nivel
$\varphi_1(x_1)=$	$3.049 x_1$	$0 < x_1 < 200$	1
	$2.7441 x_1$	$200 \leq x_1 < 300$	2
	$2.71361 x_1$	$300 \leq x_1 < 400$	3
	$2.68312 x_1$	$400 \leq x_1 < 500$	4
	$2.65263 x_1$	$500 \leq x_1 < 600$	5
	$2.62214 x_1$	$600 \leq x_1 < 700$	6
	$2.59165 x_1$	$700 \leq x_1 < 800$	7
	$2.59165 x_1$	$700 \leq x_1 < 800$	8
$\varphi_2(x_2)=$	0	$x_2=0$	1
	$2.46585 x_2$	$3 \leq x_2 \leq 800$	2
$\varphi_3(x_3)=$	0	$x_3=0$	1
	$2.47984 x_3$	$0 < x_3 \leq 800$	2

Elegir x_1 , x_2 y x_3 de manera que:

minimice $\varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2) + \varphi_3(x_3)$

sujeto a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 900,000$$

$$0 \leq x_1 < 800,000$$

$$0 \leq x_2 \leq 800,000$$

$$0 \leq x_3 \leq 800,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3$$

IV.4.9.3 Procedimiento de solución del PPL.

Proveedor Niveles a considerar en el modelo debido a la cantidad de compra

1	Todos los niveles establecidos
2	Todos los niveles establecidos
3	Todos los niveles establecidos

(0,0,0), mediante el cual se considera que se pretende comprar a los 3 proveedores permisibles:

$$\min \quad 2.59165x_1 + 2.46585x_2 + 2.47984x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 900,000$$

$$0 \leq x_1 \leq 800,000$$

$$3,000 \leq x_2 < 800,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_2 = 800,000$$

$$x_3 = 100,000$$

$$z \min = 2,220,664$$

(1,0,0), mediante el cual se considera que al proveedor 1 no se le va a comprar:

$$\min \quad 0x_1 + 2.46585x_2 + 2.47984x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 900,000$$

$$x_1 = 0$$

$$3,000 \leq x_2 < 800,000$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_2 = 800,000$$

$$x_3 = 100,000$$

$$z \text{ min} = 2,220,664$$

(0,1,0), mediante el cual se considera que al proveedor 2 no se le va a comprar :

$$\text{min } 2.59165x_1 + 0x_2 + 2.47984x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 900,000$$

$$0 \leq x_1 \leq 800,000$$

$$x_2 = 0$$

$$0 \leq x_3 < 800,000$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3$$

Solución :

$$x_1 = 100,000$$

$$x_3 = 800,000$$

$$z \text{ min} = 2,243,037$$

(0,0,1), mediante el cual se considera que al proveedor 3 no se le va a comprar :

$$\text{min } 2.59165x_1 + 2.46585x_2 + 0x_3$$

s.a

$$x_1 + x_2 + x_3 = 900,000$$

$$\begin{aligned}0 &\leq x_1 \leq 800,000 \\3,000 &\leq x_2 < 800,000 \\x_3 &= 0 \\x_j &\geq 0 \quad j=1,2,3\end{aligned}$$

Solución :

$$\begin{aligned}x_1 &= 100,000 \\x_2 &= 800,000 \\z \text{ min} &= 2,231,845\end{aligned}$$

En este caso, aunque se consideran todos los niveles establecidos, la elección óptima también se inclina hacia la mejor oferta.

IV. 5 Presentación de resultados e implementación del sistema.

Como ya se mencionó, es recomendable disponer de una base de datos que registre los datos de toma de decisiones e información que los administradores de la empresa han venido recopilando a través del tiempo. De esta manera los analistas del sistema de minimización de costos en la elección de proveedores, seleccionarán los registros o datos de interés para el modelo, los cuales se almacenarán posteriormente en una tabla con formato de salida de impresión como reporte referentes a la información de cotización de precios de proveedores permisibles con el fin de que estos valores constituyan los parámetros del modelo matemático desarrollado. Por tal motivo, se recomienda emprender la decisión estratégica consistente en la implementación de una base de datos la cual funcionará como sistema de operaciones, ya que como se ha indicado, ésta ejecutará ciertas operaciones con selecciones previas de datos (procesamiento de datos) cuyos resultados conformarán los parámetros del modelo matemático auxiliar en la toma de

decisiones sobre la minimización de costos en la elección de proveedores; lo cual, asimismo implica la recomendación de emprender las decisiones operacionales consistentes en la realización de pronósticos de compra que se usen como entrada de los modelos matemáticos.

Atendiendo a la hipótesis de un modelo de Investigación de Operaciones: la solución del problema se ha examinado en cuanto a sus alcances prácticos ya que logra los objetivos que la organización esperaba. Esto es, minimizar el costo de compra a proveedores; además de que se proporciona documentación que respalda la toma de decisiones mediante un análisis matemático del problema, el cual identifica el mejor curso de acción posible de acuerdo a los lineamientos de la empresa.

De esta manera la documentación a continuación presentada así como el informe de implementación del sistema de base de datos y el uso del modelo matemático llevado a cabo, reflejan un enfoque a largo plazo en la decisiones de los directivos de la empresa, ya que de esta manera sus decisiones tendrán un respaldo y su sistema será automatizado con la meta de proporcionar la mejor guía en las decisiones que conjuntamente con el juicio personal sustentarán también la toma de decisiones.

