

ANÁLISIS CUANTITATIVO

CON **WINQSB**

Programación lineal y entera, programación por metas, programación dinámica, teoría y sistemas de inventario, pronósticos, planeación agregada, PERT-CPM, modelos de redes, análisis de decisiones, teoría y simulación de colas, proceso de Markov

VICTOR MANUEL QUESADA IBARGÜEN
JUAN CARLOS VERGARA SCHMALBACH

MCG Métodos
Cuantitativos de
Gestión

Programa de Administración Industrial
Universidad de Cartagena



Universidad de Cartagena

LOS AUTORES

VÍCTOR MANUEL QUESADA IBARGUEN: Ingeniero Industrial de la Universidad INCCA de Colombia, Especialista en Finanzas U. del Valle, Especialista en Investigación U. de Cartagena, Magíster en Economía de la Universidad Nacional de Colombia, Ph.D. Ingeniería de Organización, Universidad de Sevilla (España). Profesor Titular de Universidad. Ha ejercido docencia en varias universidades



colombianas como la Escuela naval José Prudencio Padilla, Jorge Tadeo lozano, Tecnológica de Bolívar y Universidad de Cartagena, en el área de los métodos cuantitativos de gestión, tanto a nivel de pregrado como de postgrado. Vinculado desde hace más de 20 años a los programas de Administración de Empresas y Administración Industrial de la Universidad de Cartagena. Miembro de los Grupos de Investigación: Métodos Cuantitativos de Gestión (**GMCG**), Economía de la Salud y Calidad de la

Educación. Libros publicados: Programación Lineal (S/ ISBN), Programación Lineal y Entera. ISBN 958-33-0588-X (1997), Productividad y Eficiencia en la Empresa: Un Enfoque Práctico ISBN-958-9230-19-9 (2003).



JUAN CARLOS VERGARA SCHMALBACH:

Docente de tiempo completo en la Universidad de Cartagena en el área de los métodos cuantitativos del programa de Administración Industrial. Perteneciente al Grupo de Investigación de Métodos Cuantitativos de Gestión (**GMCG**). Ingeniero Industrial de la Universidad Tecnológica de Bolívar, especialista en finanzas de la Universidad de Cartagena y magíster en

Administración de Empresas de la Universidad Nacional de Colombia.

ANÁLISIS CUANTITATIVO CON *WINQSB*

***VÍCTOR MANUEL QUESADA IBARGÜEN
JUAN CARLOS VERGARA SCHMALBACH***

CONTENIDO

PRÓLOGO	6
1. INTRODUCCIÓN AL MANEJO DEL WINQSB.....	8
2. PROGRAMACIÓN LINEAL Y ENTERA.....	12
2.1 CREANDO UN NUEVO PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL O ENTERA	12
2.2 UN PROBLEMA EJEMPLO	14
2.3 INGRESANDO EL MODELO	15
2.4 EL MODELO DE EJEMPLO	17
2.5 RESOLVIENDO UN PROBLEMA.....	17
2.6 RESOLVIENDO EL PROBLEMA EJEMPLO.....	18
2.7 ENTENDIENDO LA MATRIZ FINAL	18
2.8 LA TABLA FINAL DEL SIMPLEX.....	20
2.9 RESOLVIENDO EL MODELO PASO A PASO.....	20
2.10 LA OPCIÓN IMPRIMIR	21
2.11 GUARDANDO UN PROBLEMA.....	22
3. PROGRAMACIÓN POR METAS	22
3.1 ESTRUCTURA DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN POR METAS.....	22
3.2 EJERCICIO DE EJEMPLO	23
3.3 DEFINIENDO LAS RESTRICCIONES TIPO METAS	24
3.4 INTRODUCIENDO EL PROBLEMA	24
3.5 INTERPRETANDO LA SOLUCIÓN.....	27
4. PERT - CPM.....	29
4.1 UN PROBLEMA EJEMPLO PARA CPM.....	31
4.2 INGRESANDO LOS DATOS DEL PROBLEMA EN MODO GRÁFICO.....	33
4.3 ESTIMANDO LA RUTA CRÍTICA EN REDES DE PROYECTOS MEDIANTE CPM.....	35
4.4 RUTA CRÍTICA USANDO TIEMPOS NORMALES	35
4.5 RUTA CRÍTICA USANDO TIEMPOS NORMALES EN MODO GRÁFICO	36
4.6 RESUMIENDO LAS RUTAS CRÍTICAS	37
4.7 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO	38
4.8 RUTA CRITICA USANDO TIEMPOS DE QUIEBRE.....	39
4.9 ANÁLISIS DE COSTOS DE EJECUCIÓN	40
4.10 MODELOS PERT	42
4.11 ESTIMANDO LA RUTA CRÍTICA	44
4.12 PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO DE UN PROYECTO	45
5. PLANEACIÓN AGREGADA	47
5.1 MODELO DE EJEMPLO	48
5.2 INTRODUCIENDO EL PROBLEMA	48
5.3 ESTABLECIENDO EL MÉTODO DE SOLUCIÓN.....	54
5.4 SOLUCIONANDO UN PROBLEMA DE PLANEACIÓN AGREGADA.....	55
6. PRONÓSTICOS.....	59
6.1 EJEMPLO DE SERIES DE TIEMPO.....	60
6.2 INTRODUCIENDO LOS DATOS	60

6.3 REALIZANDO EL PRONÓSTICO	62
6.4 ANALIZANDO LOS RESULTADOS	64
6.5 EJEMPLO DE REGRESIÓN LINEAL	64
6.6 ANALIZANDO LOS RESULTADOS DE UNA REGRESIÓN.....	66
6.7 LA ECUACIÓN DE LA RECTA EN MODO GRÁFICO	67
6.8 ESTIMANDO Y.....	67
7. TEORÍA Y SISTEMAS DE INVENTARIOS	70
7.1 EJEMPLO DE UN PROBLEMA DE CANTIDAD ECONÓMICA DE LA ORDEN PARA DEMANDA DETERMINÍSTICA	72
7.2 GRÁFICOS RESULTANTES	75
7.3 EJEMPLO DE UN PROBLEMA CON DEMANDA ESTOCÁSTICA PARA UN SOLO PERIODO	77
8. ANÁLISIS DE DECISIONES	81
8.1 ANÁLISIS BAYESIANO.....	81
8.2 ÁRBOL DE DECISIÓN.....	87
8.3 JUEGOS DE SUMA CERO.....	92
9. PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES.....	95
9.1 EJEMPLO DE PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES.....	96
9.2 INTRODUCCIÓN DEL PROBLEMA DE EJEMPLO	98
10. PROGRAMACIÓN DINÁMICA	107
10.1 MODELOS DE PROGRAMACIÓN DINÁMICA.....	107
10.2 EL PROBLEMA DE LA DILIGENCIA.....	108
10.3 TERMINOLOGÍA Y NOTACIÓN BÁSICA	108
10.4 INGRESANDO EL PROBLEMA AL WINQSB	109
10.5 PROBLEMA DE LA MOCHILA O CANASTA DE EQUIPAJE	112
10.6 PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN E INVENTARIOS	115
11. MODELO DE REDES	118
11.1 FLUJO EN REDES O MODELO DE TRASBORDO.....	119
11.2 MODELO DE TRANSPORTE.....	123
11.3 EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN	124
11.4 EL PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA.....	125
11.5 EL PROBLEMA DE FLUJO MÁXIMO	126
11.6 EL ÁRBOL DE EXPANSIÓN MÍNIMA	127
11.7 EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO.....	129
12. TEORÍA DE COLAS	133
12.1 LOS CAMPOS REQUERIDOS.....	133
13. SIMULACIÓN DE COLAS.....	138
13.1 EJEMPLO DE SIMULACIÓN	138
13.2 ANALIZANDO LOS RESULTADOS	142
13.3 SIMULACIÓN EN MODO GRÁFICO.....	145
14. PROCESO DE MARKOV	146
14.1 UN POCO DE TEORÍA.....	146
14.2 ANALIZANDO UN EJEMPLO	147
14.3 RESOLVIENDO EL EJERCICIO PASO A PASO.....	149

PRÓLOGO

La toma de decisiones en los distintos niveles de las organizaciones cada vez es de mayor complejidad, dadas las crecientes restricciones de disponibilidad de todo tipo de recursos. La academia se ha preocupado de investigar y proporcionar herramientas que faciliten a los gerentes el abordaje de estos procesos, teniendo en cuenta que no es recomendable asumir un curso de acción confiados únicamente en la intuición. La llamada administración científica aboga por el uso de los métodos cuantitativos en la toma de decisiones empresariales; de ahí que en los planes de estudio correspondientes a la formación de profesionales de la ingeniería industrial, la administración en sus diferentes matices, las finanzas y muchas más disciplinas, figuren asignaturas que pretendan que los egresados de estas titulaciones se apropien de un cúmulo de herramientas que les facilite el análisis y la toma de decisiones en situaciones complejas.

Con la popularización de los computadores personales (PC's) han surgido programas y aplicaciones muy completas para el tratamiento de los problemas de gestión mediante herramientas cuantitativas, las que en su conjunto constituyen los métodos de la investigación de operaciones.

QSB (Quantitative System Business), podría decirse que es el software más utilizado en la actualidad por estudiantes de pregrados y postgrados que incluyen en su plan de estudios asignaturas como la investigación de operaciones o temas

relacionados. Sin embargo no existe en nuestro medio una guía en español para el docente y el estudiante, que permita el aprovechamiento máximo de los módulos que contempla la aplicación.

Motivados por esta evidencia y como un aporte a la academia del grupo de investigación **Métodos Cuantitativos de Gestión (GMCG)**, hemos emprendido la tarea de presentar a la comunidad académica colombiana este manual, escrito en un lenguaje sencillo y asequible a toda clase de público, en el que se explican las principales herramientas que contempla el **WINQSB**. Se han dejado por fuera seis temas, ya por la poca frecuencia de su uso o porque existen otros programas igualmente eficientes para problemas de esa naturaleza.

Advertimos, eso sí, que este libro no es una traducción del manual que se distribuye con el software. Los ejemplos utilizados y la forma de explicarlos, así lo evidencian.

Tampoco estamos frente a un libro de investigación de operaciones o similar, por lo que el lector no podrá esperar encontrar una explicación exhaustiva de los fundamentos teóricos de cada tema; sólo en aquellos que lo consideramos necesario nos detenemos en los fundamentos.

Esperamos que **Análisis Cuantitativo con WINQSB** se constituya en libro de cabecera de docentes y estudiantes amantes de los métodos cuantitativos y de empresarios que opten por la toma de decisiones apoyada en éstos.

Víctor Manuel Quesada Ibargüen
Juan Carlos Vergara Schmalbach

1. INTRODUCCIÓN AL MANEJO DEL WINQSB

El objetivo de esta serie es proveer al alumno de pregrado o postgrado de un manual completo en español sobre el software **WINQSB**, para la solución de una gran cantidad de problemas complejos de tipo cuantitativo.

El libro **MÉTODOS CUANTITATIVOS CON WINQSB** lo introducirá en el apasionante mundo de la solución de problemas complejos mediante el uso de un software de relativo fácil manejo.

WINQSB es una aplicación versátil que permite la solución de una gran cantidad de problemas: administrativos, de producción, de recurso humano, dirección de proyectos, etc.

Debido a su facilidad y potencia de manejo, este libro se convierte en una herramienta indispensable para el estudiante de pregrado o postgrado que participa en materias como la investigación de operaciones, los métodos de trabajo, planeación de la producción, evaluación de proyectos, control de calidad, simulación, estadística, entre otras.

Los módulos tratados en este libro son:

- Programación Lineal y Entera
- Programación por Metas
- PERT – CPM
- Planeación Agregada
- Pronósticos
- Teoría y Sistemas de Inventario
- Análisis de Decisiones
- Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP)
- Programación Dinámica

- Modelos de Redes
- Teoría y simulación de sistemas de colas
- Cadenas de Markov

No está el lector ante un manual de enseñanza de los métodos cuantitativos, por lo que supondremos que tendrá las bases teóricas de los módulos aquí referenciados. A diferencia de la versión en inglés que trae el propio programa, este libro conduce el desarrollo de ejemplos completos explicados paso a paso, para que el lector pueda dedicarse más al análisis detallado de la solución de los problemas.

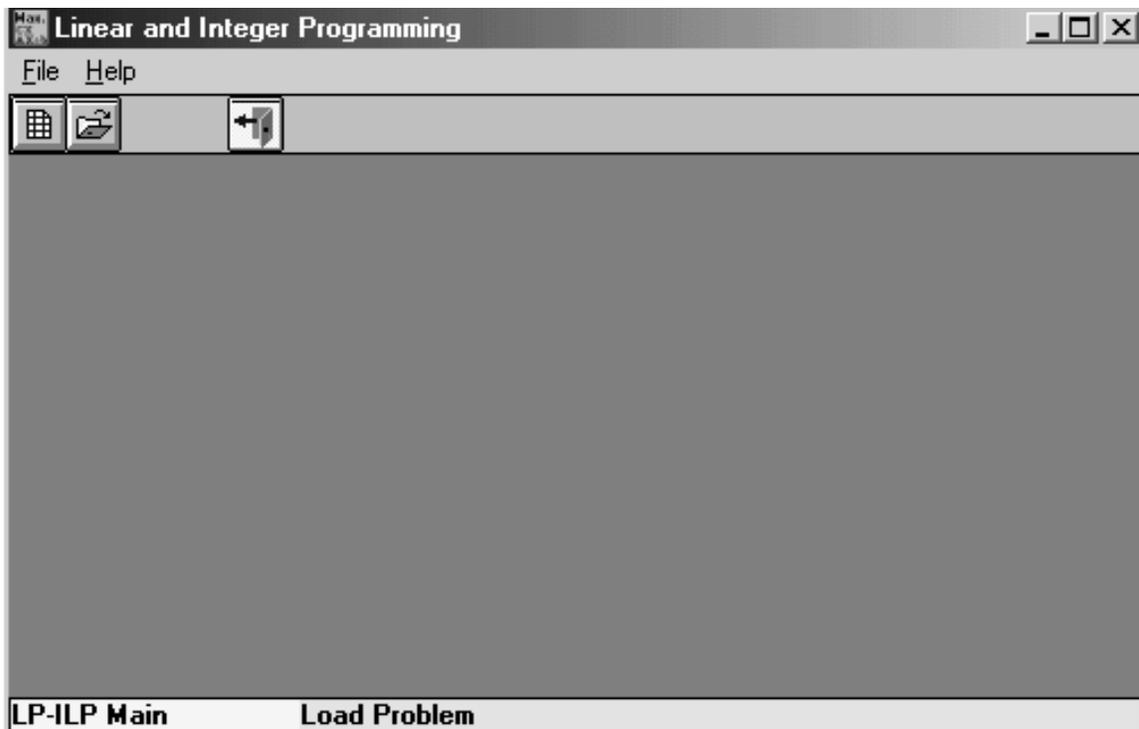
El acceso al **WINQSB** se puede hacer a través del botón **INICIO** del sistema operativo WINDOWS, en el menú **PROGRAMAS** en la carpeta **WINQSB**. **WINQSB** es una herramienta poderosa para el manejo de métodos cuantitativos, el cual está conformado por 19 módulos:



1. **Análisis de muestreo de aceptación (Acceptance Sampling Analysis)**
2. **Planeación agregada (Aggregate Planning)**
3. **Análisis de decisiones (Decision Analysis)**
4. **Programación dinámica (Dynamic Programming)**
5. **Diseño y localización de plantas (Facility Location and Layout)**
6. **Pronósticos (Forecasting)**
7. **Programación por objetivos (Goal Programming)**
8. **Teoría y sistemas de inventarios (Inventory Theory and System)**
9. **Programación de jornadas de trabajo (Job Scheduling)**
10. **Programación lineal y entera (Linear and integer programming)**

- 11. *Procesos de Harkov*
- 12. *Planeación de Requerimiento de Materiales*
- 13. *Modelación de redes (Network Modeling)*
- 14. *Programación no lineal (Nonlinear Programming)*
- 15. *PERT y CPM (PERT_CPM)*
- 16. *Programación cuadrática (Quadratic Programming)*
- 17. *Cartas de control de calidad (Quality Control Chart)*
- 18. *Sistemas de cola (Queuing Analysis)*
- 19. *Simulación de sistemas de cola (Queuing Analysis Simulation)*

Una vez seleccionado el módulo con el cual se desee trabajar, aparecerá una ventana cuyas características iniciales serán similares para todos los módulos del WINQSB.

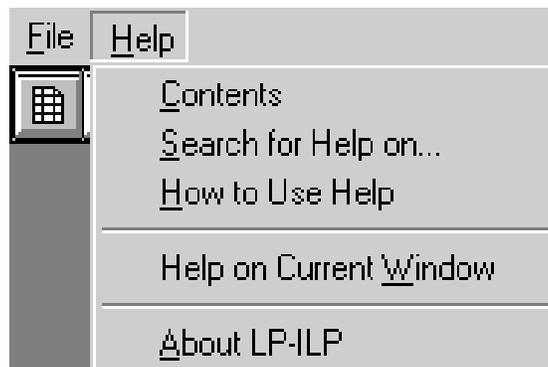


La parte superior de la ventana llamada **TITULO** indica el nombre del módulo seleccionado, en este caso se optó por mostrar el módulo de **Programación Lineal y Entera (Linear and integer programming)**.

Debajo encontramos los menú **Archivo (File)** y **Ayuda (Help)**. El menú archivo comprende las siguientes opciones:



- ♦ **Nuevo problema (New Problem)**: Permite introducir un nuevo problema.
 - ♦ **Abrir Problema (Load Problem)**: Abre un problema que se ha guardado con anterioridad.
 - ♦ **Salir (Exit)**: Sale del programa.
- El menú **Ayuda (Help)** lo conforman:



- ♦ **Contenido (Contents)**: Contenido completo de la ayuda sobre el módulo seleccionado.
- ♦ **Buscar ayuda en... (Search for Help on...)**: Búsqueda de ayuda mediante palabras claves.
- ♦ **Cómo usar la ayuda (How to Use Help)**: Indicaciones (puede ser en español) de como se utiliza la ayuda para sacarle el máximo provecho.
- ♦ **Ayuda sobre la ventana actual (Help on Current Windows)**: Interesante opción que muestra la ayuda sólo sobre los elementos que aparecen actualmente en la ventana.
- ♦ **Acerca de... (About LP-ILP)**: Muestra datos sobre la creación del programa e información sobre la licencia.

El programa también cuenta con una barra de herramientas que ayuda de forma significativa la selección de las opciones más usadas.



El primer botón permite la creación de un nuevo problema, el segundo abre un problema existente, mientras que el tercero, permite salir del programa.

En el centro de la venta se encuentra un espacio vacío el cual llamaremos **ZONA DE TRABAJO**, donde se procederá a alimentar con información al programa.

2. PROGRAMACIÓN LINEAL Y ENTERA

2.1 CREANDO UN NUEVO PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL O ENTERA

La opción ***Nuevo Problema (New Problem)*** genera una plantilla en el cual se introducirán las características de nuestro problema:

A continuación se describirán cada una de las casillas de esta ventana:

- ♦ **Título del problema (Problem Title):** Se escribe el título con que identificamos el problema.
- ♦ **Número de variables (Number of Variables):** Se escribe la cantidad de variables con que cuenta el sistema en el modelo original.
- ♦ **Número de restricciones (Number of Constraints):** Se anotan la cantidad de restricciones con que cuenta el modelo (no se debe contar la restricción de no negatividad).
- ♦ **Objetivo (Objective Criterion):** Los problemas de programación lineal y entera se clasifican en dos: problemas de **Maximización (Maximization)** y **Minimización (Minimization)**.
- ♦ **Formato de entrada de datos (Data Entry Format):** Permite elegir entre dos plantillas distintas para introducir los datos del modelo. La primera alternativa se asemeja a una hoja de calcula, mientras que la segunda, es una plantilla diseñada especialmente para este fin.
- ♦ **Tipo de variable (Default Variable Type):** En esta parte se indica las características del modelo:
 - **Continuas no negativas (Nonnegative continuous):** Indica que el modelo lo componen variables continuas no negativas (iguales o mayores a cero).
 - **Enteras no negativas (Nonnegative Integer):** Variables enteras no negativas.
 - **Binarias (Binary):** Variables cuyo valor solo serán 0 o 1.
 - **Sin asignar / Irrestringidas (Unsigned/unrestricted):** Variables irrestringidas.

2.2 UN PROBLEMA EJEMPLO

Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de un nuevo problema de programación lineal.

ENUNCIADO

Ejemplo 2-1

La empresa **AXUS S.A.** desea conocer la cantidad de productos A, B y C a producir para maximizar el beneficio, si cada unidad vendida genera en utilidad \$150, \$210 y \$130 por unidad respectivamente.

Cada producto pasa por 3 mesas de trabajo, restringiendo la cantidad de unidades producidas debido al tiempo disponible en cada una de ellas. La siguiente tabla muestra el tiempo requerido por unidad de cada producto en cada mesa y el tiempo total disponible semanalmente (tiempo dado en minutos):

	Tiempo requerido Mesa 1	Tiempo requerido Mesa 1	Tiempo requerido Mesa 1
Producto 1	10	12	8
Producto 2	15	17	9
Producto 3	7	7	8
Tiempo total disponible por mesa	3300	3500	2900

Se supone que cada unidad producida es vendida automáticamente. Determinar la combinación de productos que maximicen la utilidad para la compañía.

Una vez analizado el enunciado el lector procederá a crear el modelo matemático.

MODELO MATEMÁTICO

Función Objetivo (F.O.):

$$\text{Max. } Z = \$150X_1 + \$210X_2 + \$130X_3$$

Restricciones (S.A.):

$$10X_1 + 15X_2 + 7X_3 \leq 3300 \text{ Minutos}$$

$$12X_1 + 17X_2 + 7X_3 \leq 3500 \text{ Minutos}$$

$$8X_1 + 9X_2 + 8X_3 \leq 2900 \text{ Minutos}$$

$$X_1, X_2, X_3 \geq 0$$

Podemos ver claramente que estamos ante un problema de Maximización, con tres restricciones y tres variables (las cuales trabajaremos como variables continuas de tipo No Negativas).

Teniendo claro esto, se alimenta el programa desde la ventana **Nuevo Problema (New Problem)**:

The screenshot shows a dialog box titled "LP-ILP Problem Specification". It contains the following fields and options:

- Problem Title:** EMPRESA ABC S.A.
- Number of Variables:** 3
- Number of Constraints:** 3
- Objective Criterion:** Maximization, Minimization
- Default Variable Type:** Nonnegative continuous, Nonnegative integer, Binary (0,1), Unsigned/unrestricted
- Data Entry Format:** Spreadsheet Matrix Form, Normal Model Form
- Buttons:** OK, Cancel, Help

Una vez llenados todos los campos pulsamos el botón **OK**, generando nuevas opciones dentro del programa.

2.3 INGRESANDO EL MODELO

Si se escogió por la plantilla tipo hoja de calculo (**Spreadsheet Matrix Form**), se mostrará una nueva ventana dentro de la **ZONA DE TRABAJO**, la cual servirá para introducir el modelo matemático.

Variable -->	X1	X2	X3	Direction	R. H. S.
Maximize					
C1				<=	
C2				<=	
C3				<=	
LowerBound	0	0	0		
UpperBound	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous		

La primera fila (**Variable -->**) corresponde a los encabezados de las variables (en gris) definidas automáticamente por el sistema como X1, X2 y X3 (son las tres variables del ejemplo), seguido por el operador de relación (**Direction**) y la solución de las restricciones o **Lado de la mano derecha (Right Hand Side -R. H. S)**. El nombre de las variables se puede cambiar accediendo al submenú **Nombre de variables (Variables Names)** del menú Editar (**Edit**).

Edit	Format	Solve and Analyze	Re:
Cut			Ctrl+X
Copy			Ctrl+C
Paste			Ctrl+V
Clear			

Undo			

Problem Name			
Variable Names			
Constraint Names			
Goal Criteria and Names			

Insert a Goal			
Delete a Goal			

Insert a Variable			
Delete a Variable			

Insert a Constraint			
Delete a Constraint			

La segunda fila (**Maximize**) permite introducir los coeficientes de la función objetivo. Luego aparecen una serie de filas identificadas por la letra **C** y un consecutivo, las cuales corresponden a la cantidad de restricciones con que cuenta el modelo:

C1				<=	
C2				<=	
C3				<=	

Por último aparecen tres filas donde definimos el valor mínimo aceptado por cada variable (**Lower Bound**), el valor máximo (**Upper Bound**) y el tipo de variable

(**Variable Type**). En el caso del valor máximo, **M** significa que la variable podrá recibir valores muy grandes (tendientes a infinito).

2.4 EL MODELO DE EJEMPLO

Para ingresar nuestro modelo propuesto en el ejemplo, el primer paso es llenar la segunda fila con los coeficientes de la función objetivo:

Variable -->	X1	X2	X3	Direction	R. H. S.
Maximize	150	210	130		

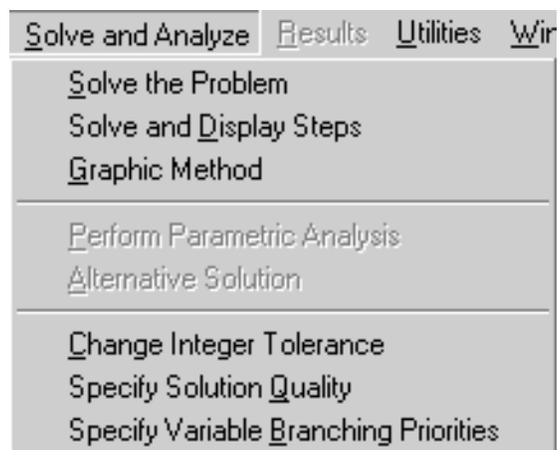
Se sigue con las restricciones C1, C2 y C3:

C1	10	15	7	<=	3300
C2	12	17	7	<=	3500
C3	8	9	8	<=	2900

Usted podrá cambiar los operadores de relación pulsando dos veces seguidas sobre ellos con el botón izquierdo del Mouse. Las otras filas se mantienen iguales.

2.5 RESOLVIENDO UN PROBLEMA

Cuando haya terminado de ingresar el modelo en la plantilla, podrá utilizar las herramientas que provee el menú **Resolver y Analizar (Solve and Analyze)**. Este menú cuenta con las siguientes opciones:



- ♦ **Resolver el problema (Solve the Problem)**: Resuelve el problema mediante el método Simplex Primal. Muestra la solución final completa.
- ♦ **Resolver y mostrar los pasos (Solve and Display Steps)**: Muestra cada uno de los pasos o las interacciones realizadas por el Simplex hasta llegar a la solución óptima.

- ♦ **Método Gráfico (Graphic Method):** Resuelve el problema de programación lineal mediante el método gráfico (para problemas que trabajan con dos variables).

2.6 RESOLVIENDO EL PROBLEMA EJEMPLO

Seleccionamos la primera opción del menú **Resolver y Analizar (Solve and Analyze)**, donde se mostrará una pequeña ventana con el mensaje “**El problema ha sido resuelto. La solución óptima ha sido lograda**”.



Pulsamos el botón **ACEPTAR** y automáticamente el programa generará la solución óptima.