IV.5.1 Documentación de la aplicación del modelo matemático: reporte a la gerencia.

El análisis de los datos de compra que la organización ha recopilado así como de los precios de proveedores, ha llevado a realizar algunos pronósticos sobre la demanda futura, y en otros casos a únicamente atender la demanda de la empresa con el objetivo de minimizar el costo de elección de proveedores. Se llevaron a cabo pronósticos de la demanda de compra futura de los tipos de cartonillos reverso gris calibre 12 (12RG) para los meses julio y agosto del 2001 y reverso gris calibre 16 (16RG) para julio, agosto, septiembre y octubre del 2001; ya que el análisis de datos recopilados en estos casos llevó a un resultado fundamentado mediante la

aplicación de técnicas de pronósticos.

P r o n ó s t i c o s (k g s)				
	Julio 2001	Agosto 2001	Septiembre 2001	Octubre 2001
12RG	55,911.3	26,574.7	----	----
16RG	490,182	1,061,440 ₁	88208	18987

₁No factible

En los casos de los cartonillos reverso gris calibre 14 (14RG), reverso gris calibre 18 (18RG), reverso gris calibre 20 (20RG), reverso gris calibre 22 (22RG), reverso gris calibre 24 (24RG), reverso blanco calibre 12 (12RB) y reverso blanco calibre 16 (16RB), el análisis de pronósticos para la serie de datos en cada caso no resultó factible de pronóstico, por lo que se atiende a la demanda que los administradores requieren los meses indicados:

D e m a n d a (k g s)				
	Julio 2001	Agosto 2001	Septiembre 2001	Octubre 2001
12RG	25,201 ₁	24,516 ₁	80,000	20,000
16RG	217,839 ₁	69,438 ₁	70,000	20,000
14RG	50,000	35,000	25,000	20,000
18RG	150,000	85,000	100,000	75,000
20RG	200,000	158,000	Demanda ₂	200,000
22RG	195,000	87,500	250,000	50,000
24RG	120,000	0	100,000	45,000
12RB	25,000	0	0 (no hay pedido)	0
16RB	38,000	45,000	900,000	20,000

₁ Datos reales para los cuales no se dio la indicación de redondearlos por parte de directivos de la organización.

₂ Durante el mes de septiembre del 2001 no se registró el dato correspondiente.

Aplicación del modelo:
planteamiento, desarrollo y resultados

El uso del modelo matemático de minimización de costos lleva a la elección óptima de los siguientes proveedores para cada material con su costo indicado correspondientemente.

	Julio 2001			Agosto 2001		
	Pedido (kgs)	Proveedor(es)	Costo (\$)	Pedido (kgs)	Proveedor(es)	Costo (\$)
12RG	55,911.3	*	*	26,574.7	*	*
16RG	490,182	*	*	1,061,440	*	*
14RG	50,000	*	*	35,000	*	*
18RG	150,000	*	*	85,000	*	*
20RG	200,000	*	*	158,000	*	*
22RG	195,000	*	*	87,500	*	*
24RG	120,000	*	*	100,000	*	*
12RB	25,000	*	*	0	*	*
16RB	38,000	*	*	45,000	*	*

* Debido a que únicamente se cuenta con la actualización de precios para los meses septiembre y octubre, los datos correspondientes a las celdas marcadas no se calculan.

	Septiembre 2001		
	Pedido (kgs)	Proveedor(es)	Costo (\$)
12RG	80,000	Ponderosa	141,100
16RG (Pronósticos)	88208	Ponderosa	189,466.37
16RG (Datos reales)	75,000	Ponderosa	161,096.25
14RG	25,000	Ponderosa	49,314.5
18RG	100,000	Propasa	231,087.94
20RG	Demanda	Propasa	2.5212×Demanda
22RG	250,000	Ponderosa (200,000) y SCYPM (50,000)	678,840
24RG	100,000	Ponderosa	290,615

12RB	0	-----	-----
16RB	900,000	Ponderosa (800,000)y Propasa (100,000)	2,220,664

Octubre 2001		
Pedido (kgs)	Proveedor(es)	Costo (\$)
20,000	**	**
18,987	Ponderosa	40,783.13
20,000	Ponderosa	42,959
20,000	**	**
75,000	**	**
200,000	**	**

** Los datos correspondientes podrán obtenerse si se aplica nuevamente el modelo matemático para el pedido correspondiente.

IV.5.2 Informe de implementación de una base de datos.

En SQL se tiene lo siguiente:

IV.5.2.1 Definición de la estructura y organización de la base de datos.