	17:50:47		Thursday	February	10	2005		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0	150.0000	0	-14.9315	at bound	-M	164.9315
2	X2	105.4795	210.0000	22,150.6900	0	basic	182.7500	315.7143
3	X3	243.8356	130.0000	31,698.6300	0	basic	91.0714	186.6667
	Objective	Function	(Max.) =	53,849.3200				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	3,289.0410	<=	3,300.0000	10.9589	0	3,289.0410	M
2	C2	3,500.0000	<=	3,500.0000	0	6.9863	2,537.5000	3,514.0350
3	C3	2,900.0000	<=	2,900.0000	0	10.1370	1,852.9410	2,957.1430

2.7 ENTENDIENDO LA MATRIZ FINAL

Esta matriz presenta suficiente información sobre el modelo resuelto. La primera parte (**Solution Summary**) corresponde al análisis de las variables definidas (X1, X2 y X3).

	17:50:47		Thursday	February	10	2005		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0	150.0000	0	-14.9315	at bound	-M	164.9315
2	X2	105.4795	210.0000	22,150.6900	0	basic	182.7500	315.7143
3	X3	243.8356	130.0000	31,698.6300	0	basic	91.0714	186.6667
	Objective	Function	(Max.) =	53,849.3200				

La columna **Valores de la solución (Solution Value)** presenta los valores óptimos encontrados. En este ejemplo se tiene que X1 es 0 unidades, X2 es 105,4795 unidades y X3 es 243,8356 unidades.

La columna **Costo o Utilidad Unitaria (Unit Cost or Profit)** muestra los coeficientes de la función objetivo para cada variable.

La columna **Contribución Total (Total Contribution)** representa el costo o utilidad generado por cada variable. Por ejemplo, si el valor de la variable X2 es 105,4795 unidades y la utilidad unitaria es \$210, el beneficio total resultará de la multiplicación de ambos valores dando como resultado \$22,150,69. Justo debajo de la última contribución aparece el valor de Z óptimo (\$53,849,32).

La columna **Costo Reducido (Reduced Cost)** identifica el costo que genera incrementar una unidad para cada variable no básica. La siguiente columna llamada **Estatus de la Variable (Basis Status)** muestra si una variable es básica (**Basic**) o no (**at bound**).

La siguiente parte de la matriz final (**Constraint Summary**), presenta las variables de holgura del sistema (C1, C2, C3).

	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	3,289.0410	<=	3,300.0000	10.9589	0	3,289.0410	M
2	C2	3,500.0000	<=	3,500.0000	0	6.9863	2,537.5000	3,514.0350
3	C3	2,900.0000	<=	2,900.0000	0	10.1370	1,852.9410	2,957.1430

La columna **Lado de la mano derecha (Left Hand Side)** muestra el valor alcanzado al reemplazar los valores de X1, X2 y X3 en cada restricción (recuerde que cada restricción se identifica con su variable de holgura).

Las dos columnas siguientes (**Direction** y **Right Hand Side**) muestran las especificaciones dadas a las restricciones en cuanto al operador de relación (\leq) y los valores originales de las restricciones (3.300, 3.500 y 2.900 minutos).

La columna **Déficit o Superávit (Slack or Surplus)** muestran los valores de las variables de holgura y la columna **Precios Sombras (Shadow Price)** corresponde a los precios sombras; cuánto se estaría dispuesto a pagar por una unidad adicional de cada recurso.

2.8 LA TABLA FINAL DEL SIMPLEX

WINQSB permite mostrar los resultados óptimos mediante el formato aplicado por el método Simplex. Para mostrar este formato deberá, una vez resuelto el problema, seleccionar en el menú **Resultados (Results)** la opción **Tabla final del Simplex (Final Simplex Tableau)**.

		X1	X2	X3	Slack_C1	Slack_C2	Slack_C3		
Basis	C(j)	150.0000	210.0000	130.0000	0	0	0	R. H. S.	Ratio
Slack_C1	0	-0.9041	0.0000	0.0000	1.0000	-0.7808	-0.1918	10.9589	
X2	210.0000	0.5479	1.0000	0.0000	0	0.1096	-0.0959	105.4795	
X3	130.0000	0.3836	0.0000	1.0000	0	-0.1233	0.2329	243.8356	
	C(j)-Z(j)	-14.9315	0	0	0	-6.9863	-10.1370	53,849.3200	

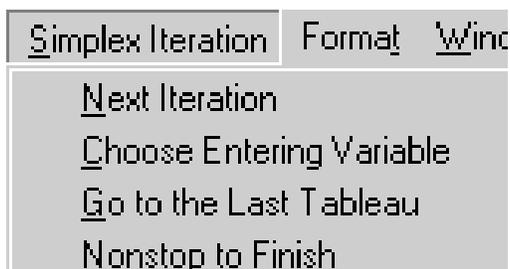
2.9 RESOLVIENDO EL MODELO PASO A PASO

Regrese nuevamente a la plantilla correspondiente al modelo inicial (sin solucionar). Procederemos a marcar la opción **Resolver y mostrar los pasos (Solve and Display Steps)**.

La primera tabla corresponde a la tabla inicial del Simplex:

		X1	X2	X3	Slack_C1	Slack_C2	Slack_C3		
Basis	C(j)	150.0000	210.0000	130.0000	0	0	0	R. H. S.	Ratio
Slack_C1	0	10.0000	15.0000	7.0000	1.0000	0	0	3,300.0000	220.0000
Slack_C2	0	12.0000	17.0000	7.0000	0	1.0000	0	3,500.0000	205.8824
Slack_C3	0	8.0000	9.0000	8.0000	0	0	1.0000	2,900.0000	322.2222
	C(j)-Z(j)	150.0000	210.0000	130.0000	0	0	0	0	

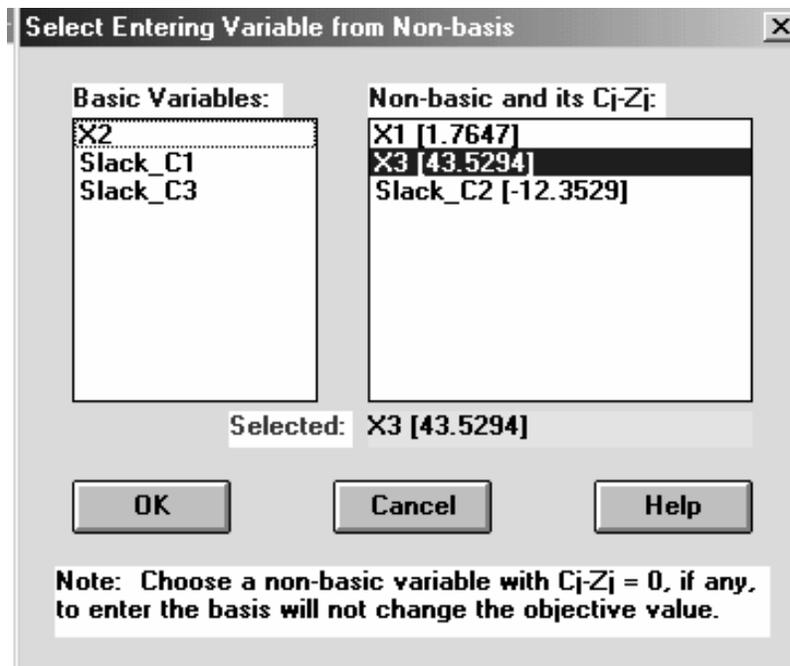
WINQSB cuenta con opciones de navegación para pasar de una tabla a otra (este menú se llama **Simplex Iteration**) hasta encontrar la solución óptima:



Al pulsar sobre la opción **Próxima Interacción (Next Iteration)** se avanza a la siguiente tabla del Simplex.

		X1	X2	X3	Slack_C1	Slack_C2	Slack_C3		
Basis	C(j)	150.0000	210.0000	130.0000	0	0	0	R. H. S.	Ratio
Slack_C1	0	-0.5882	0	0.8235	1.0000	-0.8824	0	211.7647	257.1429
X2	210.0000	0.7059	1.0000	0.4118	0	0.0588	0	205.8824	500.0000
Slack_C3	0	1.6471	0	4.2941	0	-0.5294	1.0000	1,047.0590	243.8356
	C(j)-Z(j)	1.7647	0	43.5294	0	-12.3529	0	43,235.2900	

La opción **Escoger variable de entrada (Choose Entering Variable)** permite seleccionar la variable que entra al sistema de forma manual:



Debe pulsar sobre la variable no básica que desee que entre (en este caso se muestra a X1, X3 y C2 como no básicas). Para mostrar la última tabla del Simplex directamente podrá optar por seleccionar la opción llamada **Ir a la última tabla (Go To The Last Tableau)**.

La última opción **Nonstop to Finish** muestra el resultado final completo (junto al análisis de sensibilidad).

2.10 LA OPCIÓN IMPRIMIR

Cada ventana mostrada puede ser impresa mediante la opción **Imprimir (Print)** que se encuentra en el menú **Archivo (File)** o mediante el botón  desplegado en la barra de herramientas.

2.11 GUARDANDO UN PROBLEMA

Si quiere acceder a un problema posteriormente simplemente seleccione la opción **Salvar como** (**Save As**) o pulsando sobre el botón .

3. PROGRAMACIÓN POR METAS

La **Programación por Metas** (**Goal Programming**) fue inicialmente introducida por Charnes y Cooper en los años 50. Desarrollada en los años 70 por Ljiri, Lee, Ignizio y Romero, es actualmente uno de los enfoques multicriterio que más se utilizan.

En principio fue dirigida a resolver problemas industriales, sin embargo posteriormente se ha extendido a muchos otros campos como la economía, agricultura, recursos ambientales, recursos pesqueros, etc.

Resulta de gran interés, sobre todo, en problemas complejos de gran tamaño.

3.1 ESTRUCTURA DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN POR METAS

El primer paso en la formulación de un modelo de programación por metas es fijar los objetivos/ atributos, $f(\mathbf{x})$, que se consideran relevantes para el problema que estemos analizando.

El segundo paso es determinar el nivel de aspiración, t , que corresponde a cada Atributo, siendo éste el nivel de logro del atributo que el decisor considera aceptable. A continuación, definimos las metas, es decir, los atributos combinados con niveles de aspiración. Cada meta se convierte en una restricción “blanda” a incorporar en el modelo de programación por metas.

n : variable de desviación negativa, cuantifica la falta de logro de una meta

p : variable de desviación positiva, cuantifica el exceso de logro de una meta

$$f(x) + n - p = t$$

En general, la meta del atributo i -ésimo se escribe como:

$$f(x) + n_i - p_i = t_i$$

Los valores de las variables de desviación son siempre positivas o cero, al menos una de las dos variables de desviación que definen la meta tendrá que ser cero.

Las dos variables de desviación tomarán el valor cero cuando la meta alcance exactamente su nivel de aspiración, t_i . Una **variable de desviación** se dice que es **no deseada** cuando al centro decisor le conviene que la variable en cuestión alcance su valor más pequeño, es decir, cero.

Cuando la meta deriva de un **objetivo a maximizar** o de una restricción de tipo \geq , la variable de desviación no deseada es la negativa n_i . Cuando la meta deriva de un **objetivo a minimizar** o de una restricción de tipo \leq , la variable de desviación no deseada es la positiva p_i . Cuando se desea alcanzar exactamente el nivel de aspiración, las variables de desviación no deseadas son tanto la positiva, p_i , como la negativa, n_i . Las **variables de desviación no deseadas** se incorporan siempre en la función objetivo del modelo de programación por metas.

3.2 EJERCICIO DE EJEMPLO

Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de un modelo de programación de metas.

Ejemplo 3-1:

Formular el problema de la Planificación de la producción de una fábrica de papel como un problema de programación por metas. Supóngase la existencia de dos procesos, uno mecánico y otro químico, por los que se puede obtener la pulpa de celulosa para la producción del papel.

El modelo de programación multiobjetivos es el siguiente:

Objetivos: Max $f_1(x) = 1000X_1 + 3000X_2$ (Maximizar el margen bruto)
Min $f_2(x) = X_1 + 2X_2$ (Minimizar la demanda biológica de O_2)

Restricciones rígidas iniciales:

$1000X_1 + 3000X_2 \geq 300000$ (Margen Bruto)
 $X_1 + X_2 \leq 400$ (Empleo)
 $X_1 \leq 300$ (Capacidades de producción)
 $X_2 \leq 200$
 $X_1, X_2 \geq 0$

Definidas las variables de decisión y los atributos/ objetivos relevantes del problema que nos ocupa, el decisor define las siguientes METAS:

g1: Para la demanda biológica de oxígeno: un nivel de aspiración de 300 unidades, pues desea que sea lo más pequeña posible.

g2: Para el margen bruto: alcanzar un valor lo más grande posible, ojalá mayor de 400000 u.m.

g3: Para el empleo: no desea ni quedarse corto ni contratar mano de obra adicional.

g4: El decisor no desea superar sus capacidades de producción, lo que implicaría recurrir a turnos extras.

3.3 DEFINIENDO LAS RESTRICCIONES TIPO METAS

Las restricciones quedarían de la siguiente forma:

g1: $X_1 + 2X_2 + n_1 - p_1 = 300$ (Demanda Biológica de O₂)

g2: $1000X_1 + 3000X_2 + n_2 - p_2 = 400000$ (Margen Bruto)

g3: $X_1 + X_2 + n_3 - p_3 = 400$ (Empleo)

g4: $X_1 + n_4 - p_4 = 300$ (Capacidades de Producción)

g5: $X_2 + n_5 - p_5 = 200$

$X_1, X_2 \geq 0$

3.4 INTRODUCIENDO EL PROBLEMA

En el menú **Archivo (File)** seleccionamos **Nuevo problema (New Problem)** e introducimos la información del problema:

The dialog box is titled 'New Problem' and contains the following fields and options:

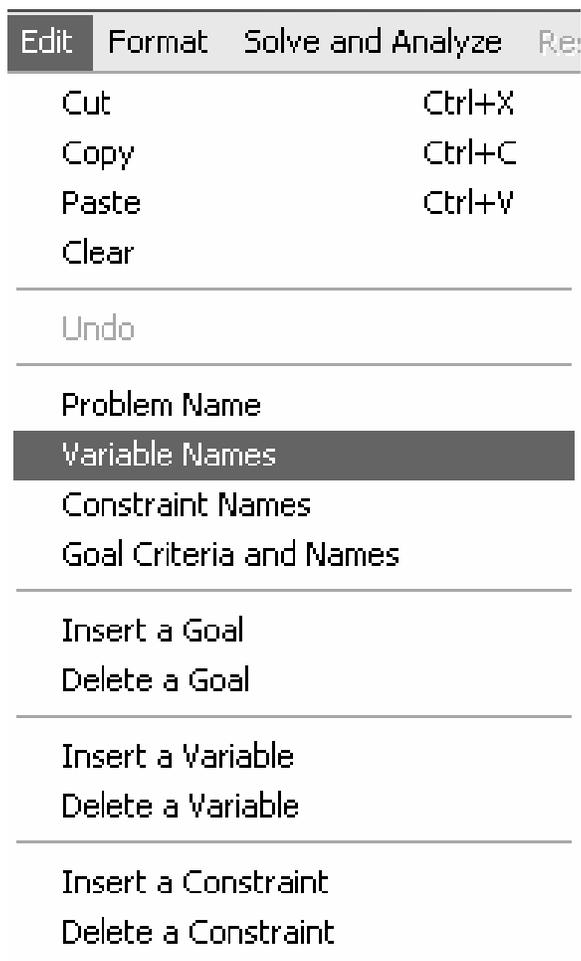
- Problem Title:** Ejemplo 1
- Number of Goals:** 5
- Number of Variables:** 12
- Number of Constraints:** 5
- Default Goal Criteria:**
 - Maximization
 - Minimization
- Data Entry Format:**
 - Spreadsheet Matrix Form
 - Normal Model Form
- Default Variable Type:**
 - Nonnegative continuous
 - Binary [0,1]
 - Nonnegative integer
 - Unsigned/unrestricted

At the bottom of the dialog box are three buttons: **OK**, **Cancel**, and **Help**.

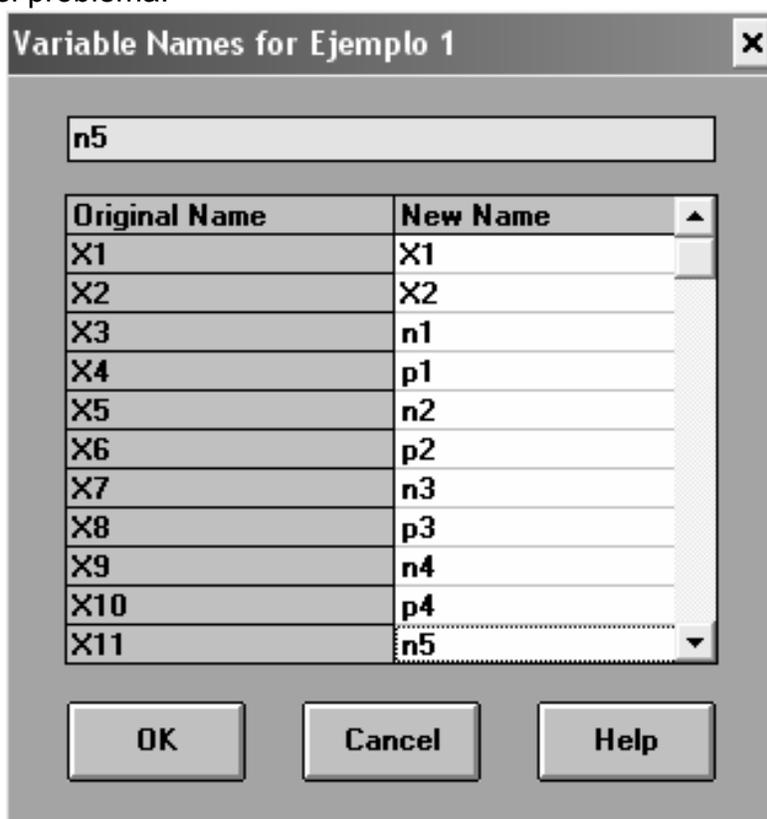
Al pulsar el botón **OK** aparecerá una nueva ventana donde procederemos a introducir los coeficientes de las variables:

Variable →	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Min:G1										
Min:G2										
Min:G3										
Min:G4										
Min:G5										
C1										
C2										
C3										
C4										
C5										
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Variable Type	Continuous									

Para trabajar con el mismo formato de las variables definidas en el ejemplo, activaremos la opción **Nombre de las variables (Variable Names)** en el menú **Editar (Edit)**.



Los nombres de las variables se cambiarán de acuerdo al orden que en que aparecen en el problema:



Al pulsar **OK** en esta ventana podremos definir las metas y restricciones:

Variable	X1	X2	n1	p1	n2	p2	n3	p3	n4	p4	n5	p5	Direction	R. H. S.
Min:G1				1										
Min:G2					1									
Min:G3							1	1						
Min:G4										1				
Min:G5												1		
C5	1	2	1	-1									=	300
C6	1000	3000			1	-1							=	400000
C7	1	1					1	-1					=	400
C8	1								1	-1			=	300
C9		1									1	-1	=	200
LowerBou	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBou	M	M	M	M	M	M	M	M	M	1	M	M		
VariableTy	continuous													

Luego de introducido el modelo se inicia el proceso de solución, siguiendo los mismos pasos al empleado en la solución de los modelos de programación lineal. La solución final se muestra en la siguiente página:

		X1	X2	n1	p1	n2	p2	n3	p3	n4	p4	n5	p5	Slack_UB_n4		
	Goal 1 C(j)	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Goal 2 C(j)	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Goal 3 C(j)	0	0	0	0	0	0	1,00	1,00	0	0	0	0	0		
	Goal 4 C(j)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	0	0	0		
Basis	Goal 5 C(j)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	0	R. H. S.	Ratio
n3	C5	0	-1,00	-1,00	1,00	0	0	1,00	-1,00	0	0	0	0	0	100,00	
n2	C6	0	1.000,00	-1.000,00	1.000,00	1,00	-1,00	0	0	0	0	0	0	0	100.000,00	
n4	C7	0	-2,00	-1,00	1,00	0	0	0	0	1,00	-1,00	0	0	0	0	
X1	C8	1,00	2,00	1,00	-1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300,00	
n5	C9	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	-1,00	0	200,00	
Slack_UB_n4	UB_n4	0	2,00	1,00	-1,00	0	0	0	0	0	1,00	0	0	1,00	1,00	
Min. Goal 1	Cj-Zj	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min. Goal 2	Cj-Zj	0	-1.000,00	1.000,00	-1.000,00	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	100.000,00	
Min. Goal 3	Cj-Zj	0	1,00	1,00	-1,00	0	0	0	2,00	0	0	0	0	0	100,00	
Min. Goal 4	Cj-Zj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0	
Min. Goal 5	Cj-Zj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	0	0	

La ventana con el resumen de la información permite un análisis detallado de cada variable.

11-25-2005 08:45:04	Decision Variable	Solution Value	Basis Status	Reduced Cost Goal 1	Reduced Cost Goal 2	Reduced Cost Goal 3	Reduced Cost Goal 4	Reduced Cost Goal 5
1	X1	300,00	basic	0	0	0	0	0
2	X2	0	at bound	0	-1.000,00	1,00	0	0
3	n1	0	at bound	0	1.000,00	1,00	0	0
4	p1	0	at bound	1,00	-1.000,00	-1,00	0	0
5	n2	100.000,00	basic	0	0	0	0	0
6	p2	0	at bound	0	1,00	0	0	0
7	n3	100,00	basic	0	0	0	0	0
8	p3	0	at bound	0	0	2,00	0	0
9	n4	0	basic	0	0	0	0	0
10	p4	0	at bound	0	0	0	1,00	0
11	n5	200,00	basic	0	0	0	0	0
12	p5	0	at bound	0	0	0	0	1,00
	Goal 1: Minimize	G1 =		0				
	Goal 2: Minimize	G2 =		100.000,00				
	Goal 3: Minimize	G3 =		100,00				
	Goal 4: Minimize	G4 =		0				
	Goal 5: Minimize	G5 =		0				

3.5 INTERPRETANDO LA SOLUCIÓN

En el tablero optimal se puede observar que:

- Las toneladas de celulosa a producir por medios mecánicos son 300.
- Dado que n_1 y p_1 son ambas cero, la demanda biológica de oxígeno mínima es de 300 unidades, igual al nivel de aspiración.

- La meta 2, asociada con el margen bruto, se queda por debajo del nivel de aspiración en cuantía de 100.000 u. m., valor que asume la variable de desviación n_2 .
- La meta del empleo se fija en 100 unidades de mano de obra menos que el nivel de aspiración que era de 400.
- Las metas 4 y 5, asociadas con los niveles máximos de producción por cada método, se fijan en 0 ton. de capacidad no aprovechada, para la 4, y de 200 para la 5.

Conocidos estos resultados, el **WINQSB** también permite el análisis paramétrico del modelo.

4. PERT - CPM

El método de la ruta crítica, **CPM**, es una herramienta de tipo determinístico para el análisis de redes de proyectos.

La opción **Nuevo Problema (New Problem)** genera una plantilla en el cual se introducirá las características de nuestro problema.

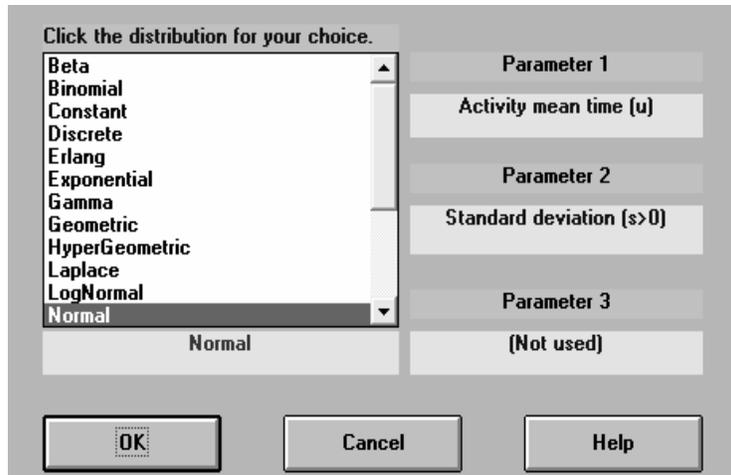
The image shows a 'Problem Specification' dialog box with the following fields and options:

- Problem Title:** An empty text input field.
- Number of Activities:** An empty text input field.
- Time Unit:** An empty text input field.
- Problem Type:** Radio buttons for 'Deterministic CPM' (selected) and 'Probabilistic PERT'.
- Data Entry Format:** Radio buttons for 'Spreadsheet' (selected) and 'Graphic Model'.
- Select CPM Data Field:** Checkboxes for 'Normal Time' (checked), 'Crash Time', 'Normal Cost', 'Crash Cost', 'Actual Cost', and 'Percent Complete'.
- Activity Time Distribution:** A button labeled 'Choose Activity Time Distribution'.
- Buttons:** 'OK', 'Cancel', and 'Help' at the bottom.

A continuación se describirán cada una de las casillas de esta ventana:

- **Título del problema (Problem Title):** Se escribe el título con que identificamos el problema.
- **Número de actividades (Number of Activities):** Se escribe la cantidad de actividades (nodos) presentes en la red del proyecto.

- **Unidad de tiempo (Time Unit):** En este campo se especifica la unidad de tiempo trabajada en la red (Ejemplo: hora, día, mes, año...).
- **Tipo de problema (Problem Type):** Los problemas representados por redes de proyectos pueden ser analizados mediante dos métodos: **CPM Determinístico (Deterministic CPM)** y **PERT Probabilístico (Probabilistic PERT)**.
- **Formato de entrada de datos (Data Entry Format):** Permite elegir entre dos plantillas distintas para introducir los datos del modelo al programa. La primera alternativa se asemeja a una hoja de cálculo, mientras que la segunda, permite diseñar las redes en modo gráfico.
- **Campos de datos seleccionados para el CPM (Select CPM Data Field):** Esta área que aparece cuando pulsamos en la opción **CPM Determinístico (Deterministic CPM)** permitiendo seleccionar las variables de análisis que desarrollará WINQSB para el estudio de este tipo de redes:
 - **Tiempo normal (Normal Time):** En este campo se especifica el tiempo normal de cada actividad.
 - **Tiempo de quiebre (Crash Time):** Tiempo mínimo en el cual se podría reducir una actividad.
 - **Costo normal (Normal Cost):** Costo de realizar una actividad ejecutada en un tiempo normal. (este costo es presupuestado)
 - **Costo de quiebre (Crash Cost):** Costo incurrido al realizar una actividad en su tiempo de quiebre o crítico.
 - **Costo actual (Actual Cost):** Costo de una actividad real.
 - **Porcentaje completo (Percent Complete):** Permite realizar un análisis de costos y tiempos de forma parcial (o la totalidad) a un proyecto que ha sido ejecutado.
- **Distribución del tiempo de cada actividad (Activity Time Distribution):** Esta opción se activa cuando se pulsa sobre la opción **PERT Probabilístico (Probabilistic PERT)**. El método PERT trabaja bajo incertidumbre, donde los tiempos de la actividad tienen posibilidad de variar de acuerdo a una distribución probabilística. Al pulsar sobre el botón **Escoger distribución del tiempo de cada actividad (Choose Activity Time Distribution)**, se desplegará una nueva ventana con diferentes distribuciones probabilísticas:



Para escoger una distribución, simplemente seleccionamos la más adecuada y oprimiremos el botón **OK**.

4.1 UN PROBLEMA EJEMPLO PARA CPM

Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de un nuevo problema tipo **CPM**.