Tablas involucradas:

PROVEEDORES, REGISTROCOMPRAS, MATERIAL

PROVEEDORES	
Prov descripcion	Varchar(30)
Prov direccion	Varchar(50)
Prov pais	Varchar(10)
Prov telefono1	Varchar(13)
Prov telefono2	Varchar(13)
Prov fax	Varchar(13)
Prov_email	Varchar(20)

REGCOMPRAS	
Proveedor	Varchar(15)
Material	Varchar(30)
Fecha	Date
CantidadCompra	Numeric(13,2)
PrecioPorUnidad	Numeric(13,2)
PrecioTotal	Numeric(13,2)

MATERIAL	
Mat descripcion	Varchar(30)
Mat desc corta	Varchar(6)

En la tabla PROVEEDORES, se compendian los registros correspondientes a los datos particulares que más interesa conocer de cada proveedor. Asimismo, en la tabla MATERIAL se registran una lista de los artículos que se compran; y en la tabla REGCOMPRAS se lleva a cabo el registro que debe realizarse de todas las compras que la empresa lleve a cabo, con el fin de que la consulta de esta información sea accesible de una manera rápida y sencilla. Además se recomienda crear una tabla COMPENDIOMES donde se registren el total de material que se pidió durante cada mes para posteriormente realizar pronósticos directamente con los datos de esta última tabla.

COMPENDIOMES	
FechaMesAño	Date
Mat desc corta	Varchar(6)
Compra(kgs)	Numeric(13,2)

Como puede apreciarse, con esta estructura de la base de datos, se pretende que ésta pueda aplicarse de manera general a cualquier área de empresas que presente una problemática similar.

En cuanto a los tipos y longitudes de los campos, Varchar(n) se refiere a un tipo de datos alfanumérico de longitud variable ya que el gasto de caracteres se ajusta en cada caso al valor introducido. Date se refiere a un

tipo de dato tipo fecha y Numeric(p,q) a un entero con opción de decimal donde p es el número de dígitos de la parte entera y q es el de la parte decimal.

IV.5.2.2 Información sobre privilegios.

Debido a que la base de datos requiere de seguridad para la integridad de los datos que contiene y su uso correcto, se asignan privilegios a algunos usuarios con el fin de que sólo ellos tengan permitido el acceso a la base de datos. Así, algunos usuarios tendrán permitido actualizar (UPDATE) los datos en alguna tabla en particular, y a otros se les permitirá recuperar datos (SELECT) e incluso borrarlos (DELETE) o agregar algunos (INSERT). Además, otros tendrán acceso al programa de aplicación pero no así a la base de datos.

El uso de la sentencia GRANT concede privilegios a los usuarios; y en su lugar, la sentencia REVOKE los remueve.

Ejemplos:

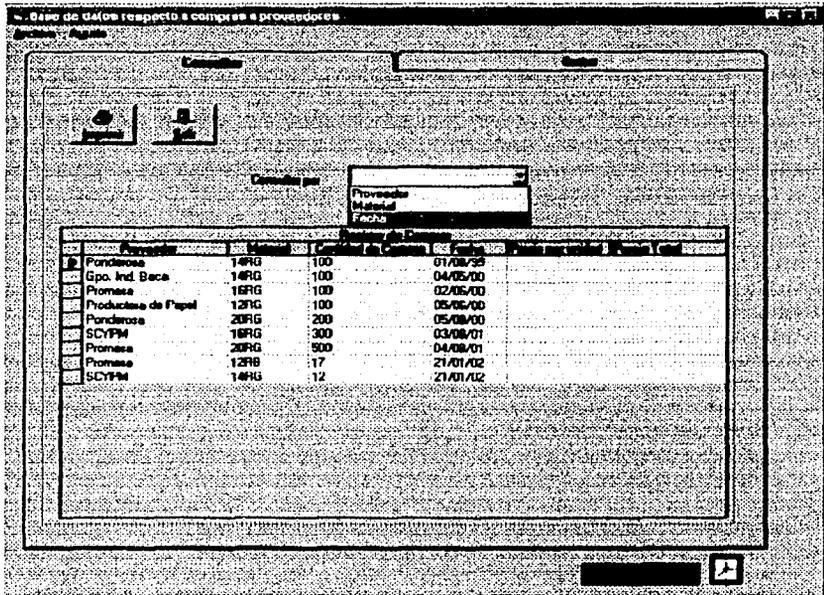
```
GRANT SELECT, INSERT  
ON REGISTROCOMPRAS  
TO ROSALINDA
```

```
GRANT ALL PRIVILEGES(PROVEEDOR,PRECIO)  
ON PRECIOS  
TO INGLUNA
```

```
GRANT SELECT  
ON MATERIAL  
TO PUBLIC
```

(en este caso se concede el acceso a todos los usuarios)

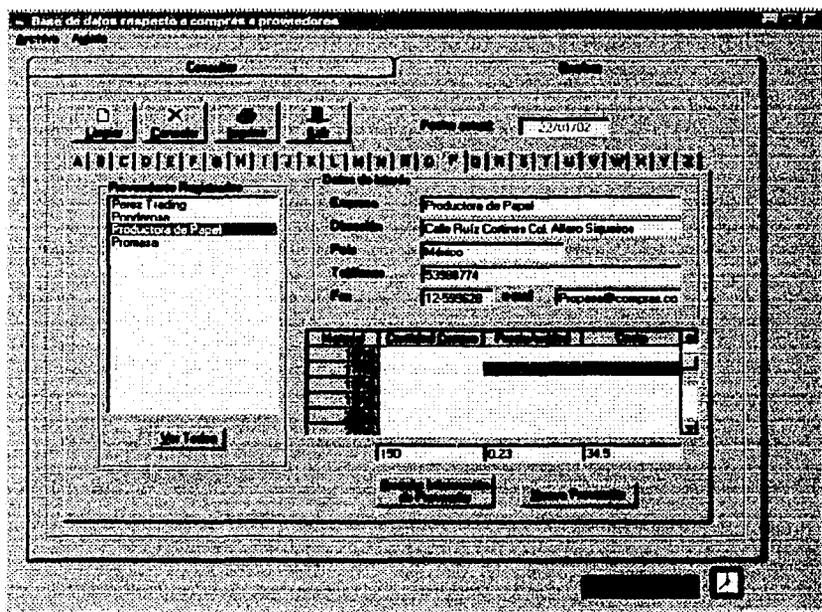
IV.5.2.3 Formulario en Visual Basic.