ENUNCIADO

Ejemplo 4-1:

La empresa CONSTRUCTORA S.A. programó las siguientes actividades para la construcción de una calle en concreto asfáltico (proyecto resumido – tiempo dado en días):

No	Actividad	Precedente	Tiempo Normal	Tiempo Quiebre	Costo Normal (\$)	Costo Quiebre (\$)
1	Excavación	-	15	10	1000	1200
2	Sub-Base	1	7	6	3000	3500
3	Compactación	2	2	2	700	700
4	Base	3	4	2	1200	2400
5	Compactación	4	1	1	700	700
6	Canaletes	3	6	3	1500	2700
7	Pegante	5,10	1	1	1100	1100
8	Capa asfalto	6,7	3	2	4700	5200
9	Compactación	8	1	1	800	800
10	Pruebas Base	5	2	1	400	1100
11	Pruebas Asf.	9	2	1	900	1300

Construya una red de proyectos para este caso e incluya un análisis de tiempos / costos determinístico.

Una vez analizado el enunciado se sigue con la creación del modelo de redes. Procedemos a llenar la ventana **Especificaciones del problema (Problem Specification)** con los datos del ejercicio.

The screenshot shows the 'Problem Specification' dialog box with the following configuration:

- Problem Title:** CONSTRUCTORA S.A.
- Number of Activities:** 11
- Time Unit:** Días
- Problem Type:** Deterministic CPM, Probabilistic PERT
- Data Entry Format:** Spreadsheet, Graphic Model
- Select CPM Data Field:** Normal Time, Crash Time, Normal Cost, Crash Cost, Actual Cost, Percent Complete
- Activity Time Distribution:** Choose Activity Time Distribution

Buttons: OK, Cancel, Help

Marcamos todas las opciones disponibles para **CPM** (excepto los dos últimos) con el fin de realizar un análisis integral. La ventana siguiente permite ingresar la información disponible de cada actividad:

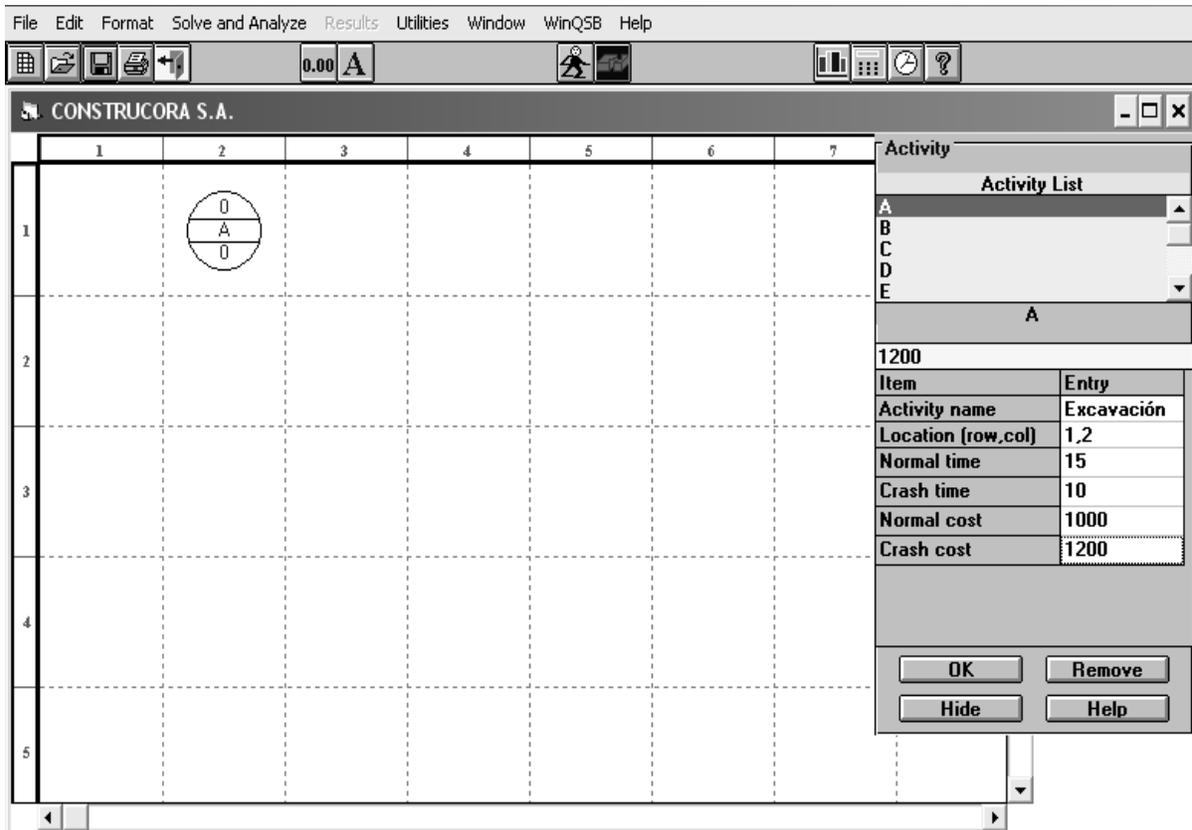
Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time	Crash Time	Normal Cost	Crash Cost
1	Excavación		15	10	\$1000	\$1200
2	Sub-Base	1	7	6	\$3000	\$3500
3	Compactación	2	2	2	\$700	\$700
4	Base	3	4	2	\$1200	\$2400
5	Compactación	4	1	1	\$700	\$700
6	Canaltes	3	6	3	\$1500	\$2700
7	Pegante	5,10	1	1	\$1100	\$1100
8	Capa Asfalto	7,6	3	2	\$4700	\$5200
9	Compactación	8	1	1	\$800	\$800
10	Pruebas Base	5	2	1	\$400	\$1100
11	Pruebas Asf.	9	2	1	\$900	\$1300

Los puntos que aparecen en esta zona son:

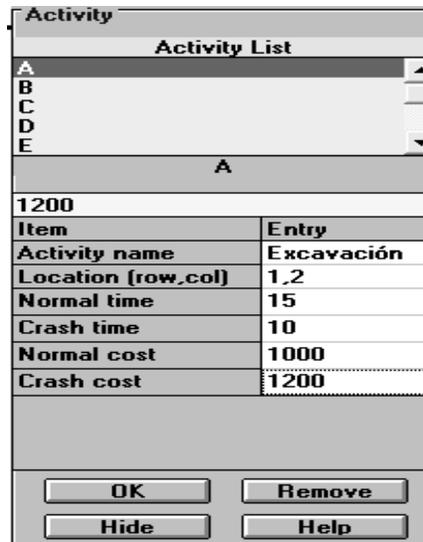
- ♦ **Número de la actividad (Activity Number):** Número consecutivo de actividades.
- ♦ **Nombre de la actividad (Activity Name):** WINQSB predefine los nombres de las actividades con letras (se cambiaron a los nombres dados por el ejercicio).
- ♦ **Predecesores (Immediate Predecessor):** Se especifica el predecesor de cada actividad. Puede ser por el nombre de la actividad o por el número de la misma. En el caso de que no exista predecesor se debe dejar el espacio en blanco.
- ♦ **Tiempos normales y de quiebre (Normal Time – Crash Time):** Tiempos normales y mínimos estimados por actividad.
- ♦ **Costos normales y de quiebre (Normal Cost – Crash Cost):** Costos normales y de quiebre para cada actividad.

4.2 INGRESANDO LOS DATOS DEL PROBLEMA EN MODO GRÁFICO

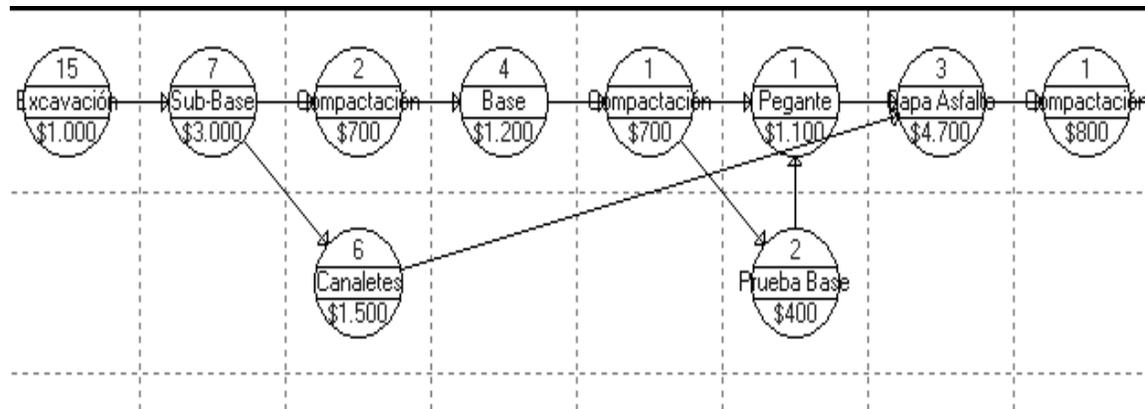
En la ventana para especificar los datos de un nuevo problema marcamos la opción **Modelo gráfico (Graphic Model)** para ingresar la red en modo gráfico. Debe aparecer una ventana en blanco, donde pulsaremos con el botón izquierdo del Mouse para ir agregando los 11 nodos definidos en el ejemplo:



Al adicionar el primer nodo, se debe especificar los datos correspondientes a la actividad que representa, pulsando luego en el botón **OK** para aceptar los cambios:



Para conectar los nodos (establecer su secuencia) pulsaremos y mantendremos pulsado con el botón izquierdo del Mouse sobre el nodo origen y arrastraremos el Mouse hacia el nodo destino. La red completa es la siguiente:

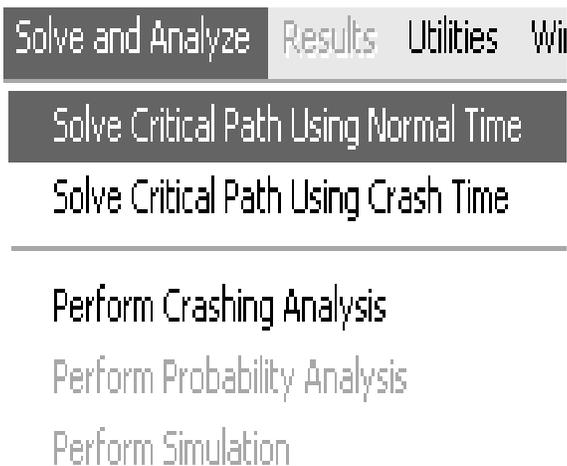


4.3 ESTIMANDO LA RUTA CRÍTICA EN REDES DE PROYECTOS MEDIANTE CPM

WINQSB resuelve las redes de proyectos (ruta críticas) desde el enfoque **CPM** empleando los tiempos normales o los tiempos de quiebre.

4.4 RUTA CRÍTICA USANDO TIEMPOS NORMALES

En el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** pulsamos sobre **Resolver ruta crítica usando tiempos normales (Solve Critical Path Using Normal Time)**.



La nueva ventana muestra cuales son las actividades críticas de la red. En la columna **Sobre la ruta crítica (On Critical Path)** se puede observar las actividades críticas (marcadas con **Yes**).

10-09-2005 14:00:54	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	Excavación	Yes	15	0	15	0	15	0
2	Sub-Base	Yes	7	15	22	15	22	0
3	Compactación	Yes	2	22	24	22	24	0
4	Base	Yes	4	24	28	24	28	0
5	Compactación	Yes	1	28	29	28	29	0
6	Canaletes	no	6	24	30	26	32	2
7	Pegante	Yes	1	31	32	31	32	0
8	Capa Asfalto	Yes	3	32	35	32	35	0
9	Compactación	Yes	1	35	36	35	36	0
10	Pruebas Base	Yes	2	29	31	29	31	0
11	Pruebas Asf.	Yes	2	36	38	36	38	0
	Project	Completion	Time	=	38	Días		
	Total	Cost of	Project	=	\$16.000	(Cost on CP =	\$14.500)	
	Number of	Critical	Path(s)	=	2			

Aparecen los **tiempos más próximos de inicio y finalización (Earliest Start y Earliest Finish)**, junto a los **tiempos tardíos (Latest Start y Latest Finish)**. En la última columna tenemos los **tiempos de holgura (Slack)**.

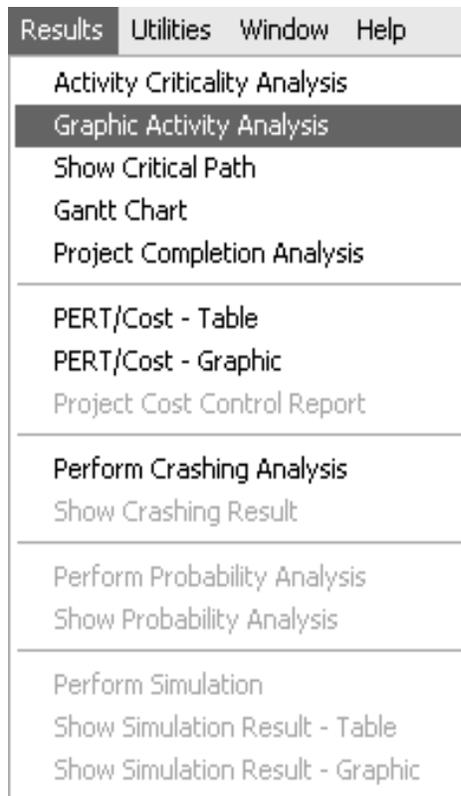
En las tres últimas filas aparecen el **tiempo de duración total del proyecto (Project Completion Time)**, el **costo total del proyecto (Total Cost of Project)** y el **número de rutas críticas (Number of Critical Path)**:

	Project	Completion	Time	=	38	Días		
	Total	Cost of	Project	=	\$16.000	(Cost on CP =	\$14.500)	
	Number of	Critical	Path(s)	=	2			

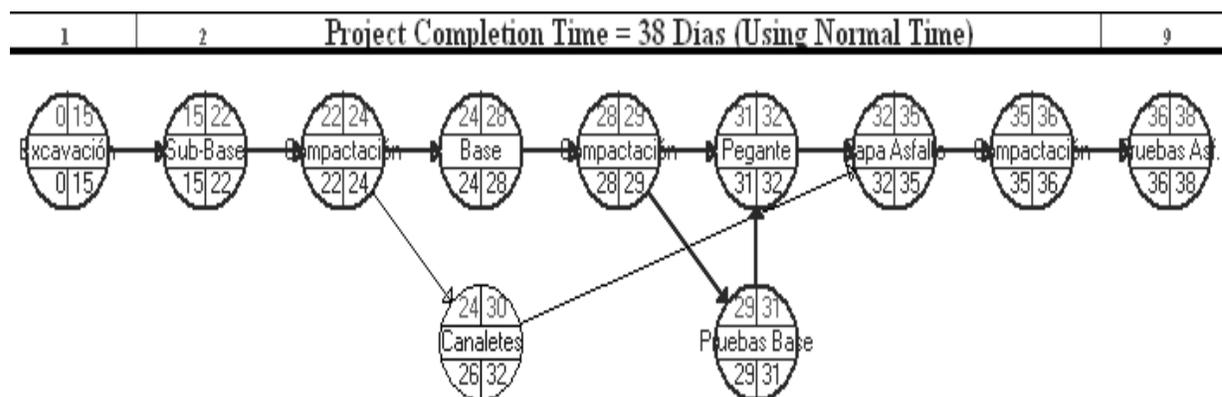
En el ejemplo la duración total es de 38 días, el costo de \$ 16.000 (el costo de la ruta crítica es de \$14.500) y existen dos rutas críticas.

4.5 RUTA CRÍTICA USANDO TIEMPOS NORMALES EN MODO GRÁFICO

Podemos también observar la ruta crítica en modo gráfico, pulsando sobre el menú **Resultados (Results)** y en **análisis de la actividad gráfica (Graphic Activity Analysis)**:



La red de proyecto para el ejemplo se muestra a continuación:



Las actividades (nodos) que se encuentran resaltadas forman parte de la ruta crítica.

4.6 RESUMIENDO LAS RUTAS CRÍTICAS

Al pulsar sobre el menú **Resultados (Results)** y en **Mostrar ruta crítica (Show Critical Path)** aparecerán solo las actividades pertenecientes a la ruta crítica:

10-09-2005	Critical Path 1	Critical Path 2
1	Excavación	Excavación
2	Sub-Base	Sub-Base
3	Compactación	Compactación
4	Base	Base
5	Compactación	Compactación
6	Pegante	Pruebas Base
7	Capa Asfalto	Pegante
8	Compactación	Capa Asfalto
9	Pruebas Asf.	Compactación
10		Pruebas Asf.
Completion Time	38	38

4.7 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Mediante la opción **Análisis del estado del proyecto (Project Completion Analysis)** ubicado en el menú **Resultados (Results)** podemos analizar las actividades que debieron ser ejecutadas (o que se encuentran en marcha) una vez pasado cierto periodo de tiempo.

Enter the project time passed so far. The program will analyze the completion status.

Current project time in Día:

OK Cancel Help

En la casilla **Día actual de ejecución del proyecto (Current Project Time in Día)**, ingrese el día a analizar sobre el proyecto. Para el ejemplo escribamos 25 y pulsemos **OK**:

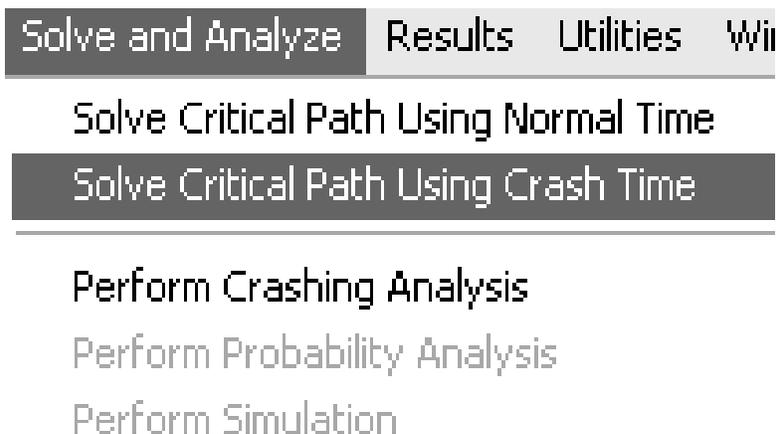
10-09-2005 13:40:11	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Latest Start	Latest Finish	Planned % Completion
1	Excavación	Yes	15	0	15	100
2	Sub-Base	Yes	7	15	22	100
3	Compactación	Yes	2	22	24	100
4	Base	Yes	4	24	28	25
5	Compactación	Yes	1	28	29	0
6	Canaletes	no	6	26	32	0
7	Pegante	Yes	1	31	32	0
8	Capa Asfalto	Yes	3	32	35	0
9	Compactación	Yes	1	35	36	0
10	Pruebas Base	Yes	2	29	31	0
11	Pruebas Asf.	Yes	2	36	38	0
	Overall	Project:		0	38	65,7895

En la columna ubicada al final se encuentra el **Porcentaje de ejecución** de cada actividad (**Planned % Completion**).

Puede analizar que hasta el día 25 de ejecución del proyecto las actividades 1, 2 y 3 deben estar terminadas (100%), y la actividad 4 estará completada en un 25%. La ejecución total del proyecto es de 65,7895%.

4.8 RUTA CRITICA USANDO TIEMPOS DE QUIEBRE

En el caso de que se trabajase con los tiempos de quiebre, optaremos por la opción **Solve Critical Path Using Crash Time**.

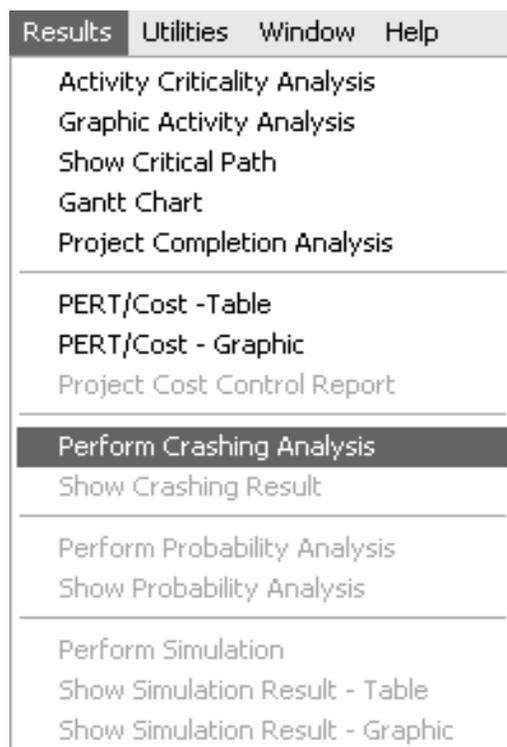


El costo total del proyecto pasa de \$16.000 a \$20.700.

10-09-2005 14:01:59	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	Excavación	Yes	10	0	10	0	10	0
2	Sub-Base	Yes	6	10	16	10	16	0
3	Compactación	Yes	2	16	18	16	18	0
4	Base	Yes	2	18	20	18	20	0
5	Compactación	Yes	1	20	21	20	21	0
6	Canaletes	no	3	18	21	20	23	2
7	Pegante	Yes	1	22	23	22	23	0
8	Capa Asfalto	Yes	2	23	25	23	25	0
9	Compactación	Yes	1	25	26	25	26	0
10	Pruebas Base	Yes	1	21	22	21	22	0
11	Pruebas Asf.	Yes	1	26	27	26	27	0
	Project	Completion	Time	=	27	Días		
	Total	Cost of	Project	=	\$20.700	(Cost on	CP =	\$18.000)
	Number of	Critical	Path(s)	=	2			

4.9 ANÁLISIS DE COSTOS DE EJECUCIÓN

WNQSB posee herramientas para el análisis de costos sobre proyectos. Para activar esta opción pulsemos sobre el menú **Resultados (Results)** y **Análisis de desempeño (Perform Crashing Analysis)**:



A continuación describiremos la nueva ventana:

The screenshot shows a software window titled "Crashing Option" with three radio button options:

- Meeting the desired completion time
- Meeting the desired budget cost
- Finding the minimum cost schedule

Below the options are three input fields:

- Desired completion time: []
- Late penalty per Día: []
- Early reward per Día: []

At the bottom right are three buttons: OK, Cancel, and Help.

Project completion time and cost based on normal time:	38 Días
	\$16.000
Project completion time and cost based on crash time:	27 Días
	\$20.700

Existen tres opciones para el análisis:

- ♦ **Conociendo el tiempo de terminación deseado (Meeting the Desired Completion Time):** Podremos fijar el **Tiempo deseado de duración del proyecto (Desired Completion Time)**, constituir una **Multa por retraso (Late Penalty per Día)** y una recompensa en caso de terminar antes de lo fijado (**Early Reward per Día**).
- ♦ **Conociendo el costo presupuestado deseado (Meeting the Desired Budget Cost):** Permite establecer el tiempo de las actividades (entre el tiempo normal y quiebre) que deben modificarse para alcanzar el **Costo deseado presupuestado (Desired Budget Cost)**.
- ♦ **Encontrando la programación para el mínimo costo (Finding the Minimum Cost Schedule):** Constituye el tiempo de las actividades que permiten encontrar el mínimo costo.

Por ejemplo, si deseamos la nueva programación de actividades a un mínimo costo para ejecutar el proyecto en 29 días, sabiendo que si lo terminamos antes recibiremos \$2.500 por día anticipado y si lo terminamos después, pagaremos una multa de \$10.000 por día incumplido, elegiremos la última alternativa:

Crashing Option <input type="radio"/> Meeting the desired completion time <input type="radio"/> Meeting the desired budget cost <input checked="" type="radio"/> Finding the minimum cost schedule		Project completion time and cost based on normal time:	38 Días \$16.000
Desired completion time: 29		Project completion time and cost based on crash time:	27 Días \$20.700
Late penalty per Día: 10000		OK	
Early reward per Día: 2500		Cancel	
		Help	

Se genera una tabla que muestra el tiempo ideal en que se deben ejecutar las actividades, aprovechando la recompensa por terminar unos días antes de lo presupuestado:

0-09-2005 15:26:28	Activity Name	Critical Path	Normal Time	Crash Time	Suggested Time	Additional Cost	Normal Cost	Suggested Cost
1	Excavación	Yes	15	10	10	\$200	\$1.000	\$1.200
2	Sub-Base	Yes	7	6	6	\$500	\$3.000	\$3.500
3	Compactación	Yes	2	2	2	0	\$700	\$700
4	Base	Yes	4	2	2	\$1.200	\$1.200	\$2.400
5	Compactación	Yes	1	1	1	0	\$700	\$700
6	Canaletes	Yes	6	3	5	\$400	\$1.500	\$1.900
7	Pegante	Yes	1	1	1	0	\$1.100	\$1.100
8	Capa Asfalto	Yes	3	2	2	\$500	\$4.700	\$5.200
9	Compactación	Yes	1	1	1	0	\$800	\$800
10	Pruebas Base	Yes	2	1	1	\$700	\$400	\$1.100
11	Pruebas Asf.	Yes	2	1	1	\$400	\$900	\$1.300
	Early	Reward:						(\$5.000)
	Overall	Project:			27	\$3.900	\$16.000	\$14.900

WINQSB nos recomienda terminar el proyecto en 27 días para restar \$5.000 a los costos por los dos días ahorrados.

4.10 MODELOS PERT

Para mostrar el funcionamiento de esta opción en el **WINQSB** modificaremos el ejemplo inicial para trabajar con tiempos normales, optimistas y pesimistas para cada actividad (**3 time estimate**).

Ejemplo 4-2:

La empresa CONSTRUCTORA S.A. programó las siguientes actividades para la construcción de una calle en concreto asfáltico (proyecto resumido – tiempo dado en días):

No	Actividad	Precedente	Tiempo Optimista	Tiempo Normal	Tiempo Pesimista
1	Excavación	-	10	15	17
2	Sub-Base	1	6	7	8
3	Compactación	2	2	2	3
4	Base	3	2	4	5
5	Compactación	4	1	1	2
6	Canaletes	3	3	6	7
7	Pegante	5,10	1	1	2
8	Capa asfalto	6,7	2	3	4
9	Compactación	8	1	1	2
10	Pruebas Base	5	1	2	3
11	Pruebas Asf.	9	1	2	3

Construya una red de proyectos aplicando la metodología PERT a los tiempos estimados.

Indicamos el uso de esta distribución en la ventana **Especificación del Problema (Problem Specification)**:

The screenshot shows a dialog box titled "Problem Specification" with the following fields and options:

- Problem Title:** CONSTRUCTORA S.A.
- Number of Activities:** 11
- Time Unit:** Día
- Problem Type:** Deterministic CPM, Probabilistic PERT
- Data Entry Format:** Spreadsheet, Graphic Model
- Select CPM Data Field:** Normal Time, Crash Time, Normal Cost, Crash Cost, Actual Cost, Percent Complete
- Activity Time Distribution:** 3-Time estimate
- Choose Activity Time Distribution:** (button)
- Buttons:** OK, Cancel, Help

Al pulsar **OK** podremos ingresar los tiempos para cada actividad:

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by	Optimistic time (a)	Most likely time (m)	Pessimistic time (b)
1	Excavación		10	15	17
2	Sub-Base	1	6	7	8
3	Compactación	2	2	2	3
4	Base	3	2	4	5
5	Compactación	4	1	1	2
6	Canaletes	3	3	6	7
7	Pegante	5,10	1	1	2
8	Capa asfalto	6,7	2	3	4
9	Compactación	8	1	1	2
10	Pruebas Base	5	1	2	3
11	Pruebas Asf.	9	1	2	3

Los puntos que aparecen en esta zona son:

- ♦ **Número de la actividad (Activity Number):** Número consecutivo de actividades.
- ♦ **Nombre de la actividad (Activity Name):** WINQSB predefine los nombres de las actividades con letras (se cambiaron a los nombres dados por el ejercicio).
- ♦ **Predecesores (Immediate Predecessor):** Se especifica el predecesor de cada actividad. Puede ser por el nombre de la actividad o por el número de la misma. En el caso de que no exista predecesor se debe dejar el espacio en blanco.
- ♦ **Tiempos optimistas, normales y pesimistas (Optimistic Time - a, Most Likely Time - m y Pessimistic Time - b):** Tiempos normales, pesimistas y optimistas.