La forma realizada en Visual Basic v.6, proporciona primeramente, la opción **Consultar** mediante la cual el usuario elige el orden en que desea que aparezcan los datos de la tabla de registro de compras. Cuando se pulse el objeto **Imprimir**, la información que previamente deberá seleccionarse como en un escrito de procesador de texto, será enviada a un puerto de impresión que esté previamente habilitado.

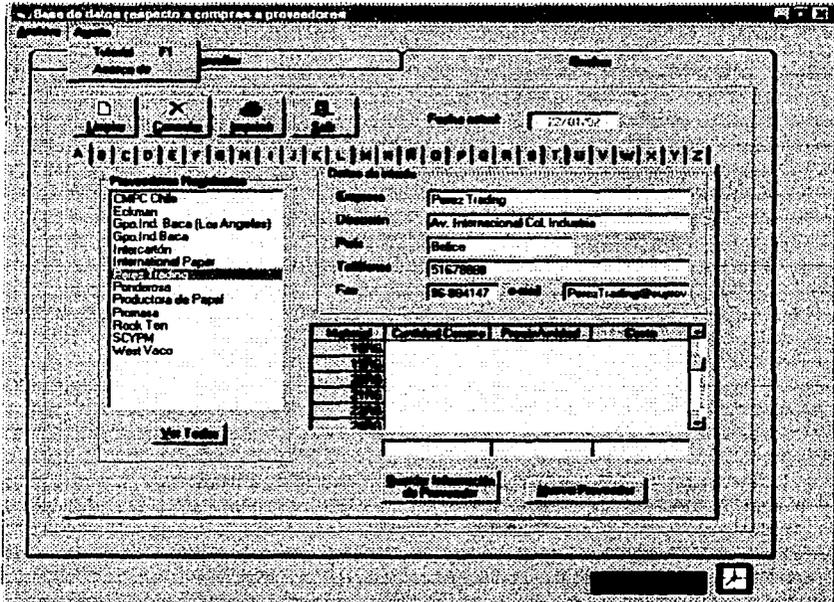
La siguiente opción es **Grabar**, la cual muestra mediante un formato de agenda la información del proveedor elegido. Además, deberán introducirse los datos del material que se pretende comprar, esto es, la cantidad de compra, el precio por unidad que el proveedor estipula y el costo total de la

compra, en este caso, este último campo es introducido por el usuario ya que como se vio anteriormente, el costo final puede estar sujeto a porcentajes de descuento. Mediante la pulsación del objeto Nuevo Proveedor, se permite editar los datos del proveedor y se guardarán con la pulsación del objeto Guardar Información de Proveedor. El objeto Cancelar permite borrar un registro de la base de datos que se haya introducido únicamente en la fecha actual. Y el objeto Impresión envía la información de pedido al proveedor en la fecha actual.



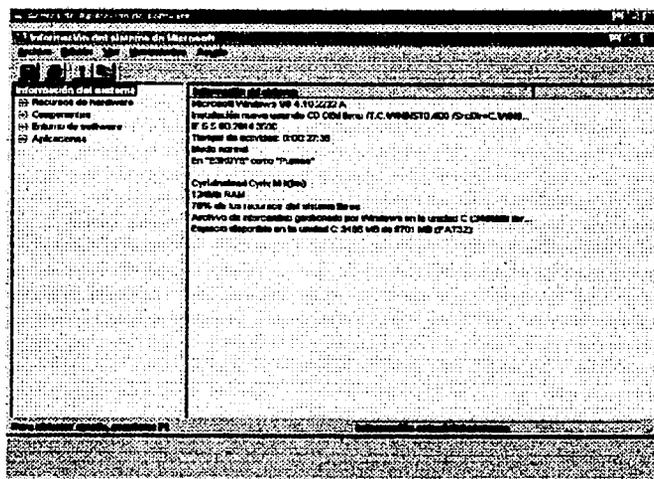
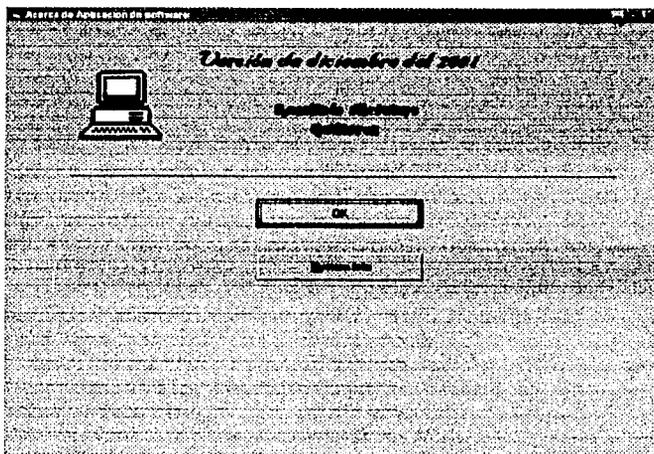
La barra de menú en la forma muestra las opciones desplegables Archivo y Ayuda. Esta última permite ver el Tutorial de la aplicación con acceso inmediato mediante la pulsación de la tecla F1; así como el contenido de