4.11 ESTIMANDO LA RUTA CRÍTICA

En el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** pulsamos sobre **Resolver ruta crítica (Solve Critical Path)**.

10-09-2005 16:18:02	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation	
	1	Excavación	Yes	14,5	0	14,5	0	14,5	0	3-Time estimate	1,1667
	2	Sub-Base	Yes	7	14,5	21,5	14,5	21,5	0	3-Time estimate	0,3333
	3	Compactación	Yes	2,1667	21,5	23,6667	21,5	23,6667	0	3-Time estimate	0,1667
	4	Base	Yes	3,8333	23,6667	27,5	23,6667	27,5	0	3-Time estimate	0,5
	5	Compactación	Yes	1,1667	27,5	28,6667	27,5	28,6667	0	3-Time estimate	0,1667
	6	Canaletes	no	5,6667	23,6667	29,3333	26,1667	31,8333	2,5	3-Time estimate	0,6667
	7	Pegante	Yes	1,1667	30,6667	31,8333	30,6667	31,8333	0	3-Time estimate	0,1667
	8	Capa asfalto	Yes	3	31,8333	34,8333	31,8333	34,8333	0	3-Time estimate	0,3333
	9	Compactación	Yes	1,1667	34,8333	36	34,8333	36	0	3-Time estimate	0,1667
	10	Pruebas Base	Yes	2	28,6667	30,6667	28,6667	30,6667	0	3-Time estimate	0,3333
	11	Pruebas Asf.	Yes	2	36	38	36	38	0	3-Time estimate	0,3333
		Project	Completion	Time	=	38	Días				
		Number of	Critical	Path(s)	=	2					

La cuarta columna (**Activity Mean Time**) muestra la duración promedio de cada actividad obtenidos mediante la siguiente fórmula:

$$Media = \frac{a + 4 \cdot m + b}{6}$$

Siguen los **tiempos más próximos de inicio y finalización (Earliest Start y Earliest Finish)**, junto a los **tiempos tardíos (Latest Start y Latest Finish)** y los **tiempos de holgura (Slack)**.

La última columna representa la desviación estándar para cada actividad:

$$Desviación = \frac{b - a}{6}$$

4.12 PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO DE UN PROYECTO

Ejemplo 4-3:

Dada la información del ejemplo 2, ¿cuál es la probabilidad de concluir el proyecto en 35 días?

Al pulsar sobre el menú **Resultados (Results)** y en **Análisis Probabilístico (Performance Probability Analysis)**, se podrá determinar la probabilidad de cumplimiento en una red de proyectos. Para nuestro ejemplo, simplemente escribiremos 35 en la casilla **Tiempo deseado de ejecución (Desired Completion Time in Día)** y luego presionando el botón **Compute Probability**:

Probability Analysis [X]

The following probability calculation assumes that activities are independent and so are paths. It also assumes that the project has a large enough number of activities to assume the normal distribution, which is used to estimate the probability of finishing a critical path in the desired time. Therefore, when the activities are not independent or the number of activities is not large, the analysis may be biased.

Completion time based on mean/expected time: 38 Días

Number of critical paths: 2

Desired completion time in Día: 35

Critical Path:	Standard Dev.:	Probability (%):
Excavación --> Sub-Base --> Comp	1,4337	1,8209
Excavación --> Sub-Base --> Comp	1,4720	2,0779
Overall Project		378,3651

La probabilidad se calcula para las dos rutas críticas presentes en el proyecto: 1.8209% y 2.0779%. Existe entonces una probabilidad del 1.8209% de terminar el proyecto en 35 días.

5. PLANEACIÓN AGREGADA

La opción **Nuevo Problema (New Problem)** genera una plantilla en la cual se introducirán las características de nuestro problema:

Problem Specification

Problem Type

Simple Model

Transportation Model

General LP Model

Part Time Allowed

Overtime Allowed

Hire/Dismissal Allowed

Subcontracting Allowed

Backorder Allowed

Lost Sales Allowed

Problem Title: Aggregate Planning Problem

Number of Planning Periods: 5

Planning Resource Name: employee

Capacity Unit of Planning Resource: hour

Capacity Requirement per Product/Service: 1

Initial Number of Planning Resource: 1

Initial Inventory(+)/Backorder(-) of Product/Service: 0

OK Cancel Help

A continuación se describirán cada uno de los **Tipos de problemas (Problem Type)** admitidos en este módulo:

- **Modelos Simples (Simple Model):** Este tipo de modelos analizan los **costos lineales de producción (linear cost from production)**, los **subcontratos (Subcontracting)**, **ventas pérdidas (Lost Sales)**, **inventarios / pedidos (Inventory / Backorder)**, **tiempos extras (Overtime)**, **contratos / despidos (Hire / Dismissal)**.
- **Modelos de Transportes (Transportation Model):** Representa una relación origen (producción) destino (demanda) entre varios actores a través de un modelo de transporte, considerando tiempos de producción, venta pérdidas, subcontratos, tiempos extras.
- **Modelos generales de Programación Lineal (General L P Model):** Cubre la mayoría de situaciones que pueden presentarse en la Planeación Agregada. Incluye todos los elementos de los dos modelos anteriores.

5.1 MODELO DE EJEMPLO

Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de un modelo simple de Planeación Agregada.

Ejemplo 5-1:

Según el departamento de pronósticos de la compañía ABC S.A., las demandas de artículos para los próximos seis meses serán:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Pronóstico de la demanda	1800	1500	1100	900	1100	1600	8000
Cantidad de días laborables	22	19	21	21	22	20	125

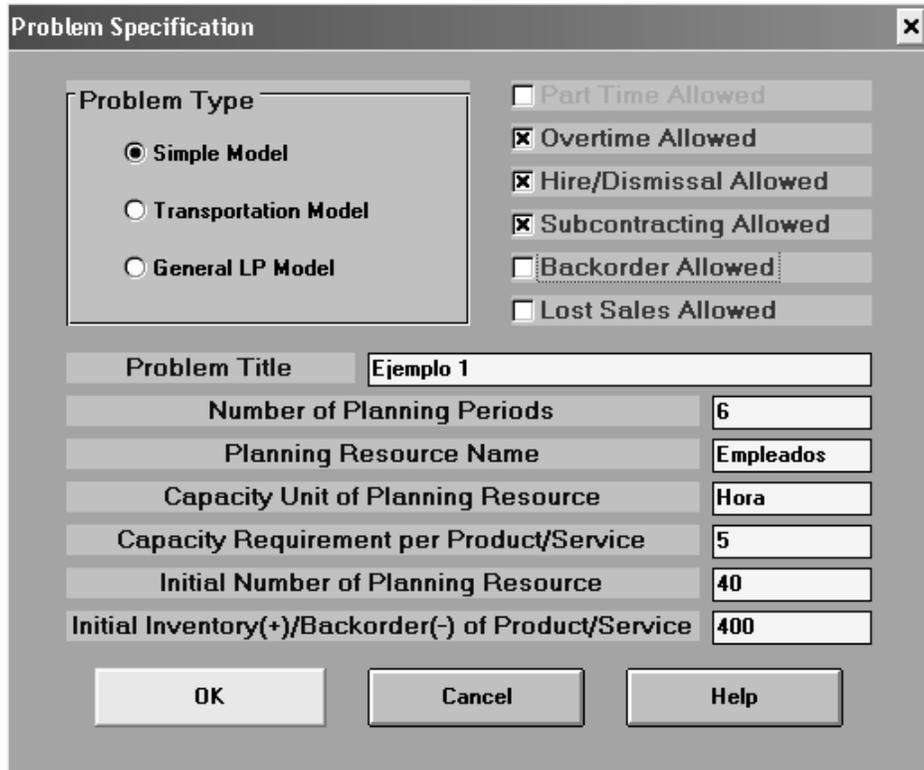
Se desea preparar un plan de producción para la compañía, considerando la siguiente información adicional:

Costo materiales	\$100.000/unidad
Costo de mantener inventario	\$1.50/unidad/mes
Costo marginal por ventas perdidas	\$5.00/unidad/mes
Costo marginal de subcontratación	\$20.00/unidad
Costo de contrataciones y capacitaciones	\$200.00/trabajador
Costo de despidos	\$250.00/trabajador
Horas de trabajo requeridas	5/unidad
Máximo de horas de trabajo extras por mes	8 Horas
Horas laborables normales por día	8 Horas
Costo del tiempo normal	\$4.00/hora
Costo del tiempo extra	\$6.00/hora
Trabajadores disponibles a enero primero	40 Trabajadores
Capacidad máxima que se puede subcontratar	100 Unidades
Inventario inicial	400 unidades

5.2 INTRODUCIENDO EL PROBLEMA

Para ingresar la información del problema al **WINQSB**, debemos activar la ventana **Especificaciones del problema (Problem Specification)** pulsando sobre la

opción **Nuevo Problema (New Problem)** en el menú **Archivo (File)** o pulsando directamente sobre el botón .



Problem Specification

Problem Type

- Simple Model
- Transportation Model
- General LP Model

Part Time Allowed

Overtime Allowed

Hire/Dismissal Allowed

Subcontracting Allowed

Backorder Allowed

Lost Sales Allowed

Problem Title Ejemplo 1

Number of Planning Periods 6

Planning Resource Name Empleados

Capacity Unit of Planning Resource Hora

Capacity Requirement per Product/Service 5

Initial Number of Planning Resource 40

Initial Inventory(+)/Backorder(-) of Product/Service 400

OK Cancel Help

Seleccionamos **Modelo Simple (Simple Model)** y marcamos las casillas a partir de la información suministrada por el problema:

- **Tiempo Extra (Overtime Allowed)**: En el caso de que se considere trabajar con tiempos extras.
- **Despidos y contrataciones (Hire/Dismissal Allowed)**: Cuando se considere la opción de contratar y despedir empleados según la carga de producción en el periodo.
- **Subcontratación (Subcontracting Allowed)**: Se activa cuando el problema considere la alternativa de subcontratar parte de la producción.
- **Pedidos (Backorder Allowed)**: Cuando se desee trabajar considerando inventarios menores a cero.
- **Ventas Perdidas (Lost Sales Allowed)**: Incluye el costo de las ventas perdidas.

El resto de la información requerida la constituye:

- **Título del problema (Problem Title)**: Se escribe el título con que identificamos el problema.

Problem Title	Ejemplo 1
Number of Planning Periods	6
Planning Resource Name	Empleados
Capacity Unit of Planning Resource	Hora
Capacity Requirement per Product/Service	5
Initial Number of Planning Resource	40
Initial Inventory(+)/Backorder(-) of Product/Service	400

- **Número de periodos planeados (Number of Planning Periods):** Número de periodos incluidos en la planeación del problema.
- **Nombre del recurso planeado (Planning Resource Name):** Nombre del recurso que se va a planear.
- **Unidad de capacidad del recurso planeado (Capacity Unit of Planning Resource)**
- **Requerimiento de capacidad por unidad de producto o servicio (Capacity Requirement per Product/Service):** Unidades requeridas para elaborar un producto o servicio (en este caso el valor indica que se requieren 5 horas por cada unidad).
- **Número inicial de recursos planeados (Initial Number of Planning Resource):** Indica la cantidad de recursos disponibles al comienzo del periodo.
- **Inventario inicial o faltantes de productos o servicios (Initial Inventory(+)/Backorder(-) of Product/Service):** Disponibilidad (o faltantes) de unidades del producto o servicio.

Una vez digitada la información pulsamos sobre el botón **OK** para ingresar los datos faltantes del problema.

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand						
Initial Number of Empleados	40	40	40	40	40	40
Regular Time Capacity in Hora per Empleados						
Regular Time Cost per Hora						
Undertime Cost per Hora						
Overtime Capacity in Hora per Empleados						
Overtime Cost per Hora						
Hiring Cost per Empleados						
Dismissal Cost per Empleados						
Initial Inventory (+) or Backorder (-)	400					
Maximum Inventory Allowed	M	M	M	M	M	M
Minimum Ending Inventory (Safety Stock)						
Unit Inventory Holding Cost						
Maximum Subcontracting Allowed (Capacity)						
Unit Subcontracting Cost						
Other Unit Production Cost						
Capacity Requirement in Hora per Unit	5	5	5	5	5	5

Explicaremos a continuación uno a uno los nuevos campos requeridos por **WINQSB** para completar el análisis de planeación agregada (recuerde que las palabras **Hora** y **Empleados** fueron definidas al inicio como unidad de capacidad y el nombre del recurso manejado):

- **Pronóstico de la Demanda (Forecast Demand)**: Se introduce la información resultado de un pronóstico de la demanda para los meses objeto del estudio.

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand	1800	1500	1100	900	1100	1600

- **Número Inicial de Empleados (Initial Numbers of Empleados)**: Cantidad de empleados con que disponemos al comienzo de cada mes.
- **Tiempo regular disponible en hora por empleados (Regular Time Capacity in Hora per Empleados)**: Tiempo máximo disponible por cada mes (en la unidad de tiempo definida). Se calcula multiplicando los días disponibles por mes por las horas disponibles para trabajar, por ejemplo, para el periodo 1 tenemos:

$$\text{Tiempo Disponible} = 22 \text{ días} \times 8 \text{ Horas} / \text{Día} = 176 \text{ horas disponibles}$$

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand	1800	1500	1100	900	1100	1600
Initial Number of Empleados	40					
Regular Time Capacity in Hora per Empleados	176	152	168	168	176	160

- **Costo regular de la hora (Regular Time Cost per Hora)**: En nuestro caso estimamos el valor de la hora trabajada en \$4.
- **Costo por debajo de la hora (Undertime Cost per Hora)**: En caso de no completar la hora, se debe definir el costo de la misma. En el ejemplo trabajaremos con el costo de la hora completa \$4.
- **Tiempo extra disponible (Overtime Capacity in Hora per Empleados)**: Indicamos el número de horas extras disponibles por cada trabajador.
- **Costo del tiempo Extra (Overtime Cost per Hora)**: Costo de la hora extra.
- **Costo de contratación (Hiring Cost per Empleados)**: Costo de contratar un empleado.
- **Costo de despido (Dismissal Cost per Empleados)**: Costo de despido de un empleado.

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand	1800	1500	1100	900	1100	1600
Initial Number of Empleados	40					
Regular Time Capacity in Hora per Empleados	176	152	168	168	176	160
Regular Time Cost per Hora	4	4	4	4	4	4
Undertime Cost per Hora	4	4	4	4	4	4
Overtime Capacity in Hora per Empleados	8	8	8	8	8	8
Overtime Cost per Hora	6	6	6	6	6	6
Hiring Cost per Empleados	200	200	200	200	200	200
Dismissal Cost per Empleados	250	250	250	250	250	250

- **Inventario Inicial (Initial Inventory (+) or Backorder (-)):** Inventario inicial con el cual se cuenta (o se contará) al inicio del periodo, órdenes pendientes por cumplir.
- **Nivel máximo de Inventario (Maximun Inventory Allowed):** Nivel máximo de inventario aceptado por la empresa. En el caso de que se trabaje con inventarios máximo tendientes a infinito se especifica con la letra M.
- **Nivel mínimo de inventario aceptado (Minimun Ending Inventory):** Valor del Stock mínimo requerido por la empresa. En nuestro caso colocaremos el valor de cero indicando que trabajaremos con cero inventarios.
- **Costo de mantener una unidad en inventario (Unit Inventory Holding Cost):** El costo de mantener un producto en inventario durante un periodo determinado.

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand	1800	1500	1100	900	1100	1600
Initial Number of Empleados	40					
Regular Time Capacity in Hora per Empleados	176	152	168	168	176	160
Regular Time Cost per Hora	4	4	4	4	4	4
Undertime Cost per Hora	4	4	4	4	4	4
Overtime Capacity in Hora per Empleados	8	8	8	8	8	8
Overtime Cost per Hora	6	6	6	6	6	6
Hiring Cost per Empleados	200	200	200	200	200	200
Dismissal Cost per Empleados	250	250	250	250	250	250
Initial Inventory (+) or Backorder (-)	400					
Maximum Inventory Allowed	M	M	M	M	M	M
Minimum Ending Inventory (Safety Stock)	0	0	0	0	0	0
Unit Inventory Holding Cost	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

- **Capacidad máxima posible a subcontratar (Maximun Subcontracting Allowed):** Valor máximo que podría ser subcontratado en caso de que la producción no alcance el valor demandado.
- **Costo de la unidad subcontratada (Unit Subcontracting Cost):** Valor de cada unidad que es elaborada por subcontratos.
- **Otros costos unitarios de producción (Other Unit Production Cost):** En caso de que existan otros costos unitarios adicionales se anotaran en este apartado.

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand	1800	1500	1100	900	1100	1600
Initial Number of Empleados	40					
Regular Time Capacity in Hora per Empleados	176	152	168	168	176	160
Regular Time Cost per Hora	4	4	4	4	4	4
Undertime Cost per Hora	4	4	4	4	4	4
Overtime Capacity in Hora per Empleados	8	8	8	8	8	8
Overtime Cost per Hora	6	6	6	6	6	6
Hiring Cost per Empleados	200	200	200	200	200	200
Dismissal Cost per Empleados	250	250	250	250	250	250
Initial Inventory (+) or Backorder (-)	400					
Maximum Inventory Allowed	M	M	M	M	M	M
Minimum Ending Inventory (Safety Stock)	0	0	0	0	0	0
Unit Inventory Holding Cost	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Maximum Subcontracting Allowed (Capacity)	100	100	100	100	100	100
Unit Subcontracting Cost	20	20	20	20	20	20
Other Unit Production Cost	0	0	0	0	0	0
Capacity Requirement in Hora per Unit	5					

La última fila corresponde al **Requerimiento de capacidad por unidad de producto o servicio (Capacity Requirement per Product/Service)** introducido en la ventana de especificaciones del problema. Una vez concluida la digitación de los datos procedemos a solucionar el problema:

Solve and Analyze Resu

Solve the Problem

Aparecerá una nueva ventana donde se podrán establecer distintos parámetros para llegar a una solución óptima.

Solution Method <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> Constant Average Production (Level Strategy) <input type="radio"/> Periodic Average Production (Level Strategy) <input type="radio"/> Constant Regular Time Empleados (Level Strategy) <input type="radio"/> Constant with Initial Empleados (Level Strategy) <input type="radio"/> Constant with Minimum Empleados (Level Strategy) <input type="radio"/> Up-to-demand with Regular Time Empleados <input type="radio"/> Up-to-demand with Regular and Overtime Empleados <input type="radio"/> Up-to-demand with No Hiring/Dismissal <input type="radio"/> User Assigns/Adjusts Production <input type="radio"/> Linear Programming Optimal Solution 		Proposed Average Production: <input type="text" value="1267"/>												
Production Priority If Needed <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Enter Priority [1 to 5]</u></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Overtime</td> <td style="text-align: center;"><input type="text" value="1"/></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Hiring/dismissal</td> <td style="text-align: center;"><input type="text" value="2"/></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Subcontracting</td> <td style="text-align: center;"><input type="text" value="3"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Backorder</td> <td style="text-align: center;"><input type="text" value="4"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Lost-sales</td> <td style="text-align: center;"><input type="text" value="5"/></td> </tr> </table>			<u>Enter Priority [1 to 5]</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Overtime	<input type="text" value="1"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Hiring/dismissal	<input type="text" value="2"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Subcontracting	<input type="text" value="3"/>	<input type="checkbox"/> Backorder	<input type="text" value="4"/>	<input type="checkbox"/> Lost-sales	<input type="text" value="5"/>	Production Quantity <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Fraction allowed <input checked="" type="radio"/> Whole number <input type="radio"/> in 10s <input type="radio"/> in 100s <input type="radio"/> in 1000s <input type="radio"/> in lot-size: <input type="text" value="1"/>
	<u>Enter Priority [1 to 5]</u>													
<input checked="" type="checkbox"/> Overtime	<input type="text" value="1"/>													
<input checked="" type="checkbox"/> Hiring/dismissal	<input type="text" value="2"/>													
<input checked="" type="checkbox"/> Subcontracting	<input type="text" value="3"/>													
<input type="checkbox"/> Backorder	<input type="text" value="4"/>													
<input type="checkbox"/> Lost-sales	<input type="text" value="5"/>													
		<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>												

5.3 ESTABLECIENDO EL MÉTODO DE SOLUCIÓN

WINQSB nos permite elegir entre 10 métodos distintos para la consecución de la planeación agregada. Los más destacados son:

- **Promedio de producción constante (Constant Average Production):** Se especifica el promedio de producción el cual se mantendrá constante durante los meses.
- **Promedio de producción periódico (Periodic Average Production):** Mantener la producción constantes por periodos.
- **Tiempo constante de capacidad para empleados (Constant Regular Time Empleados):** Se mantienen los tiempos de capacidad para el recurso estudiado.
- **Cantidad inicial de empleados constantes (Constant With Initial Empleados):** Se mantienen constantes la cantidad de empleados (no se contratan ni se despiden).
- **Cantidad mínima de empleados constantes (Constant With Minimun Empleados):** Cantidad mínima de empleados que se mantendrán constantes.

Podremos priorizar para algunos de estos métodos si el problema esta enfocado más hacia una solución con subcontratación, despidos, subcontratos o ventas perdidas (la valoración se hace colocando a las casillas que están activadas un valor entre el 1 y el 5, siendo 1 el ítem que tendrá más importancia).

Production Priority If Needed

Enter Priority [1 to 5]

<input checked="" type="checkbox"/> Overtime	<input type="text" value="1"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Hiring/dismissal	<input type="text" value="2"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Subcontracting	<input type="text" value="3"/>
<input type="checkbox"/> Backorder	<input type="text" value="4"/>
<input type="checkbox"/> Lost-sales	<input type="text" value="5"/>

5.4 SOLUCIONANDO UN PROBLEMA DE PLANEACIÓN AGREGADA

La solución se hará basada en la estrategia de mantener un nivel constante de 40 empleados al comienzo de cada mes, seleccionando la opción **Cantidad inicial de empleados constantes** (*Constant With Initial Empleados*).

Solution Method

- Constant Average Production (Level Strategy)
- Periodic Average Production (Level Strategy)
- Constant Regular Time Empleados (Level Strategy)
- Constant with Initial Empleados (Level Strategy)**
- Constant with Minimum Empleados (Level Strategy)
- Up-to-demand with Regular Time Empleados
- Up-to-demand with Regular and Overtime Empleados
- Up-to-demand with No Hiring/Dismissal
- User Assigns/Adjusts Production
- Linear Programming Optimal Solution

Proposed Number of Initial Empleadoss:

Production Quantity

- Fraction allowed
- Whole number
- in 10s
- in 100s
- in 1000s
- in lot-size:

Esta solución impide la contratación y despidos de empleados. Pulsamos en el botón **OK** y analicemos los resultados:

11-26-2005 12:59:28	Demand	Regular Production	Overtime Production	Subcontracting Production	Total Production	Ending Inventory	Hiring	Dismissal	Number of Empleadoss
Initial						400,00			40,00
Period 1	1.800,00	1.408,00	0,00	0,00	1.408,00	8,00	0,00	0,00	40,00
Period 2	1.500,00	1.216,00	0,00	0,00	1.216,00	0,00	0,00	0,00	40,00
Period 3	1.100,00	1.344,00	0,00	0,00	1.344,00	0,00	0,00	0,00	40,00
Period 4	900,00	1.344,00	0,00	0,00	1.344,00	412,00	0,00	0,00	40,00
Period 5	1.100,00	1.408,00	0,00	0,00	1.408,00	720,00	0,00	0,00	40,00
Period 6	1.600,00	1.280,00	0,00	0,00	1.280,00	400,00	0,00	0,00	40,00
Total	8.000,00	8.000,00	0,00	0,00	8.000,00	1.540,00	0,00	0,00	

En este caso, la cantidad de empleados es suficiente para satisfacer la demanda, por lo cual no es necesario trabajar horas extras ni subcontratar parte de la producción.

Manteniendo este nivel máximo de producción con 40 empleados, al final del sexto periodo se tendrá un inventario final de 1540 unidades.

Para observar los costos de esta estrategia seleccionaremos en el menú **Resultados (Results)** la opción **Mostrar análisis de costos (Show Cost Analysis)**



El costo total de esta estrategia es de \$162.310.

11-26-2005 13:01:46	Regular Time	Overtime	Subcontracting Cost	Inventory Holding Cost	Hiring	Dismissal	TOTAL COST
Period 1	\$28.160	0	0	\$12	0	0	\$28.172
Period 2	\$24.320	0	0	0	0	0	\$24.320
Period 3	\$26.880	0	0	0	0	0	\$26.880
Period 4	\$26.880	0	0	\$618	0	0	\$27.498
Period 5	\$28.160	0	0	\$1.080	0	0	\$29.240
Period 6	\$25.600	0	0	\$600	0	0	\$26.200
Total	\$160.000	0	0	\$2.310	0	0	\$162.310

Cerremos la ventana que muestra la solución y procedamos a resolver nuevamente el ejercicio, esta vez marcando el primer método de solución **Promedio de producción constante (Constant Average Production)** y pulsando en el botón **OK**.

Solution Method

- Constant Average Production (Level Strategy)
- Periodic Average Production (Level Strategy)
- Constant Regular Time Empleados (Level Strategy)
- Constant with Initial Empleados (Level Strategy)
- Constant with Minimum Empleados (Level Strategy)
- Up-to-demand with Regular Time Empleados
- Up-to-demand with Regular and Overtime Empleados
- Up-to-demand with No Hiring/Dismissal
- User Assigns/Adjusts Production
- Linear Programming Optimal Solution

Proposed Average Production:

1267

Production Quantity

- Fraction allowed
- Whole number
- in 10s
- in 100s
- in 1000s
- in lot-size:

Production Priority If Needed

Enter Priority (1 to 5)

- Overtime
- Hiring/dismissal
- Subcontracting
- Backorder
- Lost-sales

OK

Cancel

Help

Los nuevos resultados son:

11-26-2005 13:06:56	Demand	Regular Production	Overtime Production	Subcontracting Production	Total Production	Ending Inventory	Hiring	Dismissal	Number of Empleadoss
Initial						400,00			40,00
Period 1	1.800,00	1.267,00	0,00	0,00	1.267,00	0,00	0,00	0,00	40,00
Period 2	1.500,00	1.216,00	0,00	0,00	1.216,00	0,00	0,00	0,00	40,00
Period 3	1.100,00	1.267,00	0,00	0,00	1.267,00	0,00	0,00	0,00	40,00
Period 4	900,00	1.267,00	0,00	0,00	1.267,00	117,00	0,00	0,00	40,00
Period 5	1.100,00	1.267,00	0,00	0,00	1.267,00	284,00	0,00	0,00	40,00
Period 6	1.600,00	1.267,00	0,00	0,00	1.267,00	0,00	0,00	0,00	40,00
Total	8.000,00	7.551,00	0,00	0,00	7.551,00	401,00	0,00	0,00	

En este caso la producción se mantiene constante a un valor cercano a las 1267 unidades. Los costos totales son de aproximadamente \$160.602.