Acerca de, que aparece en aplicaciones distribuidas la cual contiene información de la versión de la aplicación, sobre derechos de autor y un objeto de pulsación que muestra la información del sistema (System Info) en una ventana independiente de la aplicación.

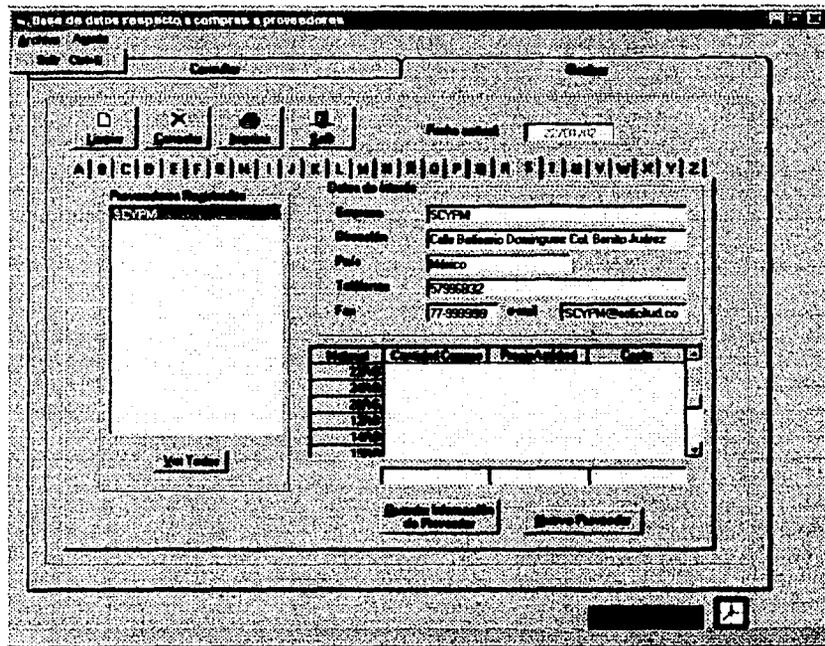


La siguiente es la forma que muestra la información del sistema:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Y a continuación se presenta el menú desplegable Archivo con la opción Salir de la aplicación.



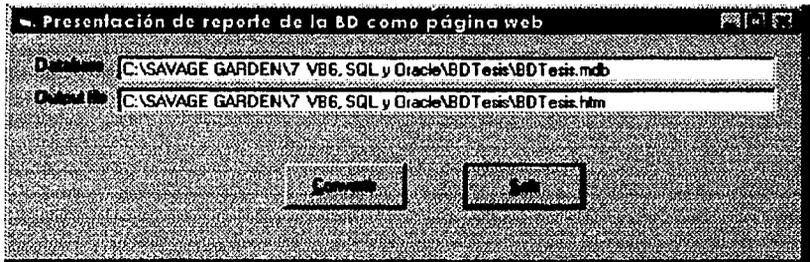
Si se pretende consultar, entonces aparecerán fechas pasadas. Si se trata de grabar una nueva compra, la fecha que aparecerá será la actual, se mostrarán en el objeto grid de materiales los pedidos que en dicha fecha ya se hayan realizado al proveedor seleccionado, esta información puede ser cancelada mediante la pulsación del objeto Cancelar. La información completa que esté presente en el rubro Grabar de la forma, después de pulsar el objeto Guardar Información de Proveedor, se almacenará en la

tabla REGCOMPRAS con el fin de que posteriormente sea material disponible para pronósticos.

IV.5.3 Información de la base de datos a usuarios de red.

El siguiente formulario diseñado en Visual Basic v.6 y el código correspondiente que se muestra también a continuación, se crearon con el fin de realizar una página web como reporte del contenido actual de la base de datos de la organización, si es que se agregaran nuevas tablas con información requerida. Esto con el fin de que los administradores que se encuentren conectados en una red, cuenten con la información actual de la base de datos sin que tengan que acceder directamente a ella, ya que la autorización de acceso suele ser restringida. En este caso sólo se muestran algunos datos.

IV.5.3.1 Formulario en Visual Basic.



IV.5.3.2 Código en Visual Basic.

Option Explicit

- ' Creación de un reporte en HTML de las tablas existentes en la base de datos.
- ' En este caso se considera que la base de datos y el programa en Visual Basic se encuentran en el mismo directorio.

Private Sub Command1_Click()

```
Dim fnum As Integer
Dim db As Database
Dim rs As Recordset
Dim num_fields As Integer
Dim i As Integer
Dim num_processed As Integer
Dim num_totalprocessed As Integer
```

On Error GoTo MiscError

' Abrir un archivo en modo output.

fnum = FreeFile

Open txtHTMLFile.Text For Output As fnum

' Escribir HTML header information.