11-26-2005 13:08:26	Regular Time	Undertime	Overtime	Subcontracting Cost	Inventory Holding Cost	Hiring	Dismissal	TOTAL COST
Period 1	\$25.340	\$2.820	0	0	0	0	0	\$28.160
Period 2	\$24.320	0	0	0	0	0	0	\$24.320
Period 3	\$25.340	\$1.540	0	0	0	0	0	\$26.880
Period 4	\$25.340	\$1.540	0	0	\$ 175,50	0	0	\$ 27.055,50
Period 5	\$25.340	\$2.820	0	0	\$426	0	0	\$28.586
Period 6	\$25.340	\$260	0	0	0	0	0	\$25.600
Total	\$151.020	\$8.980	0	0	\$ 601,50	0	0	\$ 160.601,50

En el mismo menú **Resultados (Results)** se podrá seleccionar la opción **Mostrar análisis gráfico (Show Graphics Analisis)** para mostrar los resultados de la planeación en modo gráfico.

6. PRONÓSTICOS

La opción **Nuevo Problema (New Problem)** genera una plantilla en el cual se introducirán las características de nuestro problema de pronósticos:

The screenshot shows a dialog box titled 'Problem Type' on the left and 'Problem Title' on the right. In the 'Problem Type' section, the 'Time Series Forecasting' radio button is selected, while 'Linear Regression' is unselected. The 'Problem Title' section has an empty text field. The 'Time Unit' section has a text field containing 'month'. The 'Number of Time Units (Periods)' section has an empty text field. At the bottom, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

A continuación se describirá la ventana de **Especificaciones del problema (Problem Specification)**:

Pronóstico de Series de Tiempos (Time Series Forecasting):

- **Título del problema (Problem Title):** Nombre con el cual se identificará el problema.
- **Unidad de Tiempo (Time Unit):** Se especifica la unidad de tiempo de la serie.
- **Numero de unidades de tiempo (Number of Time Units - Periodos):** Datos disponibles.

The screenshot shows a dialog box titled 'Problem Type' on the left and 'Problem Title' on the right. In the 'Problem Type' section, the 'Linear Regression' radio button is selected, while 'Time Series Forecasting' is unselected. The 'Problem Title' section has an empty text field. The 'Number of Factors (Variables)' section has a text field containing '0'. The 'Number of Observations' section has a text field containing '0'. At the bottom, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Regresión lineal (Linear Regression):

- **Título del problema (Problem Title):** Nombre con el cual se identificará el problema.
- **Número de variables (Number of Factors - Variables):** Cantidad de variables utilizadas en el modelo.
- **Numero de observaciones (Number of Observations):** Datos disponibles.

6.1 EJEMPLO DE SERIES DE TIEMPO

Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de un pronóstico empleando series de tiempo.

ENUNCIADO

Ejemplo 6-1:

Información suministrado por el Departamento de Estadísticas de la ciudad, el número de carros que transitaron en los últimos 7 años fueron:

Año	Cantidad
1998	1'200.000
1999	1'500.000
2000	1'850.000
2001	1'915.000
2002	2'400.000
2003	2'750.000
2004	2'920.000

Pronosticar la cantidad de vehículos para los años 2005 y 2006.

6.2 INTRODUCIENDO LOS DATOS

Procederemos a llenar los campos de la ventana, en donde la unidad de tiempo esta dado en años y el número de datos disponibles son 7.

Problem Type <input checked="" type="radio"/> Time Series Forecasting <input type="radio"/> Linear Regression	Problem Title Ejemplo 1
	Time Unit Años
	Number of Time Units (Periods) 7
<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Cancel"/>
	<input type="button" value="Help"/>

Luego introducimos los datos de los vehículos en estricto orden:

Años	Historical Data
1	1200000
2	1500000
3	1850000
4	1915000
5	2400000
6	2750000
7	2920000

En el caso de que queramos eliminar o agregar nuevos datos, tenemos las opciones **Agregar una observación (Add an Observation)** y **Eliminar una observación (Delete an Observation)** en el menú **Editar (Edit)**.

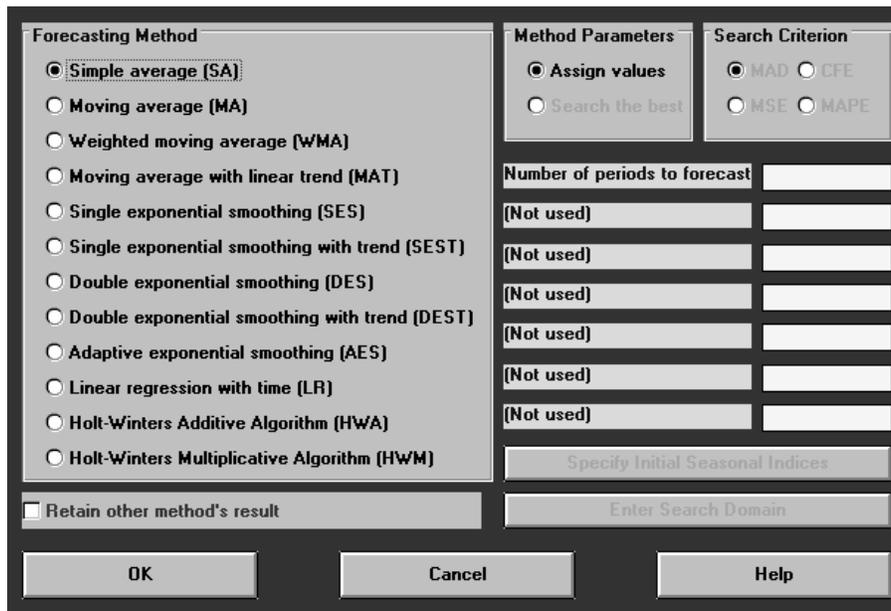
Edit	Format	Solve and Analyze	R
Cut		Ctrl+X	
Copy		Ctrl+C	
Paste		Ctrl+V	
Clear			
<hr/>			
Undo			
<hr/>			
Problem Name			
Problem Specification			
<hr/>			
Add an Observation			
Delete an Observation			

6.3 REALIZANDO EL PRONÓSTICO

En el menú *Resolver y analizar (Solve and Analyze)* elegimos la única opción disponible:



La nueva ventana permitirá distinguir entre diferentes métodos de solución para series de tiempo:

A screenshot of a dialog box titled 'Forecasting Method'. The dialog is divided into three main sections: 'Forecasting Method', 'Method Parameters', and 'Search Criterion'.
1. 'Forecasting Method': A list of radio buttons for different methods: Simple average (SA) (selected), Moving average (MA), Weighted moving average (WMA), Moving average with linear trend (MAT), Single exponential smoothing (SES), Single exponential smoothing with trend (SEST), Double exponential smoothing (DES), Double exponential smoothing with trend (DEST), Adaptive exponential smoothing (AES), Linear regression with time (LR), Holt-Winters Additive Algorithm (HWA), and Holt-Winters Multiplicative Algorithm (HWM). There is also a checkbox for 'Retain other method's result'.
2. 'Method Parameters': A radio button for 'Assign values' (selected) and a radio button for 'Search the best'. Below this are several input fields, each with '(Not used)' written in it.
3. 'Search Criterion': Radio buttons for 'MAD' (selected), 'CFE', 'MSE', and 'MAPE'.
At the bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'. There are also two buttons labeled 'Specify Initial Seasonal Indices' and 'Enter Search Domain'.

- **Promedio simple (Simple Average)**
- **Promedio móvil (Moving Average)**
- **Promedio móvil ponderado (Weighted Moving Average)**
- **Promedio móvil con tendencia lineal (Moving Average with Linear Trend)**
- **Suavizado exponencial simple (Single Exponential Smoothing)**
- **Suavizado exponencial simple con tendencia lineal (Single Exponential Smoothing with Linear Trend)**
- **Suavizado exponencial doble (Double Exponential Smoothing)**
- **Suavizado exponencial doble con tendencia lineal (Double Exponential Smoothing with Linear Trend)**
- **Suavizado exponencial adaptado (Adaptive Exponential Smoothing)**
- **Regresión lineal con tiempos (Linear Regression with Time)**
- **Algoritmo suma Holt-Winters (Holt-Winters Additive Algorithm)**
- **Algoritmo multiplicativo Holt-Winters (Holt-Winters Multiplicative Algorithm).**

Seleccionaremos la opción **Suavizado exponencial simple (Single Exponential Smoothing)** e indicaremos información adicional para resolver el problema con este método:

Number of periods to forecast	2
Smoothing constant alpha	1
Initial value F(0) if known	
(Not used)	

La primera opción (permanente en todos los métodos) corresponde al número de periodos a pronosticar (para nuestro ejemplo problema son dos años). Recordemos que α (alpha) es una constante entre 0 y 1.

Existe también la opción de mantener el resultado de un método para poder compararlo con otros distintos.

Retain other method's result

Al pulsar **OK** tenemos:

11-26-2005 Años	Actual Data	Forecast by SES	Forecast Error	CFE	MAD	MSE	MAPE (%)	Tracking Signal	R-square
1	1200000								
2	1500000	1200000	300000	300000	300000	9E+10	20	1	
3	1850000	1500000	350000	650000	325000	1,0625E+11	19,45946	2	
4	1915000	1850000	65000	715000	238333,3	7,224167E+10	14,10439	3	
5	2400000	1915000	485000	1200000	300000	1,129875E+11	15,63038	4	
6	2750000	2400000	350000	1550000	310000	1,1489E+11	15,04976	5	
7	2920000	2750000	170000	1720000	286666,7	1,005583E+11	13,51178	6	
8		2920000							
9		2920000							
CFE		1720000							
MAD		286666,7							
MSE		1,005583E+11							
MAPE		13,51178							
Trk.Signal		6							
R-square									
		Alpha=1							
		F(0)=1,20E6							

6.4 ANALIZANDO LOS RESULTADOS

El pronóstico para los dos años se puede observar en la columna Pronóstico por **SES (Forecast for SES)** en las filas correspondiente a los valores 8 y 9.

8		2920000	
9		2920000	

También contamos con los siguientes indicadores:

CFE		1720000	
MAD		286666,7	
MSE		1,005583E+11	
MAPE		13,51178	
Trk. Signal		6	
R-square			

- **Error del pronóstico acumulado (Cumulative Forecast Error - CFE)**
- **Desviación media absoluta (Mean Absolute Deviation - MAD)**
- **Error medio cuadrático (Mean Square Error - MSE)**
- **Error medio porcentual absoluto (Mean Absolute Percent Error – MAPE)**
- **Señal de senda (Tracking Signal):** Equivale a la división entre CFE y MAD.
- **R al cuadrado (R-Square):** Coeficiente de determinación.

6.5 EJEMPLO DE REGRESIÓN LINEAL

Ejemplo 6-2:

Predecir el valor de Y para un X de 40 si se tienen los siguientes datos:

X	Y
10	1000
15	1220
20	1310
25	1670
30	1845
35	2050

En la ventana **Especificaciones del problema (Problem Specification)**, seleccionamos **Regresión lineal (Linear Regression)** y digitamos la siguiente información:

Problem Type

Time Series Forecasting

Linear Regression

Problem Title

Ejemplo 2

Number of Factors (Variables)

2

Number of Observations

6

OK Cancel Help

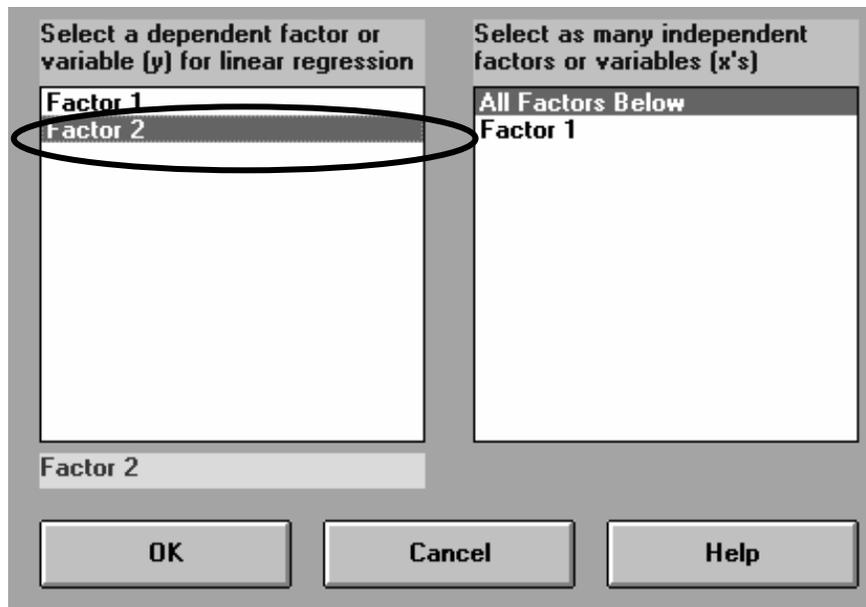
Ingresamos los datos del problema como se muestra a continuación (factor 1 equivale a X):

Observation	Factor 1	Factor 2
1	10	1000
2	15	1220
3	20	1310
4	25	1670
5	30	1845
6	35	2050

En el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** elegimos la opción disponible:



En la siguiente ventana se especifica cual es la variable dependiente, para lo cual, se deberá marcar el factor 2 (que para nuestro caso es Y) y luego pulsar el botón **OK**.



6.6 ANALIZANDO LOS RESULTADOS DE UNA REGRESIÓN

Los resultados de la regresión se muestran de la siguiente forma:

11-26-2005 23:22:35	Variable Name	Mean	Standard Deviation	Regression Coefficient	Standard Error	t value	p-value
Dependent	Factor 2	1515,833	403,3412				
Y-intercept	Constant			553,4762	65,74493	8,418538	1,089931E-03
1	Factor 1	22,5	9,354143	42,77143	2,731873	15,65645	9,715557E-05
	Se =	57,14122	R-square =	0,9839438	R-adjusted =	0,9799297	

Las medias de las variables aparecen en la columna llamada **Mean**

$$\bar{X} = 22,5$$

$$\bar{Y} = 1515,833$$

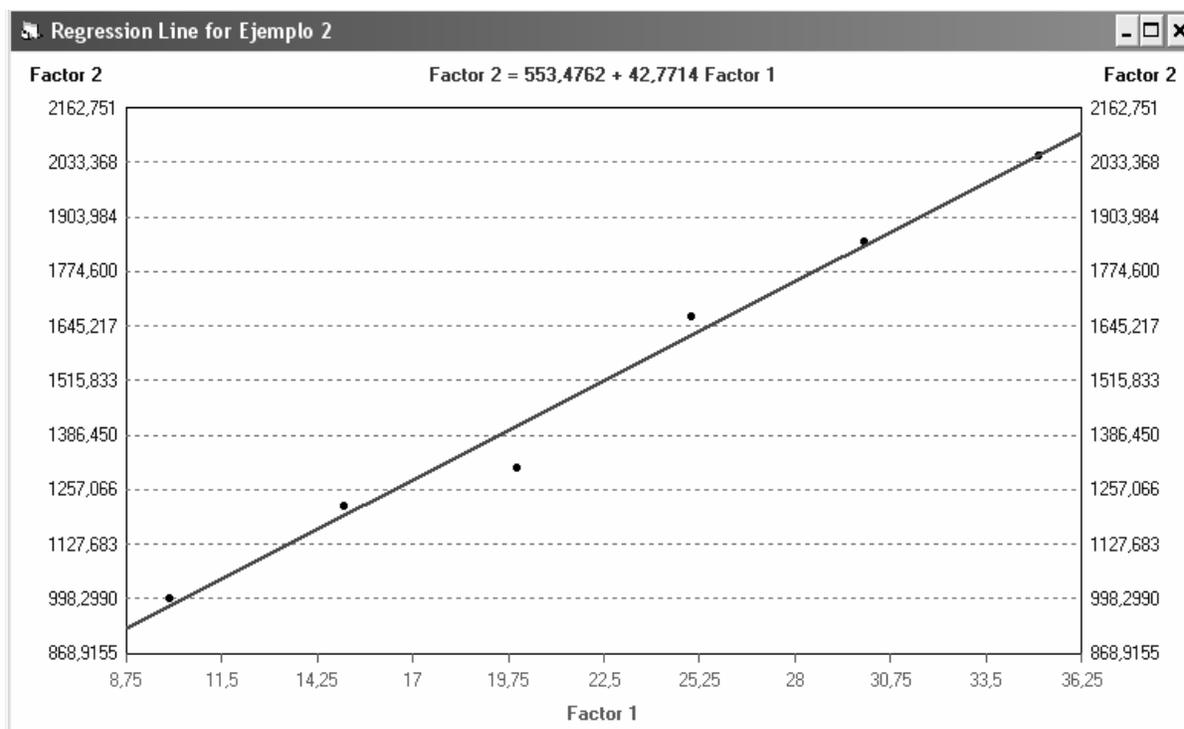
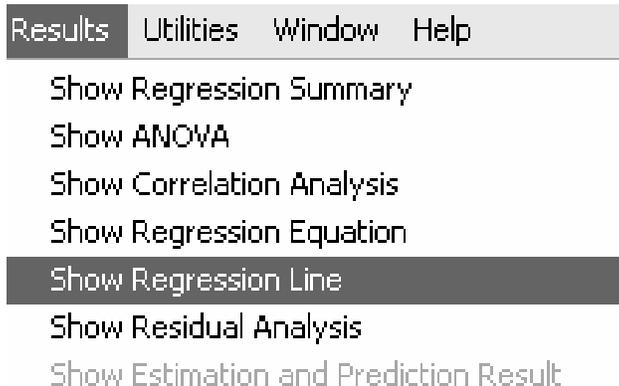
Las desviaciones correspondientes están en la columna **Standard Deviation** (9,35 para X y 403,34 para Y). Los valores de a y b de la ecuación de la línea recta están en la columna **Regression Coefficient**:

$$Y = 553,4762 + 42,7714X$$

La correlación al cuadrado es de 0,9839438.

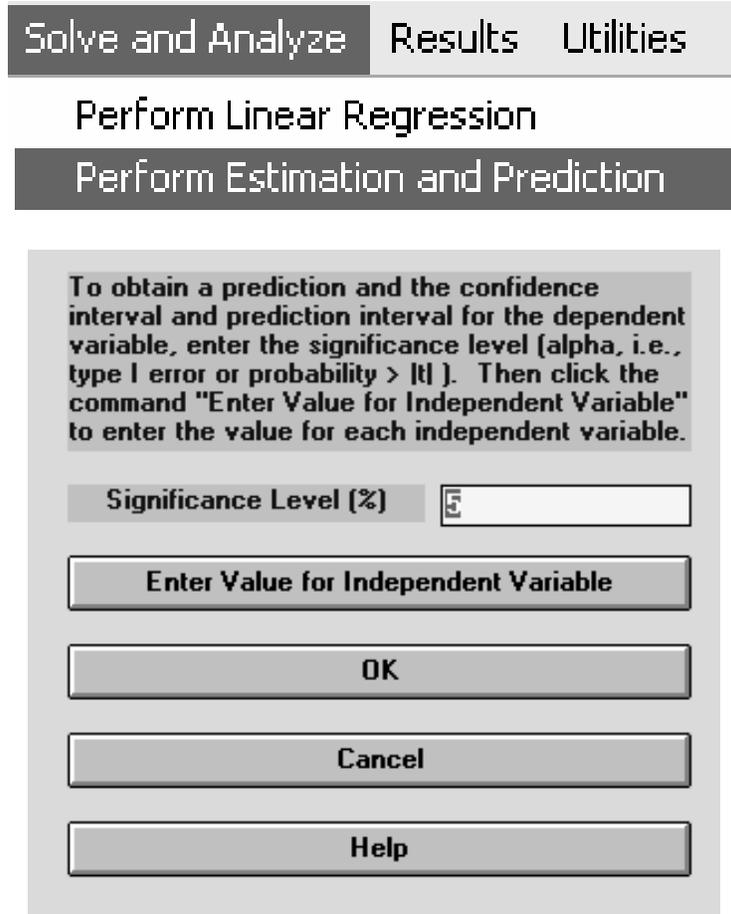
6.7 LA ECUACIÓN DE LA RECTA EN MODO GRÁFICO

Para observar el mapa de dispersión y la línea de tendencia simplemente accederemos al menú **Resultados (Results)** y seleccionamos **Mostrar regresión lineal (Show Regression Line)**.



6.8 ESTIMANDO Y

Para estimar el valor de Y para un X de 40 deberemos cerrar las ventanas de resultado y en el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** pulsamos sobre la última opción:



Pulsamos sobre el botón **Entrar valor de la variable independiente (Enter Value for Independent Variable)** e ingresamos 40:

40

Variable	Value
Factor 1	40

OK Cancel Help

Pulsamos el botón **OK** en ambas ventanas.

11-26-2005	Variable/Item	Prediction and Values
1	Prediction for Factor 2	2264,333
2	Standard Deviation of Prediction	53,19558
3	Prediction Interval	[2047,71, 2480,956]
4	Confidence Interval of Prediction Mean	[2116,729, 2411,937]
5	Significance Level (alpha)	5%
6	Degree of Freedom	4
7	t Critical Value	2,774736
8	Factor 1	40

En la primera fila se observa el valor de la predicción para Y (2264,333). Aplicando un **nivel de significancia** (dado por el usuario) podremos ver el **intervalo de predicción (Prediction Interval)**.

Los demás valores corresponden:

- **Intervalos de confianza para la media (Confidence Interval of Prediction Mean)**
- **nivel de significancia (Significance Level – alpha)**
- **Grados de Libertad (Degree of Freedom)**
- **Valor crítico de t (t Critical Value).**

7. TEORÍA Y SISTEMAS DE INVENTARIOS

La opción *Nuevo Problema (New Problem)* genera una plantilla en la cual se introducirán las características de nuestro problema:

Problem Type

Deterministic Demand Economic Order Quantity (EOQ) Problem
 Deterministic Demand Quantity Discount Analysis Problem
 Single-period Stochastic Demand (Newsboy) Problem
 Multiple-Period Dynamic Demand Lot-Sizing Problem
 Continuous Review Fixed-Order-Quantity (s, Q) System
 Continuous Review Order-Up-To (s, S) System
 Periodic Review Fixed-Order-Interval (R, S) System
 Periodic Review Optional Replenishment (R, s, S) System

Problem Title

Time Unit

A continuación se describirán los diferentes tipos de problemas de inventario disponibles en la ventana **Especificaciones del problema de inventario (Inventory Problem Specification)**:

- **Problema de cantidad económica de la orden para demanda determinística (Deterministic Demand Economic Order Quantity Problem)**
- **Análisis del problema de cantidad discontinua para demanda determinística (Deterministic Demand Quantity Discount Analysis Problem)**
- **Problemas con demanda estocástica para un solo periodo (Single-Period Stochastic Demand Problem)**
- **Problemas con demanda dinámica con existencias de reserva (Multiple-Period Dynamic Demand Lot-Sizing Problem)**
- **Sistema o modelo de cantidad fija de orden continuo (Continuous Review Fixed-Order-Quantity System)**
- **Sistema o modelo revisión continua (Continuous Review Order-Up-To System)**
- **Sistema o modelo de intervalo fijo de revisión periódica (Periodic Review Fixed-Order-Interval System)**
- **Sistema o modelo de revisión periódica con reaprovisionamiento opcional (Periodic Review Optional Replenishment System)**

A continuación explicaremos algunos de ellos

7.1 EJEMPLO DE UN PROBLEMA DE CANTIDAD ECONÓMICA DE LA ORDEN PARA DEMANDA DETERMINÍSTICA

Mediante un ejemplo demostraremos cómo se introducen los datos para la creación de un modelo sencillo de inventarios.

Ejemplo 7-1:

La materia prima principal para la creación de un producto cuesta \$20 por unidad. Cada unidad del producto final requiere una unidad de esa materia prima. Si la demanda para el próximo año es de 1000 unidades ¿Qué cantidad se debe pedir?

Cada orden por más unidades cuesta \$5 y el costo de almacenaje por unidad por año es de \$4.

En la ventana **Especificaciones del problema de inventario (Inventory Problem Specification)** procedemos a digitar los datos básicos para la solución del problema:

Problem Type

- Deterministic Demand Economic Order Quantity (EOQ) Problem
- Deterministic Demand Quantity Discount Analysis Problem
- Single-period Stochastic Demand (Newsboy) Problem
- Multiple-Period Dynamic Demand Lot-Sizing Problem
- Continuous Review Fixed-Order-Quantity (s, Q) System
- Continuous Review Order-Up-To (s, S) System
- Periodic Review Fixed-Order-Interval (R, S) System
- Periodic Review Optional Replenishment (R, s, S) System

Problem Title Ejemplo 1

Time Unit Año

OK Cancel Help

La ventana siguiente muestra la información completa para la solución del problema:

DATA ITEM	ENTRY
Demand per Año	1000
Order or setup cost per order	5
Unit holding cost per Año	4
Unit shortage cost per Año	M
Unit shortage cost independent of time	
Replenishment or production rate per Año	M
Lead time for a new order in Año	
Unit acquisition cost without discount	20
Number of discount breaks (quantities)	
Order quantity if you known	

- ***Demanda por año (Demand per Año)***: La demanda para el próximo año es de 1000 unidades.
- ***Costo de la orden (Order or Setup Cost per Order)***: Costo de cada nueva orden (\$5).
- ***Costo de almacenar una unidad por año (Unit Holding Cost per Año)***: El costo de mantener una unidad es de \$4.
- ***Costo por la falta de una unidad por año (Unit Shortage Cost per Año)***: El valor predeterminado es M, equivalente a una costo muy grande.
- ***Costo por la falta de una unidad independiente del tiempo (Unit Shortage Cost Independent of Time)***: Valor no suministrado en el ejemplo, por tanto lo dejamos en blanco.
- ***Rata de reaprovisionamiento o producción por año (Replenishment or Production Rate per Año)***: El valor predeterminado es M, equivalente a una tasa muy grande.
- ***Tiempo de salida para una nueva orden por año (Lead Time for a New Order in Año)***: Valor no suministrado en el ejemplo, por tanto lo dejamos en blanco.
- ***Costo de adquisición de una unidad sin descuento (Unit acquisition Cost Without Discount)***: Costo de compra de una unidad (\$20).
- ***Número de puntos de descuento (Number of Discount Breaks)***: Valor no suministrado en el ejemplo, por tanto lo dejamos en blanco.
- ***Cantidad de orden si es conocida (Order Quantity If You Known)***: Cantidad de unidades por pedido, si es conocido.

Una vez introducida la información procedemos a su solución mediante la opción ***Resolver el problema (Solve the Problem)***:

Solve the Problem

Perform Parametric Analysis

La solución óptima del problema se muestra a continuación:

11-27-2005	Input Data	Value	Economic Order Analysis	Value
1	Demand per Año	1000	Order quantity	50
2	Order (setup) cost	\$5,0000	Maximum inventory	50
3	Unit holding cost per Año	\$4,0000	Maximum backorder	0
4	Unit shortage cost		Order interval in Año	0,05
5	per Año	M	Reorder point	0
6	Unit shortage cost			
7	independent of time	0	Total setup or ordering cost	\$100,0000
8	Replenishment/production		Total holding cost	\$100,0000
9	rate per Año	M	Total shortage cost	0
10	Lead time in Año	0	Subtotal of above	\$200,0000
11	Unit acquisition cost	\$20,0000		
12			Total material cost	\$20000,0000
13				
14			Grand total cost	\$20200,0000

La primera parte muestra un resumen de la información disponible por el ejemplo (columna *Input Data*).

Input Data	Value
Demand per Año	1000
Order (setup) cost	\$5,0000
Unit holding cost per Año	\$4,0000
Unit shortage cost	
per Año	M
Unit shortage cost	
independent of time	0
Replenishment/production	
rate per Año	M
Lead time in Año	0
Unit acquisition cost	\$20,0000

La columna *Economic Order Analysis* presenta el análisis resultante del problema.