Print #fnum, "<HTML>"

Print #fnum, "<HEAD>"

Print #fnum, "<TITLE>Reporte de contenido de la base de datos</TITLE>"

Print #fnum, "</HEAD>"

' Display de la tabla PRECIOS

' *****

Print #fnum, ""

Print #fnum, "<BODY TEXT=#000000 BGCOLOR=#CCCCCC>"

Print #fnum, "<H1>Tabla Precios</H1>"

' Empezar tabla HTML.

Print #fnum, "<TABLE WIDTH=100% CELLPADDING=2 CELLSPACING=2
BGCOLOR=#00C0FF BORDER=1>"

' Abrir la base de datos.

Set db = OpenDatabase(txtDatabase.Text)

' Abrir el recordset.

Set rs = db.OpenRecordset(_

```
"SELECT * FROM Precios ORDER BY Fecha")
```

```
' Usar el nombre de los campos como table column headers.
```

```
Print #fnum, " <TR>" ' Empieza una línea.
```

```
num_fields = rs.Fields.Count
```

```
For i = 0 To num_fields - 1
```

```
    Print #fnum, " <TH>";
```

```
    Print #fnum, rs.Fields(i).Name;
```

```
    Print #fnum, "</TH>"
```

```
Next i
```

```
Print #fnum, " </TR>"
```

```
' Procesar los registros.
```

```
Do While Not rs.EOF
```

```
    num_processed = num_processed + 1
```

```
    num_totalprocessed = num_totalprocessed + 1
```

```
    ' Empezar una nueva línea para este registro.
```

```
    Print #fnum, " <TR>";
```

```
    For i = 0 To num_fields - 1
```

```
        Print #fnum, " <TD>";
```

```
        Print #fnum, rs.Fields(i).Value;
```

```
        Print #fnum, "</TD>"
```

```
    Next i
```

```
    Print #fnum, "</TR>";
```

```
rs.MoveNext
```

```
Loop
```

```
' Terminar la tabla.
```

```
Print #fnum, "</TABLE>"
```

```
Print #fnum, "<P>"
```

```
Print #fnum, "<H3>" & _
```

```
    Format$(num_processed) & _
```

```
    " registros existentes.</H3>"
```

```
'Print #fnum, "<HR COLOR=C000C0>"
```

```
' Print #fnum, "Realizar conexión <A HREF=http://www.vb-helper.com>VB  
Helper</A>."
```

```
' Display de la tabla REGISTROCOMPRAS
```

```
*****
```

```
Print #fnum, ""
```

```
Print #fnum, "<BODY TEXT=#000000 BGCOLOR=#CCCCCC>"
```

```
Print #fnum, "<H1>Tabla ComprasPorMes</H1>"
```

```
' Empezar tabla HTML.
```

```
Print #fnum, "<TABLE WIDTH=100% CELLPADDING=2 CELSPACING=2  
BGCOLOR=#00C0FF BORDER=1>"
```

```
' Abrir el recordset.
```

```
Set rs = db.OpenRecordset( _  
"SELECT * FROM ComprasporMes ORDER BY Fecha")
```

```
' Usar el nombre de los campos como table column headers.
```

```
Print #fnum, " <TR>" ' Empieza una línea.
```

```
num_fields = rs.Fields.Count
```

```
For i = 0 To num_fields - 1
```

```
Print #fnum, " <TH>"
```

```
Print #fnum, rs.Fields(i).Name;
```

```
Print #fnum, "</TH>"
```

```
Next i
```

```
Print #fnum, " </TR>"
```

```
' Procesar los registros.
```

```
num_processed = 0
```

```
Do While Not rs.EOF
```

```
num_processed = num_processed + 1
```

```
num_totalprocessed = num_totalprocessed + 1
```

```
' Empezar una nueva línea para este registro.
```

```
Print #fnum, " <TR>"
```

```
For i = 0 To num_fields - 1
    Print #fnum, "      <TD>";
    Print #fnum, rs.Fields(i).Value;
    Print #fnum, "</TD>"
Next i
Print #fnum, "</TR>";

rs.MoveNext
Loop

' Terminar la tabla.
Print #fnum, "</TABLE>"
Print #fnum, "<P>"
Print #fnum, "<H3>" & _
    Format$(num_processed) & _
    " registros existentes.</H3>"

' Display de la tabla COMPENDIOMES
'*****
Print #fnum, ""
Print #fnum, "<BODY TEXT=#000000 BGCOLOR=#CCCCCC>"
Print #fnum, "<H1>CompendioMes</H1>"

' Empezar tabla HTML.
Print #fnum, "<TABLE WIDTH=100% CELLPADDING=2 CELLSPACING=2
BGCOLOR=#00C0FF BORDER=1>"

' Abrir el recordset.
Set rs = db.OpenRecordset( _
    "SELECT * FROM Compendiomes ORDER BY Fecha")

' Usar el nombre de los campos como table column headers.
Print #fnum, " <TR>" ' Empieza una línea.
num_fields = rs.Fields.Count
For i = 0 To num_fields - 1
    Print #fnum, "      <TH>";
```

```
Print #fnum, rs.Fields(i).Name;
Print #fnum, "</TH>"
Next i
Print #fnum, " </TR>"

' Procesar los registros.
num_processed = 0
Do While Not rs.EOF
    num_processed = num_processed + 1
    num_totalprocessed = num_totalprocessed + 1
    ' Empezar una nueva línea para este registro.
    Print #fnum, " <TR>";

    For i = 0 To num_fields - 1
        Print #fnum, " <TD>";
        Print #fnum, rs.Fields(i).Value;
        Print #fnum, "</TD>"
    Next i
    Print #fnum, "</TR>";

    rs.MoveNext
Loop

' Terminar la tabla.
Print #fnum, "</TABLE>"
Print #fnum, "<P>"
Print #fnum, "<H3>" & _
    Format$(num_processed) & _
    " registros existentes.</H3>"

' Fin de la presentación
*****
Print #fnum, "<HR COLOR=C000C0>"
Print #fnum, "Realizar conexión <A HREF=http://www.vb-helper.com>VB
Helper</A>."
```

```
Print #fnum, "</BODY>"
Print #fnum, "</HTML>"

' Cerrar el archivo y la base de datos.
rs.Close
db.Close
Close fnum
MsgBox "Procesados " & _
    Format$(num_totalprocessed) & " registros."

Exit Sub

MiscError:
    MsgBox "Error " & Err.Number & _
        vbCrLf & Err.Description
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    End
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Dim path_name As String

    path_name = App.Path
    If Right$(path_name, 1) <> "\" Then _
        path_name = path_name & "\"
    txtDatabase.Text = path_name & "BDTesis.mdb"
    txtHTMLFile.Text = path_name & "BDTesis.htm"
End Sub
```