Economic Order Analysis	Value
Order quantity	50
Maximum inventory	50
Maximum backorder	0
Order interval in Año	0,05
Reorder point	0
Total setup or ordering cost	\$100,0000
Total holding cost	\$100,0000
Total shortage cost	0
Subtotal of above	\$200,0000
Total material cost	\$20000,0000
Grand total cost	\$20200,0000

El número de unidades a pedir por Orden es de 50 unidades, generando un máximo de 50 unidades de inventario:

Economic Order Analysis	Value
Order quantity	50
Maximum inventory	50

La fila **Order Interval in Año** nos muestra cada cuanto realizaremos el pedido de las 50 unidades (en este caso 0,05 equivale a una proporción del año). El costo total de ordenar unidades y el costo total de mantener unidades en inventario son de \$100 y \$100 respectivamente.

Total setup or ordering cost	\$100,0000
Total holding cost	\$100,0000

El costo total de compra equivale a \$20.000 (Resulta de la multiplicación de los \$20 que vale cada unidad por las 1.000 unidades que se van a pedir el próximo año). El costo total de este sistema por tanto será de \$20.200.

Total material cost	\$20000,0000
Grand total cost	\$20200,0000

7.2 GRÁFICOS RESULTANTES

Podremos también realizar un análisis gráfico de los costos de este sistema activando la opción **Análisis gráfico de los costos (Graphic Cost Analysis)** en el menú **Resultados (Results)**:

Results Utilities Window Help

Solution Summary

Graphic Cost Analysis

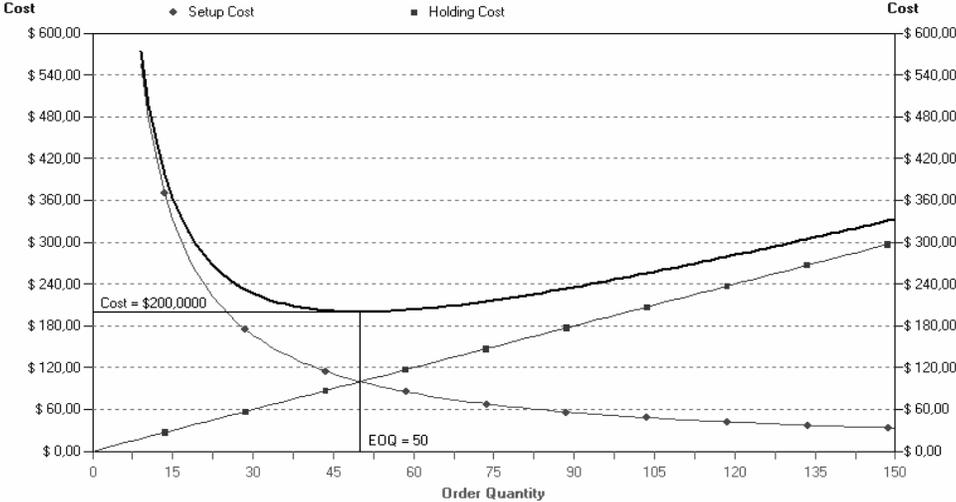
Graphic Inventory Profile

Perform Parametric Analysis

Show Parametric Analysis - Table

Show Parametric Analysis - Graph

Aparecerá una ventana donde indicaremos unos simples parámetros de visualización del gráfico: Máximo costo, mínimo costo (ambos para el eje Y), mínima cantidad de reorden y máxima cantidad de reorden. Podremos pulsar **OK** sin modificar estos parámetros.



Para mostrar un gráfico que señale la intensidad de los pedidos elegiremos la opción **Gráfico de la utilidad del inventario (Graphic Inventory Profile)**:

Results Utilities Window Help

Solution Summary

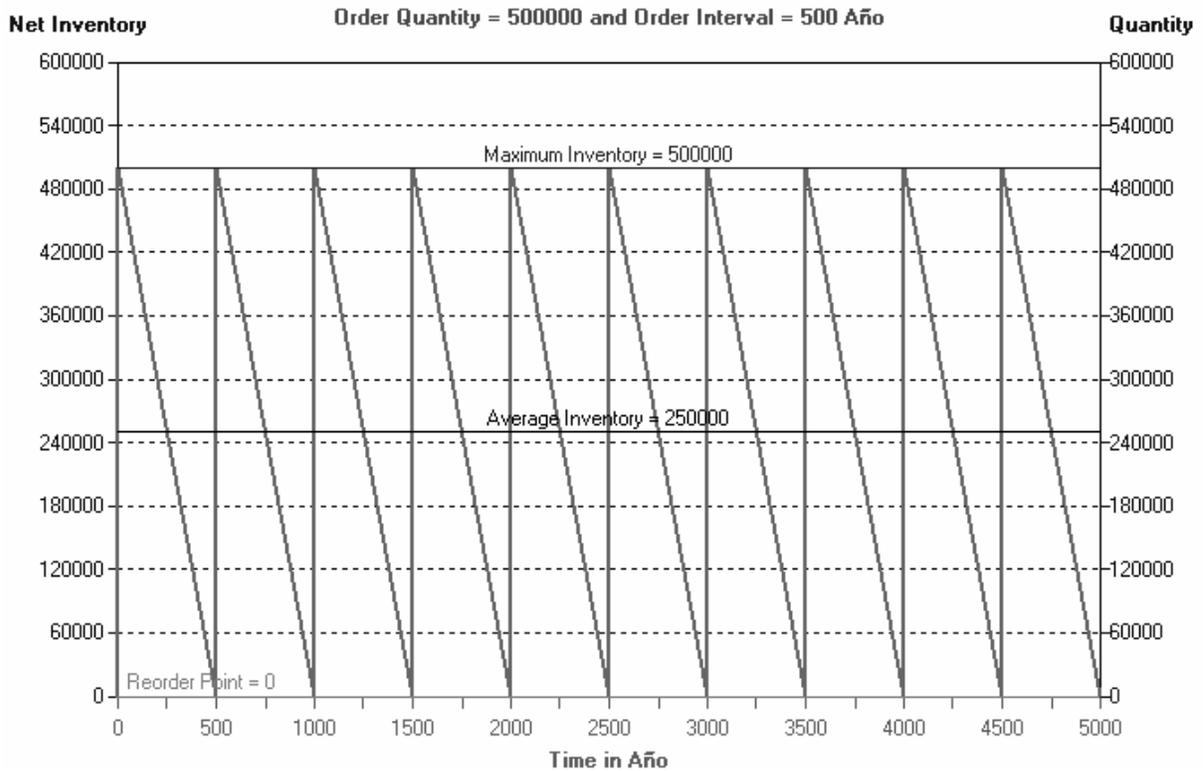
Graphic Cost Analysis

Graphic Inventory Profile

Perform Parametric Analysis

Show Parametric Analysis - Table

Show Parametric Analysis - Graph



7.3 EJEMPLO DE UN PROBLEMA CON DEMANDA ESTOCÁSTICA PARA UN SOLO PERIODO

Ejemplo 7-2:

Un supermercado compra uno de sus artículos a un precio de \$50 y lo vende a \$75. La demanda para el próximo mes tiene un comportamiento normal con media de 1.000 unidades y desviación de 35 unidades. El costo de hacer una nueva orden es de \$25. Una unidad faltante en inventario tiene un costo para la

empresa de \$70.

La empresa cuenta con un inventario inicial de 100 unidades. Se desea prestar un nivel de servicio del 98%, determinar la utilidad del modelo.

En la ventana **Especificaciones del problema de inventario (Inventory Problem Specification)** procedemos a ingresar los datos básicos del problema, seleccionando el modelo de inventario adecuado:

Problem Type

- Deterministic Demand Economic Order Quantity (EOQ) Problem
- Deterministic Demand Quantity Discount Analysis Problem
- Single-period Stochastic Demand (Newsboy) Problem
- Multiple-Period Dynamic Demand Lot-Sizing Problem
- Continuous Review Fixed-Order-Quantity (s, Q) System
- Continuous Review Order-Up-To (s, S) System
- Periodic Review Fixed-Order-Interval (R, S) System
- Periodic Review Optional Replenishment (R, s, S) System

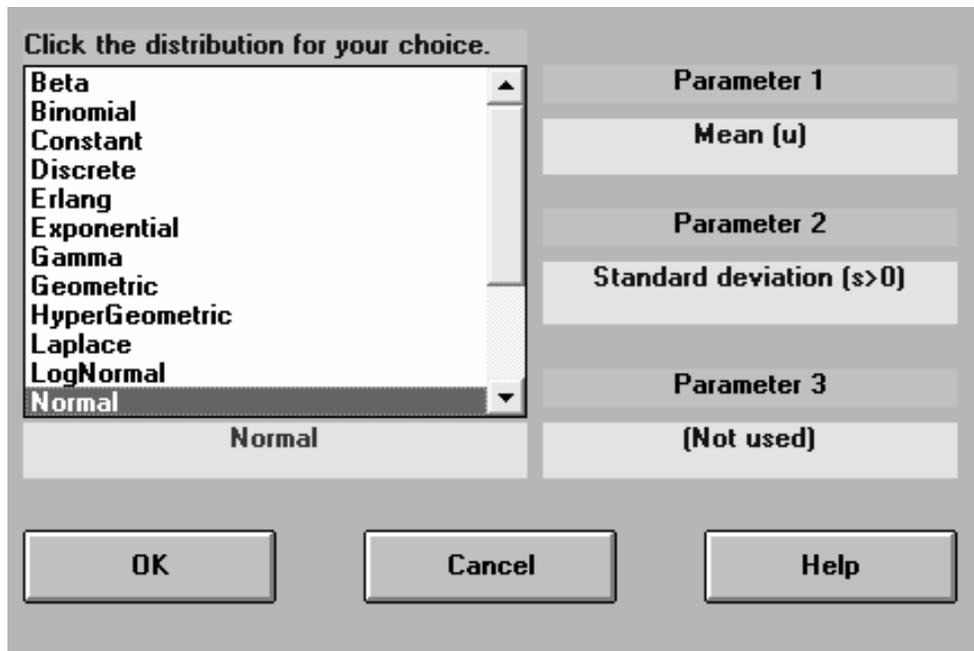
Problem Title

Time Unit

El problema nos pide trabajar con una demanda con comportamiento normal:

DATA ITEM	ENTRY
Demand distribution (in Año)	Normal

En el caso que se desee cambiar la distribución simplemente haremos doble clic con el Mouse sobre esta fila hasta aparecer la siguiente ventana:



Ingresamos el resto de la información:

DATA ITEM	ENTRY
Demand distribution (in Mes)	Normal
Mean (u)	1000
Standard deviation (s>0)	35
(Not used)	
Order or setup cost	25
Unit acquisition cost	50
Unit selling price	75
Unit shortage (opportunity) cost	70
Unit salvage value	
Initial inventory	100
Order quantity if you know	
Desired service level (%) if you know	98

Los nuevos campos son:

- **Media (Mean):** Media o promedio de la demanda en un periodo de tiempo.
- **Desviación estándar (Standard Deviation):** Desviación estándar de la demanda.
- **Precio de venta unitario (Unit Selling Price):** Precio de venta de cada unidad.
- **Costo de la unidad faltante (Unit Shortage Cost):** Costo e no tener una unidad disponible. Puede interpretarse como un costo de oportunidad.

- **Inventario inicial (Initial Inventory):** Cantidad de unidades disponibles al iniciar el periodo.
- **Nivel de servicio deseado en el caso de que sea conocido (Desired Service Level (%) If You Know).**

Al resolver el problema tenemos la utilidad esperada del producto incluyendo los costos de inventario y el nivel deseado de servicio de ese producto a los clientes.

Los resultados muestran varios aspectos importantes para el análisis:

- En el caso de un pedido, este deberá hacerse por cantidad aproximada de 872 unidades.
- El nivel de inventario alcanzará un punto máximo de 972 unidades (le sumamos 100 unidades disponibles a las 872 que se piden).
- El nivel de servicio es del 98%.
- La utilidad alcanzada es de \$21.349,63.

Además, **WINQSB** permite realizar un diagnóstico óptimo proponiendo un nivel de servicio diferente que alcanza una mayor utilidad en el sistema. Para este caso tenemos:

- En el caso de un pedido, este deberá hacerse por cantidad aproximada de 814 unidades.
- El nivel de inventario alcanzará un punto máximo de 914 unidades (le sumamos 100 unidades disponibles a las 814 que se piden).
- El nivel de servicio es del 65,5182%.
- La utilidad alcanzada es de \$23.1059,54.

8. ANÁLISIS DE DECISIONES

La opción *Nuevo Problema* (*New Problem*) muestra una ventana con los siguientes campos:

The image shows a dialog box titled "Problem Type". It contains four radio button options: "Bayesian Analysis" (which is selected), "Payoff Table Analysis", "Two-player, Zero-sum Game", and "Decision Tree Analysis". Below these options are three input fields: "Problem Title", "Number of the States of Nature:", and "Number of Survey Outcomes (Indicators):". At the bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

A continuación se describirán los diferentes tipos de problemas sobre análisis de decisiones disponibles en **WINQSB** a través de la ventana *Especificaciones del problema* (*Problem Specification*):

- *Análisis bayesiano* (*Bayesian Analysis*)
- *Análisis de tablas de pago* (*Payoff Table Analysis*)
- *Juegos de suma cero para dos jugadores* (*Two-Player, Zeros-Sum Game*)
- *Análisis de árboles de decisión* (*Decision Tree Analysis*)

A continuación explicaremos con un ejemplo algunas de estas opciones:

8.1 ANÁLISIS BAYESIANO

Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de una aplicación de análisis bayesiano.

Ejemplo 8-1:

Se tienen cinco urnas con 10 canicas cada una, de colores azul, negra y rojo, según se muestra en la tabla:

Canicas	Urna 1	Urna 2	Urna 3	Urna 4	Urna 5
Azul	1	6	8	1	0
Negra	6	2	1	2	6
Rojo	3	2	1	7	4

Si se elige una urna en forma aleatoria y se extrae una canica y esta resulta ser roja, cuál es la probabilidad de que provenga de la urna 3.

En la ventana **Especificaciones del problema (Problem Specification)** procedemos a ingresar los datos básicos para la solución del problema:

Problem Type

Bayesian Analysis

Payoff Table Analysis

Two-player, Zero-sum Game

Decision Tree Analysis

Problem Title: Ejemplo 1

Number of the States of Nature: 5

Number of Survey Outcomes (Indicators): 3

OK Cancel Help

En el apartado **Número de estados naturales (Number of the States of Nature)** colocaremos la cantidad de urnas existentes, mientras que en el campo **Número de resultados (Number of Survey Outcomes)** escribiremos los tipos de canicas (tres en total: azul, negra y roja).

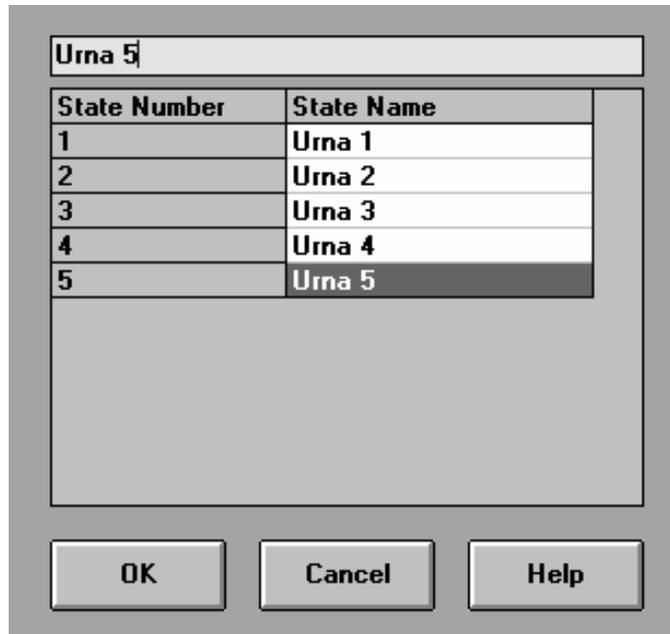
Al pulsar **OK** aparecerá una tabla en la cual podremos ingresar las probabilidades individuales, tanto para las urnas como las canicas que tienen dentro.

Outcome \ State	State1	State2	State3	State4	State5
Prior Probability					
Indicator1					
Indicator2					
Indicator3					

Para mejorar el aspecto de la tabla y evitar posibles equivocaciones en la interpretación de los datos, cambiaremos los campos de la tabla por los trabajados en el ejercicio. Empezaremos modificando los **States** por los nombre de las urnas correspondientes, para lo cual, en el menú **Editar (Edit)** elegiremos la opción **Nombres de los estados naturales (State of Nature Name)**.

Edit	Format	Solve and Analyze	Results	Ut
Cut			Ctrl+X	
Copy			Ctrl+C	
Paste			Ctrl+V	
Clear				
<hr/>				
Undo				
<hr/>				
Problem Name				
State of Nature Name				
Survey Outcome/Indicator Name				
<hr/>				
Add State of Nature				
Delete State of Nature				
Add Survey Indicator				
Delete Survey Indicator				

La ventana con los nombres modificados debe quedar así:



Para cambiar los **Indicators** por los correspondientes colores de las canicas haremos el mismo procedimiento solo que esta vez, seleccionaremos la opción **Nombre del indicador (Survey Outcomes/Indicator Name)**



Al pulsar **OK** regresaremos a la ventana inicial, la cual debería quedar como la siguiente:

Outcome \ State	Urna 1	Urna 2	Urna 3	Urna 4	Urna 5
Prior Probability					
Azul					
Negra					
Roja					

Para poder resolver el problema deberemos pasar primero los datos del ejercicio a las probabilidades:

- De elegir una urna de forma aleatoria (probabilidad anterior)
- De seleccionar una canica dentro de la urna

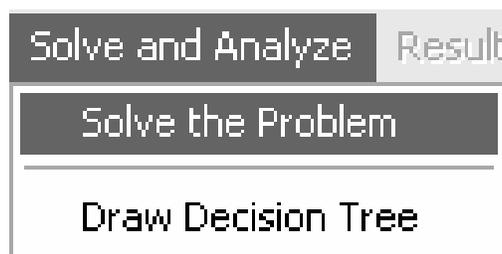
La tabla resumen quedaría:

Canicas	Urna 1	Urna 2	Urna 3	Urna 4	Urna 5
Probabilidad Anterior	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Azul	0,1	0,6	0,8	0,1	0,0
Negra	0,6	0,2	0,1	0,2	0,6
Roja	0,3	0,2	0,1	0,7	0,4
Total probabilidad canicas	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Ingresems ahora los datos a la tabla del **WINQSB**:

Outcome \ State	Urna 1	Urna 2	Urna 3	Urna 4	Urna 5
Prior Probability	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Azul	0.1	0.6	0.8	0.1	0.0
Negra	0.6	0.2	0.1	0.2	0.6
Roja	0.3	0.2	0.1	0.7	0.4

Para resolver el problema simplemente pulsamos en **Resolver el problema (Solve the Problem)** en el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)**.



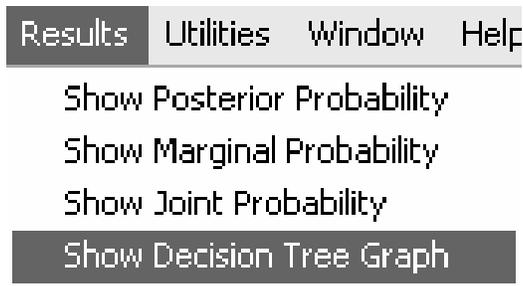
La tabla generada muestra los resultados de las probabilidades condicionales.

Indicator\State	Urna 1	Urna 2	Urna 3	Urna 4	Urna 5
Azul	0,0625	0,375	0,5	0,0625	0
Negra	0,3529	0,1176	0,0588	0,1176	0,3529
Roja	0,1765	0,1176	0,0588	0,4118	0,2353

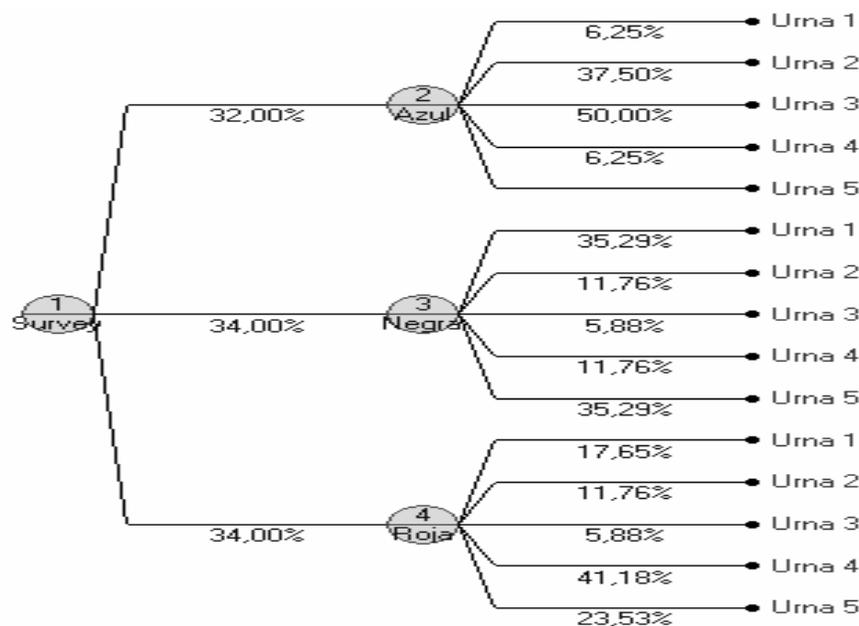
En este caso la probabilidad de que al haber seleccionado la urna 3 se saque una balota roja es de 5,88%.

Indicator\State	Urna 1	Urna 2	Urna 3	Urna 4	Urna 5
Azul	0,0625	0,375	0,5	0,0625	0
Negra	0,3529	0,1176	0,0588	0,1176	0,3529
Roja	0,1765	0,1176	0,0588	0,4118	0,2353

Para activar el modo gráfico pulsamos sobre **Mostrar gráfico del árbol de decisión (Show Decision Tree Graph)**.



Gráficamente tenemos:



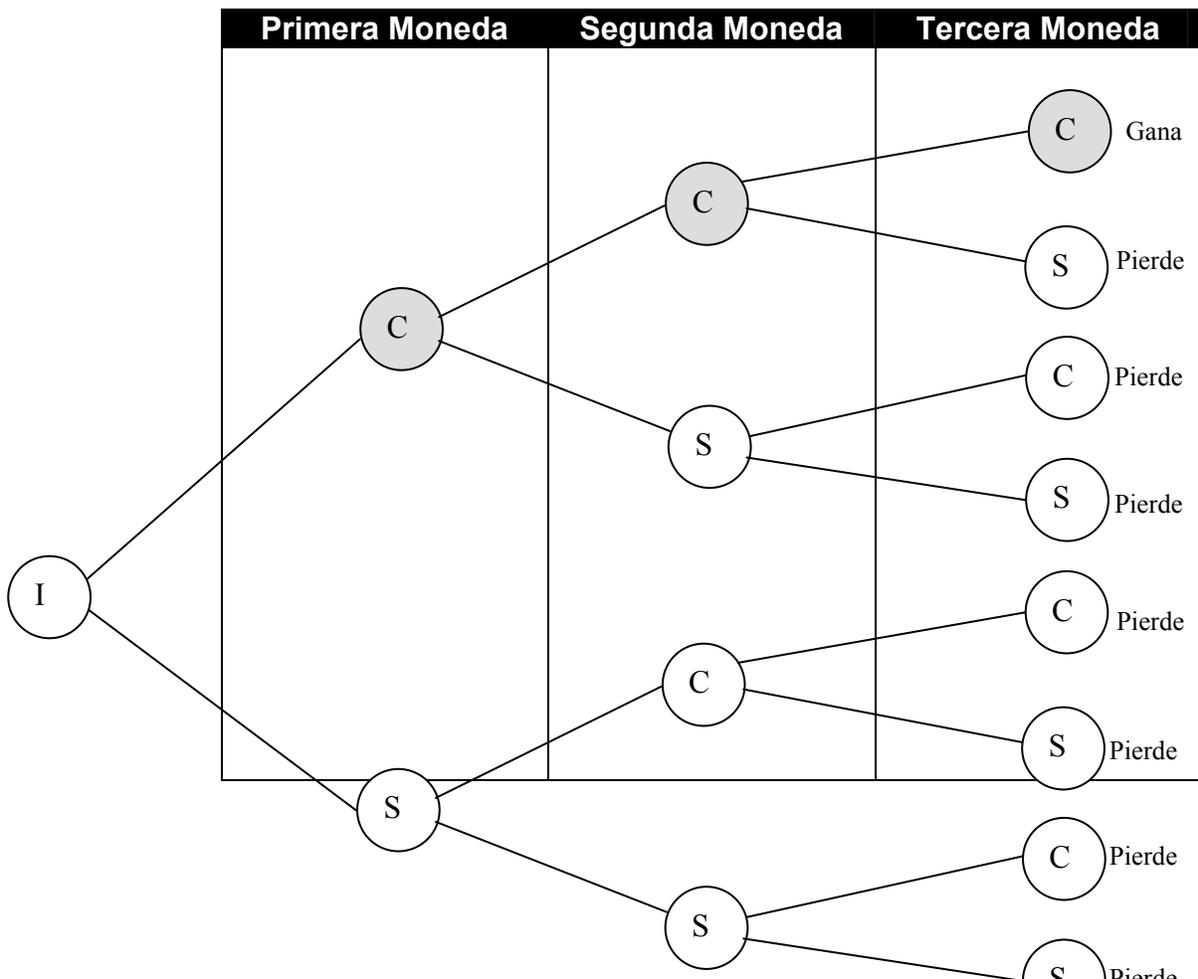
8.2 ÁRBOL DE DECISIÓN

Con el siguiente ejemplo expondremos un caso para la construcción y análisis de árboles de decisiones.

Ejemplo 8-2:

Se lanzan tres monedas al tiempo. El jugador gana si las tres monedas caen cara, pierde en caso de que se de un suceso contrario. El jugador invierte por jugada \$100 y si gana recibe \$5.000. ¿Es conveniente participar en el juego?

Para solucionar el problema debemos tener en cuenta un diagrama de árbol que represente los sucesos:



--	--	--

WINQSB maneja dos tipos de nodos: **Nodos de decisión (decision node)** y **Nodos de oportunidad (chance node)**, Los segundos trabajan con condiciones de incertidumbre, mientras que los primeros son dispuestos por el usuario.

En este caso, los eventos están dispuestos por nodos tipo **oportunidad** sujetos a una probabilidad del 0.50 de que ocurra cada uno de forma independiente (de que salga cara o sello).

En la ventana **Especificaciones del problema (Problem Specification)** digitamos la cantidad de nodos que componen el árbol:

Problem Type

Bayesian Analysis

Payoff Table Analysis

Two-player, Zero-sum Game

Decision Tree Analysis

Problem Title

Number of Nodes/Events (Including Terminals):

Los datos introducidos en la plantilla deberán quedar como sigue:

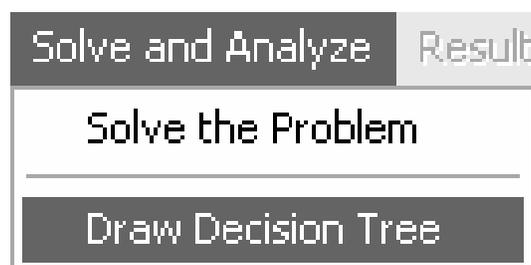
Node/Event Number	Node Name or Description	Node Type (enter D or C)	Immediate Following Node (numbers separated by ',')	Node Payoff (+ profit, - cost)	Probability (if available)
1	Inicio	C	2,3		
2	C	C	4,5		0.5
3	S	C	6,7		0.5
4	CC	C	8,9		0.5
5	CS	C	10,11		0.5
6	SC	C	12,13		0.5
7	SS	C	14,15		0.5
8	CCC	C		5000	0.5
9	CCS	C		-100	0.5
10	CSC	C		-100	0.5
11	CSS	C		-100	0.5
12	SCC	C		-100	0.5
13	SCS	C		-100	0.5
14	SSC	C		-100	0.5
15	SSS	C		-100	0.5

La primera columna indica el consecutivo de los eventos. La segunda columna corresponde al nombre del nodo (se indico con la secuencia de sucesos para facilitar su identificación, por ejemplo, el nodo **CCC** significa que los nodos anteriores equivalen a dos caras consecutivas). Para indicar el tipo de nodo solamente marcamos con la letra “C” para un nodo tipo **oportunidad**.

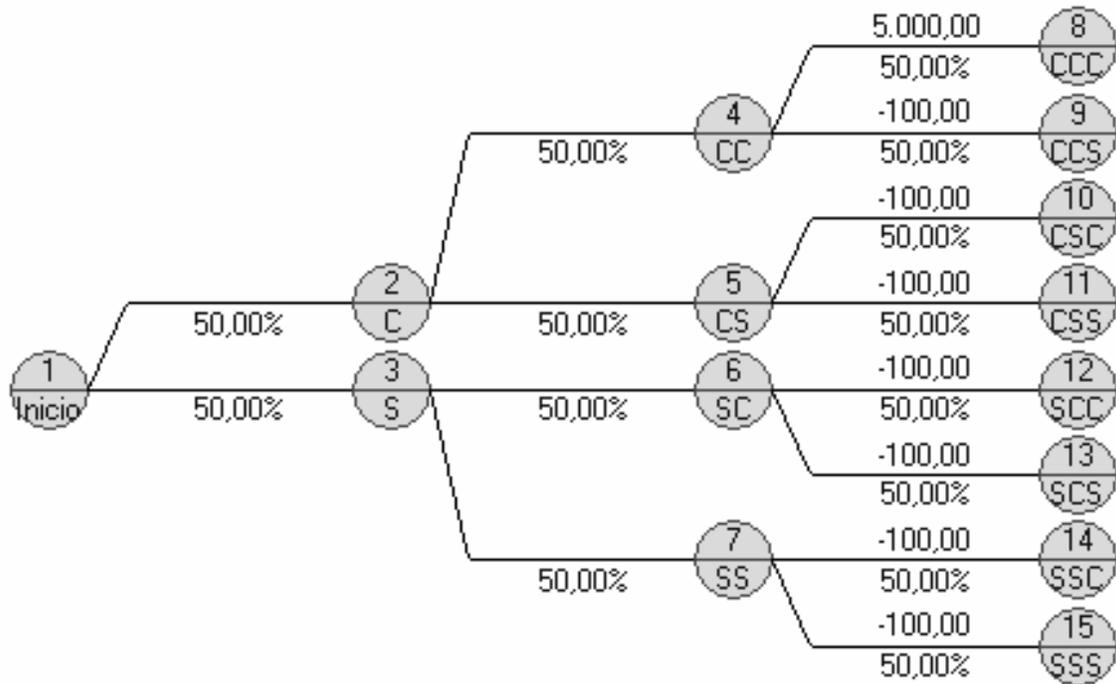
Para mostrar la secuencia en la columna **Nodo siguiente inmediato (Immediate Following Node)**. Los nodos terminales se identifican claramente por no tener sucesores.

Las ganancias y pérdidas ocurren con el resultado de la última moneda (nodos terminales). Para el nodo **CCC** (sucede cuando las tres caras caen) corresponde a un ingreso de \$5.000 (el jugador gana). Los demás nodos terminales producen una pérdida de \$100. La probabilidad de cada evento es del 0.50, indicado en la última columna (excepto para el nodo inicio).

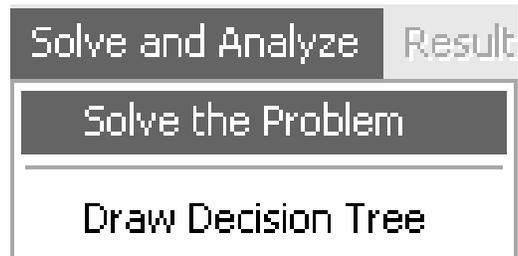
Podremos ver un modelo gráfico del árbol pulsando sobre la opción **Dibujar árbol de decisión (Draw Decision Tree)** en el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)**.



El árbol completo quedaría:



Al pulsar sobre en **Resolver el problema (Solve the Problem)** tenemos un cuadro resumen con los resultados del análisis:



12-07-2005	Node/Event	Type	Expected value	Decision
1	Inicio	Chance node	\$ 537,50	
2	C	Chance node	\$1.175	
3	S	Chance node	(\$100)	
4	CC	Chance node	\$2.450	
5	CS	Chance node	(\$100)	
6	SC	Chance node	(\$100)	
7	SS	Chance node	(\$100)	
8	CCC	Chance node	0	
9	CCS	Chance node	0	
10	CSC	Chance node	0	
11	CSS	Chance node	0	
12	SCC	Chance node	0	
13	SCS	Chance node	0	
14	SSC	Chance node	0	
15	SSS	Chance node	0	
Overall	Expected	Value =	\$ 537,50	

El ingreso esperado (*Value Expected*) se muestra al final, equivalente a un valor de \$537,50. El cálculo se realiza así:

$$E(X) = \$5.000 (0.125) - \$100 (0.125) \times 7 = 625,0 - 87,5 = 537,5$$

La respuesta al problema es que según la esperanza positiva, es conveniente participar en el juego ya que la ganancia esperada supera a la inversión en el tiempo.

8.3 JUEGOS DE SUMA CERO

La teoría de juegos se ocupa de las situaciones de competencia en las que los competidores deben adoptar decisiones contando con la disponibilidad de unas estrategias cada uno de ellos, las que por cierto son conocidas por ambos. Cuando en un juego las ganancias de un competidor son pérdidas para el otro, se dice que el juego es de suma cero, cual es el caso que nos ocupa.

Si las estrategias son tales que los intereses de los dos competidores se centran en un mismo valor de la matriz de pagos, el juego tendrá un “punto de silla” o equilibrio y esa cantidad constituye el valor del juego. Se dice entonces que los competidores usan estrategias puras, lo que significa que cada competidor tendrá

una estrategia que usará el 100% del tiempo. En cambio cuando no se da esta situación los competidores distribuyen su tiempo de juego entre varias estrategias; se habla así de estrategias mixtas.

A continuación se plantean estos dos casos y la forma de introducir los datos en el **WINQSB** y hallar la solución.

Supóngase dos competidores bajo la situación que se plantea en la matriz de pagos siguiente:

		1	2
1		-150	50
2		200	80

El competidor ubicado a la izquierda de la matriz es el maximizante y el de la parte superior es el minimizante. Introduzcamos los datos en el **WINQSB**.

Player1 \ Player2	Strategy2-1	Strategy2-2
Strategy1-1	-150	50
Strategy1-2	200	80

La solución:

12-04-2005	Player	Strategy	Dominance	Elimination Sequence
1	1	Strategy1-1	Dominated by Strategy1-2	1
2	1	Strategy1-2	Not Dominated	
3	2	Strategy2-1	Dominated by Strategy2-2	2
4	2	Strategy2-2	Not Dominated	
***	Saddle	Point	(Equilibrium)	is Achieved!!
	The Best	Pure	Strategy for Player 1:	Strategy1-2
	The Best	Pure	Strategy for Player 2:	Strategy2-2
	Stable	Payoff	for Player 1 =	80
	Player 1	is	Winning!!!	

De la tabla solución podemos observar que la estrategia 1-1 (estrategia 1 del competidor 1) es dominada por la estrategia 1-2 y la 2-1 es dominada por la 2-2, con lo que sólo queda un valor de la matriz (80). Así pues, se alcanza un punto de silla con lo que la estrategia pura para el jugador 1 es la 1-2 y para el competidor 2 es la 2-2. El valor del juego es 80, a favor del competidor 1.

Ejemplo de estrategias mixtas:

Player1 \ Player2	Strategy2-1	Strategy2-2
Strategy1-1	100	-50
Strategy1-2	50	150
Strategy1-3	-200	120

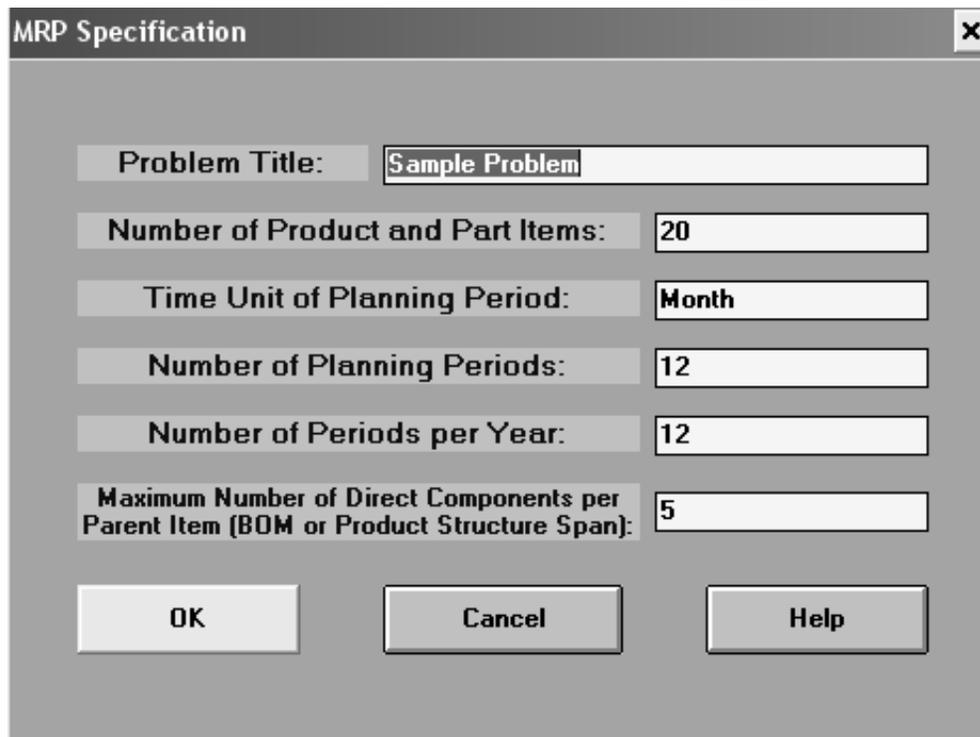
12-04-2005	Player	Strategy	Dominance	Elimination Sequence
1	1	Strategy1-1	Not Dominated	
2	1	Strategy1-2	Not Dominated	
3	1	Strategy1-3	Dominated by Strategy1-2	
4	2	Strategy2-1	Not Dominated	
5	2	Strategy2-2	Not Dominated	
	Player	Strategy	Optimal Probability	
1	1	Strategy1-1	0,40	
2	1	Strategy1-2	0,60	
3	1	Strategy1-3	0	
1	2	Strategy2-1	0,80	
2	2	Strategy2-2	0,20	
	Expected	Payoff	for Player 1 =	70

Como puede apreciarse en el tablero de la solución, al no existir punto de silla los competidores reparten su tiempo de juego así:

El competidor uno jugará su estrategia 1 el 40% del tiempo, la 2 el 40% del tiempo y no jugará su estrategia 3. El competidor dos jugará la estrategia 1 el 80% del tiempo y su estrategia 2 el 20 %.

9. PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

La opción **Nuevo Problema (New Problem)** genera una plantilla en el cual se introducirán las características de nuestro problema:



MRP Specification

Problem Title: Sample Problem

Number of Product and Part Items: 20

Time Unit of Planning Period: Month

Number of Planning Periods: 12

Number of Periods per Year: 12

Maximum Number of Direct Components per Parent Item (BOM or Product Structure Span): 5

OK Cancel Help

A continuación se describirá la ventana de **Especificaciones para el MRP (MRP Specification)**:

- **Título del problema (Problem Title)**: Nombre con el cual se identificará el problema.
- **Número de productos y piezas (Number of Product and Part Items)**: Se aclara el número de piezas que componen el producto final (incluyen los subensambles).
- **Unidad de Tiempo (Time Unit of Planning Period)**: Unidad de tiempo establecida para controlar los periodos en el MRP.
- **Número de periodos planeados (Number of Planning Periods)**: Cantidad de periodos que se desean considerar en el modelo MRP.
- **Número de periodos por años (Number of Periods per Year)**: Especificar cuantos periodos son incluidos en un año.

- **Número máximo de componentes directos (Maximun Number of Direct Components per Parent Item):** Número máximo de productos (o ítems) que salen directamente de un producto intermedio o producto final.

9.1 EJEMPLO DE PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

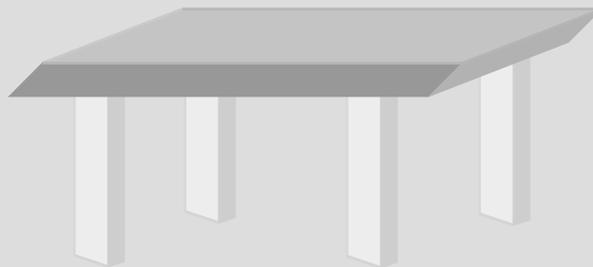
Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de un modelo **MRP**.

Ejemplo 9-1:

Para la construcción de una mesa sencilla es necesario tener los siguientes materiales:

No.	ID	Detalle	Unidad	Cantidad
1	A-01	Roble (1 mt x 0.2 mt)	Und	4
2	A-02	Roble (1,2 mt x 1,2 mt)	Und	1
3	A-03	Tintilla	Litro	1/4
4	A-04	Alcohol	Litro	1/4
5	A-05	Pintura para Acabado	Litro	1/4
6	B-01	Clavos de acero 2"	Und	16
7	B-02	Colbón	Und	1
8	B-03	Lija No. 100	Und	2

El primer paso es tomar las 4 tablas (A-01) y cortarlas hasta lograr la medida deseada para las 4 patas de la mesa. Luego se toma la tabla que hará de base de la mesa (A-02) y se corta según la medida y forma deseada. Las patas y la base se juntan agregando el Colbón para madera (B-02) y luego asegurándolas con los 16 clavos de acero (B-01).



Cuando la mesa esta armada, se procede a pulir con la lija No. 100 (B-03). Se pasa una capa de tintilla, la cual había sido mezclada con alcohol (A-03 y A-04). Al día siguiente, una vez secado se pinta con la pintura para acabado (A-04) quedando lista la mesa.

La información de compra de los productos, como la información de las cantidades disponibles son las siguientes:

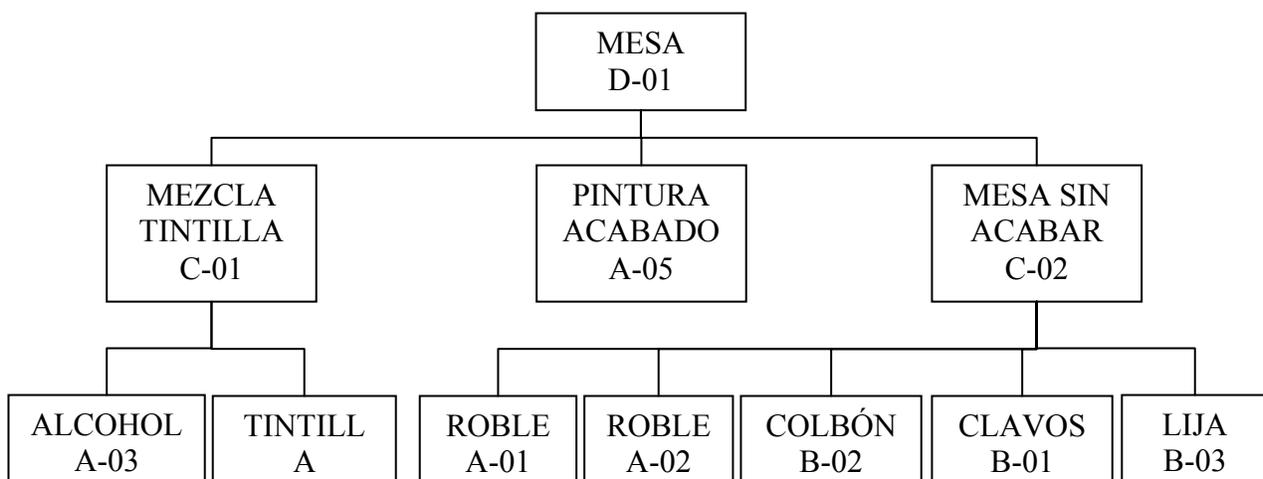
ID	Cantidad mínima vendida	Costo unitario	Costo Almacenaje Anual	Periodo de entrega	Inventario Inicial
A-01	10 Unid.	1200	350	2 días	15 Unid
A-02	10 Unid	1500	350	2 días	15 Unid
A-03	1 Litro	500	120	Inmediato	10 Litros
A-04	1 Litro	700	120	Inmediato	5 Litros
A-05	1 Litro	1000	120	Inmediato	5 Litros
B-01	100 Unid	300	20	Inmediato	250 Unid
B-02	1 Unid	100	20	Inmediato	10 Unid
B-03	1 Unid	100	5	Inmediato	10 Unid

Los costos de los productos intermedios de la mezcla de la tintilla y el armado de la mesa son de \$500 y \$400 respectivamente. La mesa terminada agrega un costo de \$1000. El costo de almacenamiento de los productos intermedios al año es de \$50. Las capacidades de suministros de los proveedores serán consideradas infinitas. La demanda proyectada para el próximo mes es de:

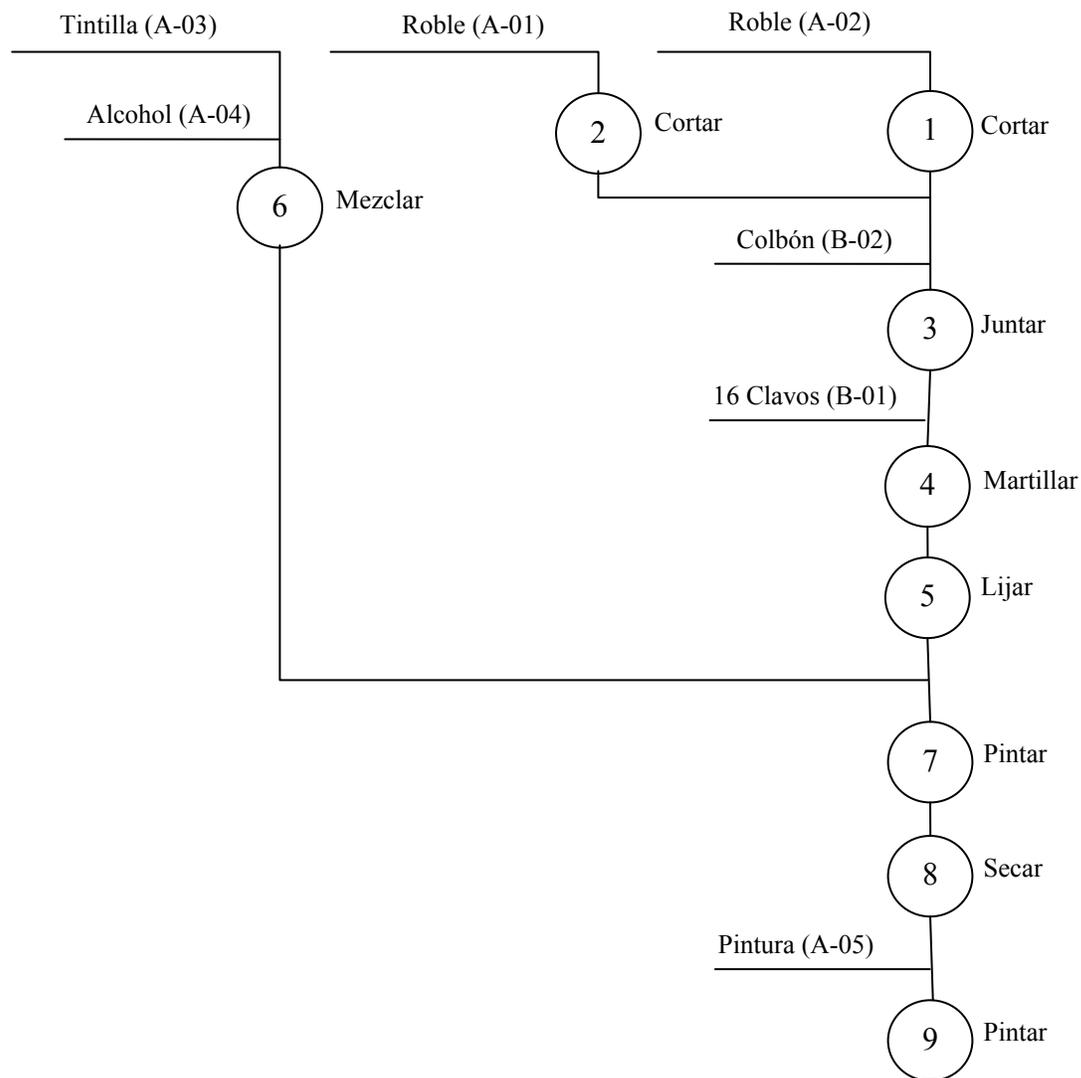
Mes Enero	Demanda
Semana 1	100
Semana 2	160
Semana 3	160
Semana 4	240

Se desea crear un plan MRP para el próximo año.

A continuación se muestra como sería la explosión de materiales (**BOM**) de nuestro producto:



Otra forma de mirar el proceso completo es a través del diagrama de operaciones del proceso (solo se muestran los materiales directos):



9.2 INTRODUCCIÓN DEL PROBLEMA DE EJEMPLO

Para ingresar el problema del ejemplo debemos tener en cuenta que existen entre productos y productos intermedios un total de 11 ítems (incluyendo la mesa terminada), el periodo a proyectar son 4 semanas (52 en un año) y los ítems máximos que dependen de un producto intermedio son 5 (los que dependen de la mesa sin acabar):

Problem Title:

Number of Product and Part Items:

Time Unit of Planning Period:

Number of Planning Periods:

Number of Periods per Year:

Maximum Number of Direct Components per Parent Item (BOM or Product Structure Span):

La primera pantalla que aparece corresponde a la **Plantilla maestra (Item Master)**, donde ingresaremos la información sobre la identificación de los productos, los tiempos de entrega de los proveedores, los costos y el tipo de inventario que se utilizará.

No	Item ID	ABC Class	Source Code	Material Type	Unit Measure	Lead Time	Lot Size	LS Multiplier	Scrap %	Annual Demand	Unit Cost	Setup Cost	Holding Annual Cost	Shortage Annual Cost
1	1				Each									M
2	2				Each									M
3	3				Each									M
4	4				Each									M
5	5				Each									M
6	6				Each									M
7	7				Each									M
8	8				Each									M
9	9				Each									M
10	10				Each									M
11	11				Each									M

Las columnas **ABC Class** y **Source Code** son opcionales. En esta última ingresaremos el código del producto. En la columna **Material Type** (también opcional) ingresamos información de si el ítem es producto terminado (**PT**), un subensamble (**SE**) o material directo (**MD**).

En la columna **Unidad de medida (Unit Measure)** ingresamos las unidades definidas por cada ítem. Hasta el momento la tabla debería quedar como sigue:

No	Item ID	ABC Class	Source Code	Material Type	Unit Measure
1	1		D-01	PT	Und
2	2		C-01	SE	Lt
3	3		C-02	SE	Und
4	4		B-01	MD	Und
5	5		B-02	MD	Und
6	6		B-03	MD	Und
7	7		A-01	MD	Und
8	8		A-02	MD	Und
9	9		A-03	MD	Lt
10	10		A-04	MD	Lt
11	11		A-05	MD	Lt

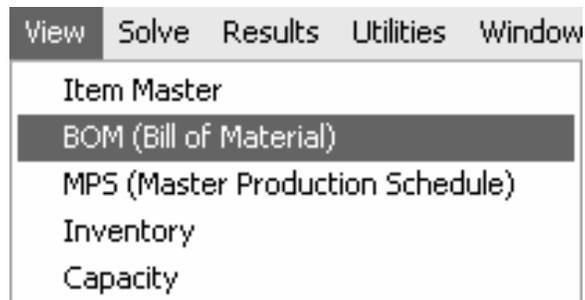
En la columna **Lead Time** colocaremos el tiempo en que se tarda el proveedor en hacer llegar el producto al cliente. En **Tamaño del lote (lot Size)** se incluye el modelo de inventario que se llevará para cada ítem (ver capítulo de modelo y sistemas de inventarios para más información). Para nuestro caso optaremos por el modelo **FOQ** correspondiente a **Cantidad de Orden Fija**.

Saltamos a la columna correspondiente al **Costo unitario (Unit Cost)** y **Costo anual de almacenamiento (Holding Annual Cost)**. Si queremos ingresar información adicional sobre los productos, los escribiremos en la columna **Item Description**.

La tabla final debería verse así:

No	Item ID	ABC Class	Source Code	Material Type	Unit Measure	Lead Time	Lot Size	LS Multiplier	Scrap %	Annual Demand	Unit Cost	Setup Cost	Holding Annual Cost	Shortage Annual Cost
1	1		D-01	PT	Und	1	FOQ				1000		50	M
2	2		C-01	SE	Lt	0	FOQ				500		50	M
3	3		C-02	SE	Und	0	FOQ				400		50	M
4	4		B-01	MD	Und	0	FOQ				300		20	M
5	5		B-02	MD	Und	0	FOQ				100		20	M
6	6		B-03	MD	Und	0	FOQ				100		5	M
7	7		A-01	MD	Und	2	FOQ				1200		350	M
8	8		A-02	MD	Und	2	FOQ				1500		350	M
9	9		A-03	MD	Lt	0	FOQ				500		120	M
10	10		A-04	MD	Lt	0	FOQ				700		120	M
11	11		A-05	MD	Lt	0	FOQ				1000		120	M

Para ingresar la explosión de materiales debemos marcar la opción **BOM** del menú **Ver (View)**.



En esta nueva ventana aparece lo que consideramos los materiales ligados a los productos intermedios o el producto final.

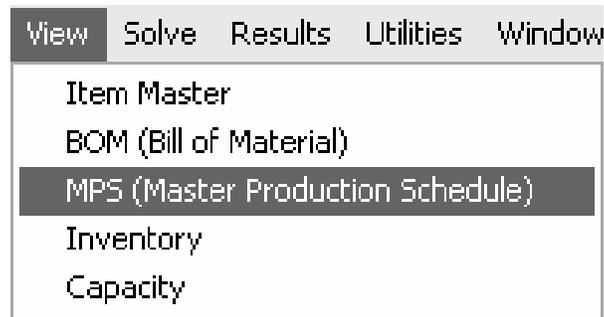
Item ID	Component ID/Usage				
1	2/0,5	11/0,25	3/1		
2	9/0,25	10/0,25			
3	7/4	8/1	5/1	4/16	6/2
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

Observemos detenidamente la primera fila (correspondiente a la mesa terminada D-01):

- La mesa depende de tres productos directamente
- El primero de ellos es la Mezcla sencilla (C-01) que resulta de la mezcla de $\frac{1}{4}$ de alcohol con $\frac{1}{4}$ de tintilla. Esta notación la identificamos en WINQSB como 2/0,5, donde 2 equivale al segundo ítem y 0,5 a los litros que resultan de la mezcla.
- El valor 11/0,25 equivale al ítem 11 (Pintura de acabado A-05) con $\frac{1}{4}$ de litro.
- El valor 3/1 equivale al tercer ítem (Mesa sin acabar C-02) con una unidad.