IV.5.3.3 Presentación de la página web generada.

Reporte de contenidos de la base de datos - tutorial

Tabla Precios

id_producto	descripcion	precio
1	Producto 1	100
2	Producto 2	200
3	Producto 3	300
4	Producto 4	400
5	Producto 5	500
6	Producto 6	600
7	Producto 7	700
8	Producto 8	800
9	Producto 9	900
10	Producto 10	1000

10 registros existentes.

Reporte de contenidos de la base de datos - tutorial

Tabla ComprasPorMes

id_producto	descripcion	cantidad	precio
1	Producto 1	10	100
2	Producto 2	20	200
3	Producto 3	30	300
4	Producto 4	40	400

4 registros existentes.

CompendioMes

id_producto	descripcion	cantidad	precio
1	Producto 1	10	100
2	Producto 2	20	200
3	Producto 3	30	300
4	Producto 4	40	400

TESIS CON
FALLA DE COPIEN

Reporte de contenidos de la base de datos: Tulapia

Clasificación: [C] CAJAYOTE GARDENY7 VEG. SOL y Crack1BOT (en) [0] [1] Masas Herb

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4

1/1/1998

Reporte de contenidos de la base de datos: Tulapia

Clasificación: [C] CAJAYOTE GARDENY7 VEG. SOL y Crack1BOT (en) [0] [1] Masas Herb

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4

28 registros existentes.

Realizar consulta VR Help er.

1/1/1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo ha permitido recopilar, analizar, aplicar además de actualizar aspectos que el profesionista en Matemáticas Aplicadas y Computación es capaz de proporcionar en el ámbito empresarial.

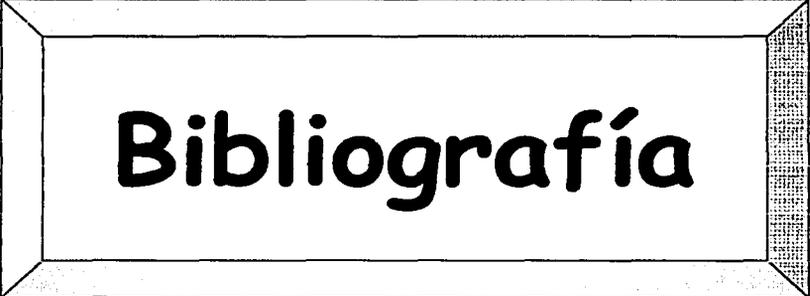
Se ha logrado comprobar la hipótesis del modelo de Investigación de Operaciones desarrollado, ya que éste es una abstracción que proporciona el curso correcto de elección del mejor proveedor para la compra de materiales requeridos que minimiza el costo. Es decir, las soluciones obtenidas mediante el mismo son también válidas para el problema real. Lo cual aporta un punto mas a favor de las matemáticas aplicadas y en particular de la Investigación de Operaciones en la obtención de un soporte teórico que conduce a soluciones satisfactorias para problemas reales.

Con los métodos de pronósticos se ha corroborado que éstos son instrumentos útiles en la representación y obtención de pronósticos de series de tiempo. Y que deben considerarse factores y criterios en la evaluación de sus estrategias aplicadas, con el fin de elegir el método que proporcione el mejor ajuste del modelo a los datos. Al respecto el presente trabajo pretende ser de utilidad como una guía en dicha elección y su uso correcto con el fin de obtener los resultados deseados.

En la obtención de pronósticos, desarrollo y solución de modelo se ha tenido siempre en consideración el principio de parsimonia, lo cual resulta fundamental en el estudio de métodos matemáticos aplicados a problemas reales.