El mismo formato se emplea para los artículos 2 y 3 (C-01 y C-02), el primero con dos artículos de base, y el segundo con los cinco artículos restantes.

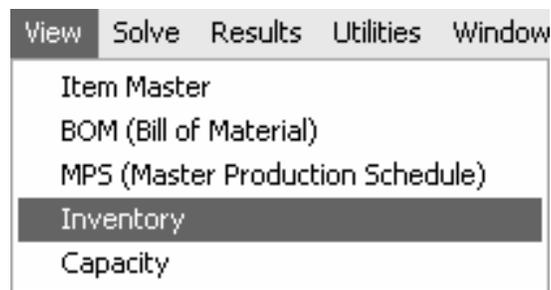
Para especificar la demanda procedemos a activar la **Programación maestra de producción (Master Production Schedule)**



En él colocamos la demanda semanal para el producto terminado:

Item ID	Overdue Requirement	Semana 1 Requirement	Semana 2 Requirement	Semana 3 Requirement	Semana 4 Requirement
1		100	160	160	240
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

En **Inventory (Inventario)** especificamos las cantidades disponibles para cada semana:



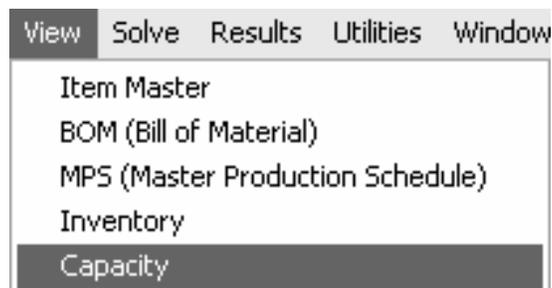
La primera columna llamada **Safety Stock** permite asignar el mínimo nivel de inventario que debe tener la empresa según sus políticas.

En **On Hand Inventory** especificamos la cantidad de inventario disponible al inicio del periodo.

En las demás columnas colocamos las cantidades que ya fueron ordenadas y están pendientes de entrega al inicio del periodo (**Overdue Planned Receipt**) y durante el desarrollo del mismo (**Semana # Planned Receipt**).

Item ID	Safety Stock	On Hand Inventory	Overdue Planned Receipt	Semana 1 Planned Receipt	Semana 2 Planned Receipt	Semana 3 Planned Receipt	Semana 4 Planned Receipt
1							
2							
3							
4		250					
5		10					
6		10					
7		15					
8		15					
9		10					
10		5					
11		5					

La última ventana corresponde a la capacidad máxima de los proveedores y de la empresa que fabrica el producto (**Capacity**).



De forma predeterminada las casillas están marcadas con **M** indicando una capacidad infinita.

Item ID	Semana 1 Capacity	Semana 2 Capacity	Semana 3 Capacity	Semana 4 Capacity
1	M	M	M	M
2	M	M	M	M
3	M	M	M	M
4	M	M	M	M
5	M	M	M	M
6	M	M	M	M
7	M	M	M	M
8	M	M	M	M
9	M	M	M	M
10	M	M	M	M
11	M	M	M	M

Para resolver el problema seleccionamos la opción **Explotar requerimiento de materiales (Explode Material Requirements)**.

Podremos elegir entre distintos tipos de reportes:

Marcamos **Source Code** para que realice el reporte de acuerdo a los códigos asignados y pulsamos **OK**.

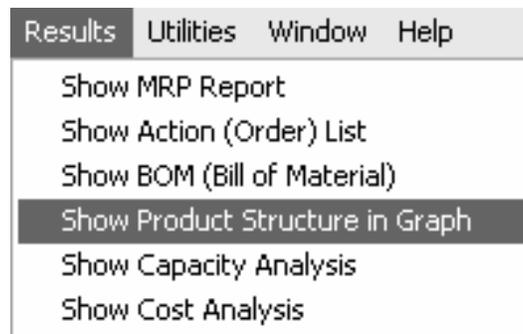
La pantalla resultante muestra la planeación de requerimientos:

11-30-2005	Overdue	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Total
Item: 1		LT = 1	SS = 0	LS = FOQ	UM = Und	ABC =
Gross Requirement	0	100	160	160	240	660
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	0	0	0	0	0	
Projected Net Requirement	0	100	160	160	240	660
Planned Order Receipt	0	100	160	160	240	660
Planned Order Release	100	160	160	240	0	660
Item: 2		LT = 0	SS = 0	LS = FOQ	UM = Lt	ABC =
Gross Requirement	500	800	800	1.200	0	3.300
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	0	0	0	0	0	
Projected Net Requirement	500	800	800	1.200	0	3.300
Planned Order Receipt	500	800	800	1.200	0	3.300
Planned Order Release	500	800	800	1.200	0	3.300

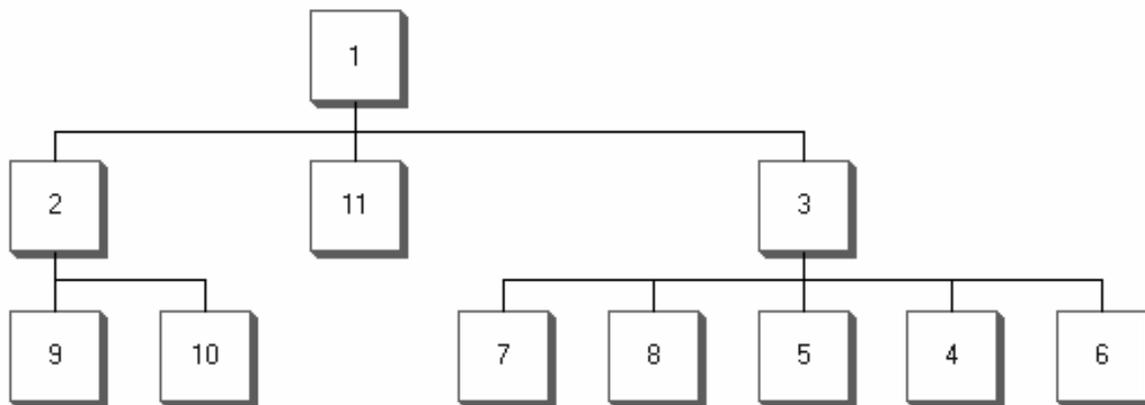
A continuación describiremos los campos usados:

- **Requerimiento (Gross Requirement):** Unidades requeridas por semana.
- **Programación de recepciones (Scheduled Receipt):** Unidades que fueron ordenadas con anterioridad a la programación.
- **Órdenes planeadas a recibir (Planned Order Receipt):** Ordenes que se recibirán al comienzo de la semana.
- **Órdenes planeadas pendientes (Planned Order Release):** Ordenes que se pedirán a los otros departamentos o directamente al proveedor (depende del tiempo de entrega programado).

Para ver la estructura completa de explosión de materiales pulsamos sobre **Mostrar gráfico de la estructura del producto (Show Product Structure in Graph)**:



Pulsando directamente sobre el botón **OK** tenemos:



10. PROGRAMACIÓN DINÁMICA

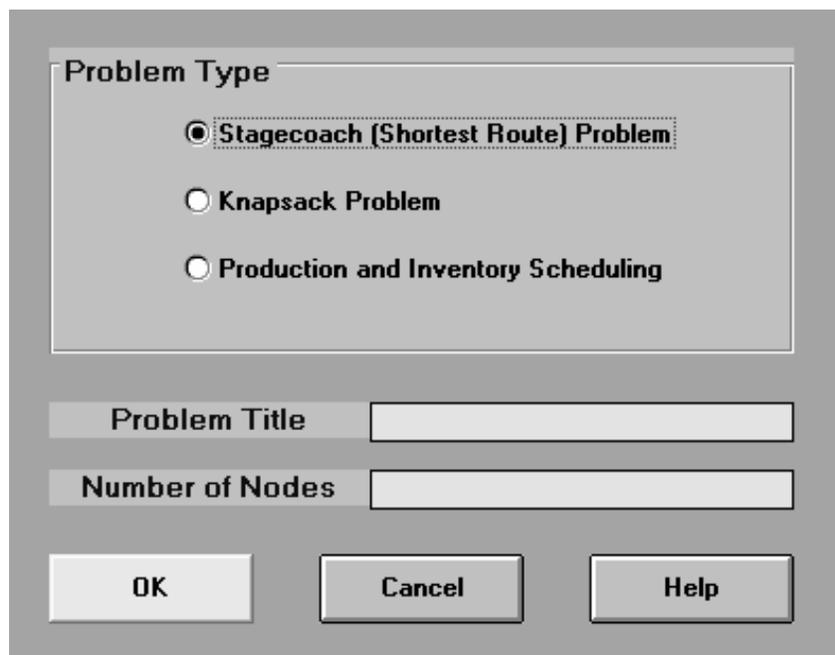
La programación dinámica es un enfoque general para la solución de problemas en los que es necesario tomar decisiones en etapas sucesivas. Las decisiones tomadas en una etapa condicionan la evolución futura del sistema, afectando a las situaciones en las que el sistema se encontrará en el futuro (denominadas estados), y a las decisiones que se plantearán en el futuro.

Conviene resaltar que a diferencia de la programación lineal, el modelado de problemas de programación dinámica no sigue una forma estándar. Así, para cada problema será necesario especificar cada uno de los componentes que caracterizan un problema de programación dinámica.

El procedimiento general de resolución de estas situaciones se divide en el análisis recursivo de cada una de las etapas del problema, en orden inverso, es decir comenzando por la última y pasando en cada iteración a la etapa antecesora. El análisis de la primera etapa finaliza con la obtención del óptimo del problema.

10.1 MODELOS DE PROGRAMACIÓN DINÁMICA

Existen tres modelos diferentes manejados por **WINQSB**.



The image shows a dialog box titled "Problem Type" from the WINQSB software. It contains three radio button options: "Stagecoach (Shortest Route) Problem" (which is selected), "Knapsack Problem", and "Production and Inventory Scheduling". Below these options are two text input fields: "Problem Title" and "Number of Nodes". At the bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

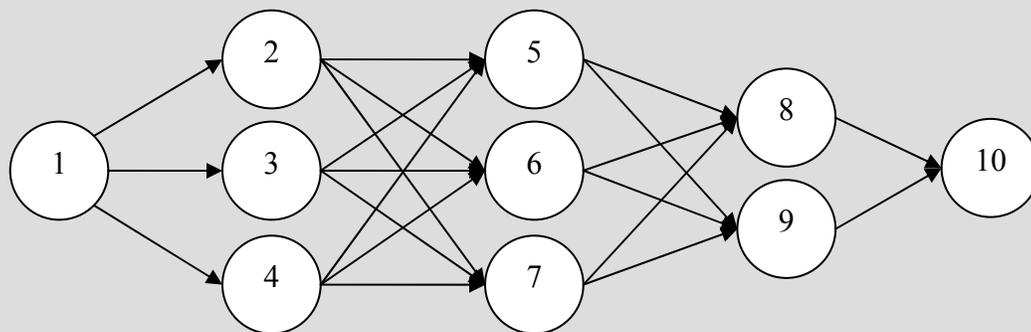
- **Problema de la diligencia (Stagecoach Problem)**

- **Problema de la mochila (Snapsack Problem)**
- **programación de producción e inventarios (Production and Inventory Scheduling)**

10.2 EL PROBLEMA DE LA DILIGENCIA

Ejemplo 10-1:

Considérese el gráfico que contempla las rutas posibles para ir desde la ciudad 1 hasta la ciudad 10. Cada nodo representa una ciudad y los arcos la infraestructura vial disponible. La tabla recoge el costo asociado al desplazamiento entre cada par de nodos para cada una de las etapas. Supondremos que todos los desplazamientos tienen la misma duración, y que el viaje ha de realizarse en cuatro etapas. Cada una de ellas se corresponde con un único desplazamiento entre un par de nodos del grafo, así al finalizar la primera etapa estaremos en una de las ciudades 2, 3 ó 4. La segunda etapa finalizará en la ciudad 5, la número 6 ó la número 7. La tercera jornada nos llevará a la ciudad 8 o a la número 9. La cuarta etapa permite finalizar el viaje en la ciudad 10.



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

10.3 TERMINOLOGÍA Y NOTACIÓN BÁSICA

Períodos o etapas: Sea $N = \{1, 2, \dots, n\}$ un conjunto finito de elementos. Mediante el índice $n \in N$, representamos cada uno de ellos. N es el conjunto de períodos o etapas del proceso. En la ilustración anterior $N = \{1, 2, 3, 4\}$, las cuatro etapas del viaje, cada una de ellas es un período y se representa mediante un valor del índice n , así cuando $n = 1$ nos estamos refiriendo a la primera etapa del proceso.

Espacio de estados: $\{ S \in N \}$ es una familia de conjuntos, uno para cada período n . S se denomina espacio de estados en el período n . Cada uno de sus elementos, que se representa mediante S_n , es un estado, que describe una posible situación del proceso en ese período. En nuestro ejemplo, $S_1 = \{1\}$, $S_2 = \{2, 3, 4\}$, $S_3 = \{5, 6, 7\}$, $S_4 = \{8, 9\}$.

La función recursiva: Dados unos nodos y unos arcos que conectan estos nodos, el problema de la diligencia intenta encontrar la ruta más corta que conecta un nodo de arranque con el nodo final (el destino).

Sea s : el estado de inicio; j : estado destino

- n : la fase, normalmente representa el número de arcos hasta el destino.
- $C(s,j)$: costo o distancia de ir desde s hasta j .
- $f(n,s)$: la política de costo mínimo cuando se encuentra en el estado s de la etapa n .

La relación recursiva dinámica se expresa como

$$f(n,s) = \text{mínimo} [C(s,j) + f(n-1,,j)] \text{ para todos los arcos } (s,j) \text{ en la red}$$

10.4 INGRESANDO EL PROBLEMA AL WINQSB

El problema contiene 10 nodos claramente identificados:

The image shows a dialog box titled "Problem Type" with three radio button options: "Stagecoach (Shortest Route) Problem" (selected), "Knapsack Problem", and "Production and Inventory Scheduling". Below the options are two input fields: "Problem Title" with the text "Ejemplo 1" and "Number of Nodes" with the text "10". At the bottom are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

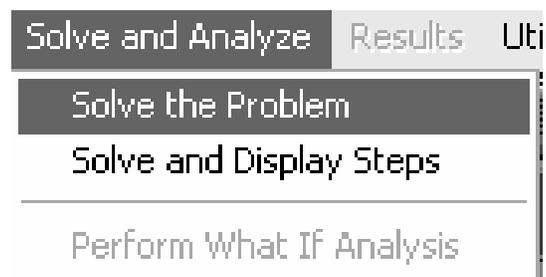
Al pulsar **OK** podremos ingresar el resto de información, el cual se basa en las relaciones existentes entre los nodos:

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9
Node1									
Node2									
Node3									
Node4									
Node5									
Node6									
Node7									
Node8									
Node9									
Node10									

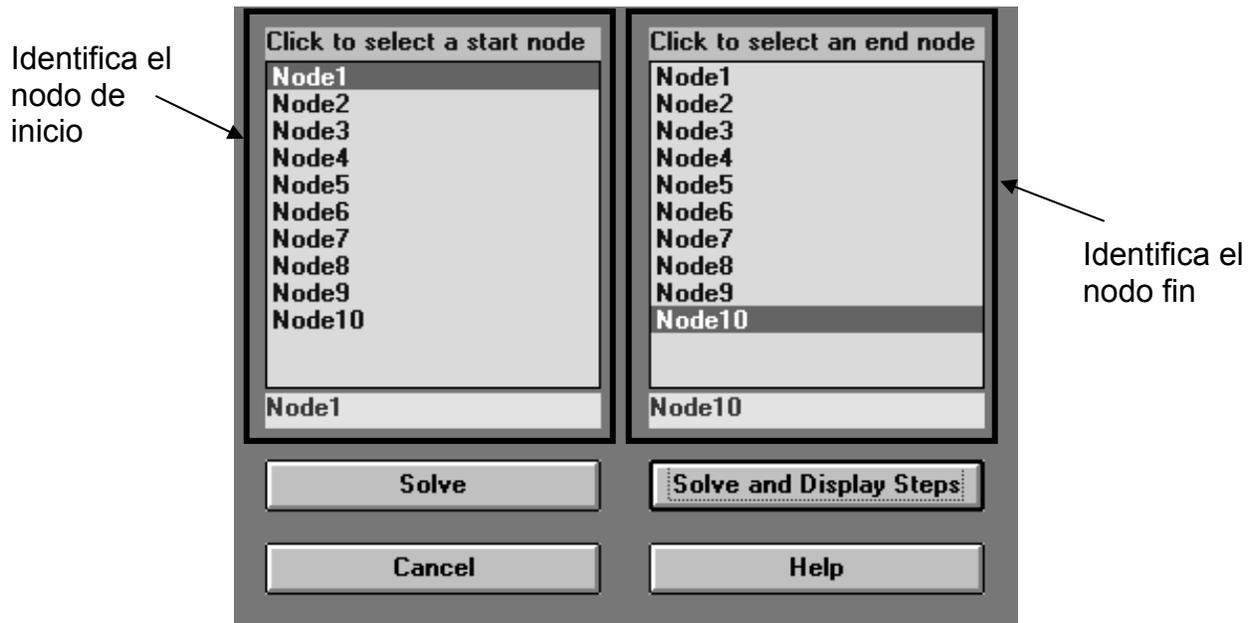
Los valores van de acuerdo a la red establecida en el problema:

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9	Node10
Node1		2	4	3						
Node2					7	4	6			
Node3					3	2	4			
Node4					5	6	7			
Node5								1	4	
Node6								6	3	
Node7								3	3	
Node8										3
Node9										4
Node10										

Para resolver el problema pulsamos la opción **Resolver el problema (Solve the Problem)** del menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)**.



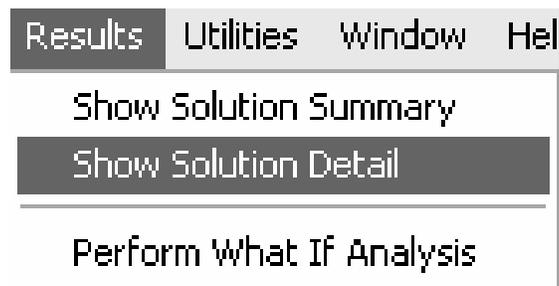
La ventana siguiente permite identificar los nodos de inicio y fin:



Al pulsar **SOLVE** generamos la solución al problema:

11-30-2005 Stage	From Input State	To Output State	Distance	Cumulative Distance	Distance to Node10
1	Node1	Node3	4	4	11
2	Node3	Node5	3	7	7
3	Node5	Node8	1	8	4
4	Node8	Node10	3	11	3
	From Node1	To Node10	Min. Distance	= 11	CPU = 0

Si queremos una solución detallada debemos pulsar sobre **Mostrar solución detallada (Show Solution Detail)** en el menú **Resultados (Results)**:



11-30-2005 17:04:56	Stage	From Input State	To Output State	Distance	Distance to Node10	Status	
1	1	Node1	Node3	4	11	Optimal	
2	2	Node2	Node5	7	11		
3	2	Node3	Node5	3	7	Optimal	
4	2	Node4	Node5	5	9		
5	3	Node5	Node8	1	4	Optimal	
6	3	Node6	Node9	3	7		
7	3	Node7	Node8	3	6		
8	4	Node8	Node10	3	3	Optimal	
9	4	Node9	Node10	4	4		
		From Node1	To Node10	Minimum	Distance =	11	CPU = 0

10.5 PROBLEMA DE LA MOCHILA O CANASTA DE EQUIPAJE

La idea básica es que existen **N** tipos distintos de artículos que pueden cargarse en una mochila; cada artículo tiene asociados un peso y un valor. El problema consiste en determinar cuántas unidades de cada artículo se deben colocar en la mochila para maximizar el valor total. Nótese que este enfoque resulta útil para la planificación del transporte de artículos en algún medio, por ejemplo: carga de un buque, avión, camión etc. También es utilizable este modelo en planificación de producción, por ejemplo enrutamiento de la producción a través de varias máquinas.

Ejemplo 10-2:

La carga de un avión se distribuye con el propósito de maximizar el ingreso total. Se consideran 5 elementos y sólo se necesita uno de cada uno. La compañía gana 5000 u.m. por elemento más una bonificación por elemento. El avión puede transportar 2000 libras.

Elemento	Peso, lb	Volumen, pies ³	Valor bonificación
1	1000	70	700
2	1100	100	800
3	700	100	1100
4	800	80	1000
5	500	50	700

- ¿Cuáles elementos deben transportarse?
- Si se considera un volumen máximo de 200 pies cúbicos. ¿cuáles elementos deben transportarse?

El problema se desarrolla bajo las dos consideraciones, primero teniendo en cuenta el peso y luego el volumen. Como puede apreciarse este es un problema que bien podría resolverse por programación lineal entera teniendo en cuenta la función objetivo y restricciones siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Max. } Z &= 5700x_1 + 5800x_2 + 6100x_3 + 6000x_4 + 5700x_5 \\ \text{S.a. } &1000x_1 + 1100x_2 + 700x_3 + 800x_4 + 500x_5 \leq 2000 \\ &x_j \leq 1, \text{ entero} \end{aligned}$$

Siendo x_j el elemento j a transportar.

Para el caso del volumen se reformaría la primera restricción cambiando los coeficientes por los volúmenes de los ítems.

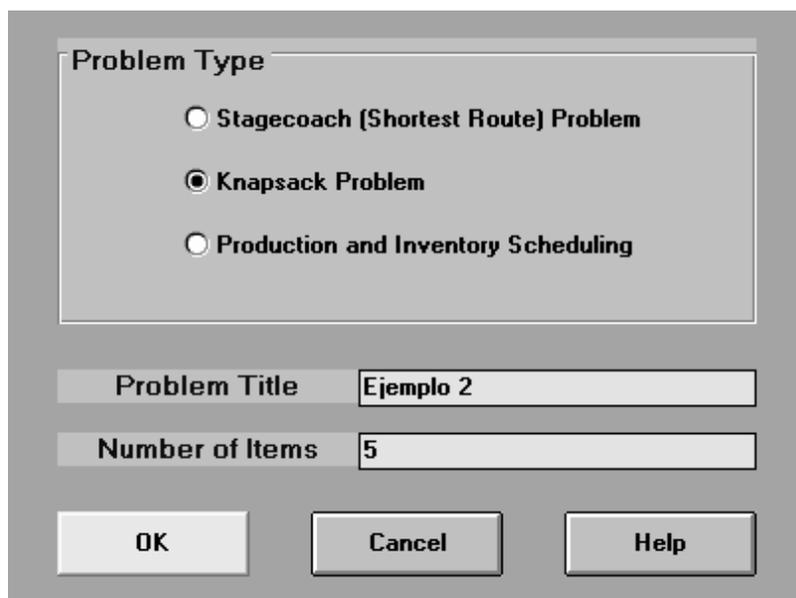
Sea j : la variable que representa el artículo:

- $x(j)$: el número de unidades el número de unidades cargadas del artículo j
- $w(j)$: el espacio o el peso que demanda cada unidad del artículo j
- $R(j, x(j))$: la función del retorno del artículo j si se llevan $x(j)$ unidades en la mochila, del artículo j
- $g(j, w)$: retorno del total acumulativo dado el espacio w disponible para el artículo j

La relación recursiva dinámica se expresa como:

$$g(j, w) = \text{máximo} \{R(j, x(j)) + g[j-1, w-w(j)x(j)]\} \text{ para todo posible } x(j)$$

Ahora ingresemos los datos al **WINQSB**:



The image shows a dialog box titled "Problem Type" from the WINQSB software. It contains three radio button options: "Stagecoach (Shortest Route) Problem", "Knapsack Problem" (which is selected), and "Production and Inventory Scheduling". Below the options, there are two input fields: "Problem Title" with the text "Ejemplo 2" and "Number of Items" with the value "5". At the bottom of the dialog box, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

La entrada de datos queda como sigue.

Item (Stage)	Item Identification	Units Available	Unit Capacity Required	Return Function (X: Item ID) (e.g., 50X, 3X+100, 2.15X ² +5)
1	A	1	1000	5700A
2	B	1	1100	5800B
3	C	1	700	6100C
4	D	1	800	6000D
5	E	1	500	5700E
Knapsack	Capacity =	2000		

Al resolver el problema tenemos:

11-30-2005 Stage	Item Name	Decision Quantity (X)	Return Function	Total Item Return Value	Capacity Left
1	A	0	5700A	0	2000
2	B	0	5800B	0	2000
3	C	1	6100C	6100	1300
4	D	1	6000D	6000	500
5	E	1	5700E	5700	0
	Total	Return	Value =	17800	CPU = 0,22

La solución nos indica que se deben transportar los ítems 3, 4 y 5 con un retorno total de 17800 u.m. y utilización plena de la capacidad (en peso), disponible del avión. Teniendo en cuenta sólo el volumen, el nuevo modelo es:

Item (Stage)	Item Identification	Units Available	Unit Capacity Required	Return Function (X: Item ID) (e.g., 50X, 3X+100, 2.15X ² +5)
1	A	1	70	5700A
2	B	1	100	5800B
3	C	1	100	6100C
4	D	1	80	6000D
5	E	1	50	5700E
Knapsack	Capacity =	120		

La solución es:

11-30-2005 Stage	Item Name	Decision Quantity (X)	Return Function	Total Item Return Value	Capacity Left
1	A	1	5700A	5700	50
2	B	0	5800B	0	50
3	C	0	6100C	0	50
4	D	0	6000D	0	50
5	E	1	5700E	5700	0
	Total	Return	Value =	11400	CPU = 0,02

10.6 PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN E INVENTARIOS

El problema consiste en determinar un programa de producción para un periodo de tiempo con el fin de minimizar los costos totales relacionados. Hay demandas conocidas para cada periodo, límites de capacidad tanto para la producción como para los inventarios (almacenamiento). Cuando hay más producción que demanda, se acumula inventario, y cuando la producción es menor que la demanda, se generarán retrasos en el cumplimiento de pedidos (backorder). Para cada periodo, una producción no-cero incurre en un costo de preparación. En programación dinámica, el costo variable se expresa como una función de la producción (P), el inventario (H), y backorder (B).

Sea:

- **P(n)**: el número de unidades producidas en el periodo n
- **D(n)**: la demanda en el periodo n
- **H(n)**: el inventario disponible al final del periodo n
- **B(n)**: el backorder al final del periodo n
- **I(n)**: la posición del inventario al final del periodo n, es decir, $I(n) = H(n)$ o $I(n) = B(n)$

$$I(n) = I(n-1) + P(n) - D(n)$$

- **S(n)**: el costo de preparación en el periodo n
- **V(P(n), I(n))**: el costo variable = función de P(n), H(n), y/o B(n)
- **C(n,P(n),I(n))**: = S(n) + V(P(n),I(n)) si P(n)>0, = V(P(n),I(n)) si P(n)=0
- **f(n,i)**: costo total acumulativo dado el nivel del inventario inicial i para el periodo n

La relación recursiva dinámica se expresa como:

$$f(n,i) = \text{máximo} \{C(n,P(n),i+P(n)-D(n)) + f(n-1,i+P(n)-D(n))\} \text{ para todo posible } P(n).$$

Ejemplo 10-3:

La tabla muestra los datos del siguiente problema de producción e inventario: la demanda para los meses de enero, febrero, marzo y abril es de 4, 