Así mismo, se ha proporcionado una directriz técnica propia de la carrera, que con paso firme y organizado, con las herramientas teóricas y de software, intelecto e imaginación; un licenciado en MAC pretende proporcionar con el fin de representar y mejorar los objetivos y resultados de toda organización hacia una vanguardia que permita mayores beneficios y costos reducidos. Y sobre todo, que signifique un sustento teórico y/o práctico de las decisiones mediante la implementación de modelos y sistemas automatizados.

Por último, se invita a estudiantes de MAC y carreras afines interesados en desarrollar directrices teórico/prácticas como la expuesta en el presente trabajo de tesis: a investigar sobre la implementación de Sistemas de Bases de Datos de Conocimiento Inteligente (IKBS: Intelligent Knowing Data Base System) ya que como se mencionó en el Capítulo IV, el estudio de las bases de datos inteligentes ha llegado a ser un área interesante en la investigación de las bases de datos. Además a recordar que cada vez que el ser humano avanza en el camino de la tecnología, a la vez se abren nuevas puertas en el campo de aplicación de las matemáticas, lo cual deja claro que en el mundo real es aún extensa la porción del mismo que las matemáticas aplicadas pueden abordar y por tanto, pueden surgir nuevas directrices que perfeccionen y a la vez faciliten métodos de solución ya existentes incluso en problemas nuevos no estudiados anteriormente.



Bibliografía

- (1) "Análisis estadístico con Statgraphics Técnicas básicas"
César Pérez López
Ed. Alfaomega
México, 1997
- (2) "Aplique SQL"
James R. Groff, Paul N: Weinberg
Ed. McGraw-Hill
México, 1991
- (3) "Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero"
Colección Aprenda ... como si estuviera en primero
Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Alfonso Brazales
Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Navarra
San Sebastián, agosto 1999
- (4) "Costos, Contabilidad, Análisis y Control"
A. Wayne Corcoran
Ed. Limusa, 1990
- (5) "Econometría y análisis estadístico multivariable con Statgraphics
Técnicas avanzadas"
César Pérez López
RA-MA Editorial
México, 1996
- (6) "Estadística Matemática con Aplicaciones"
William Mendenhall, Dennis D. Wackerly, Richard L. Scheaffer
2a. ed.
Grupo Editorial Iberoamérica
México, 1994

- (7) "Forecasting Methods for Management"
Spyros Makridakis, Steven C. Wheelwright
John Wiley and Sons
United States, 1989
- (8) "Fundamentos de Investigación de Operaciones"
Russell L. Ackoff, Maurice W. Sasieni
Editorial Limusa, 1991
- (9) "Fundamentos de los Sistemas de Bases de Datos"
S.M. Deen
Colección Ciencia Informática
- (10) "Introducción a la Investigación de Operaciones"
Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman
6ª. ed.
Editorial McGraw-Hill, 1997.
- (11) "Introducción a los modelos cuantitativos para administración"
David R. Anderson, Dennis J. Sweeney
Grupo Editorial Iberoamérica
México, 1993
- (12) "Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa"
G.D. Eppen, F.J. Gould
Ed. Prentice Hall
México, 1987
- (13) "Investigación de Operaciones El arte de la toma de decisiones"
Daniel Solow, Kamlesh Mathur
Ed. Prentice-Hall
México, 1996

- (14) "Investigación de Operaciones Una introducción"
Hamdy A. Taha
5a. ed.
Ed. Prentice Hall
- (15) "Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración"
Charles A. Gallagher, Hugh J. Watson
Ed. McGraw-Hill
México, 1982
- (16) "Métodos y modelos de Investigación de Operaciones"
Vol. I Modelos determinísticos
Juan Prawda Witenbeg
Editorial Limusa
México, 1990
- (17) "Modelos Cuantitativos para Administración"
K. Roscoe Davis, Patrick G. Mckeown
Grupo Editorial Iberoamérica
México, 1986
- (18) "Modelos de Decisión con Procesos Estocásticos II (Metodología de Box-Jenkins)"
González Videgaray, Ma. del Carmen
UNAM ENEP Acatlán, 1990
- (19) "Non Linear Programming Analysis and Methods"
Morderai Avriel
Ed. Prentice-Hall
- (20) "Organización de las Bases de Datos"
James Martín
Ed. Prentice-Hall



- (21) "Probabilidad y Estadística: aplicaciones y métodos"
George C. Canavos
Ed. McGraw-Hill
- (22) "Programación de SQL Server 7.0 con Visual Basic 6.0"
William R. Vaughn
Ed. McGraw-Hill
México, 2000
- (23) "Programación No Lineal"
Orlando Armitano, Jorge Edelman, Ubaldo García Palomares
Ed. Limusa
- (24) "Pronósticos en los Negocios"
John E. Hanke, Arthur G. Reitsch
5ª ed.
Editorial Prentice Hall
México, 1996
- (25) "SQL Server Programación y Administración"
Alfons González
Ed. Alfaomega
México, 1999
- (26) "Toma de decisiones por medio de Investigación de Operaciones"
Robert J. Thierauf, Richard A. Grosse
Ed. Limusa
México, 1987

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN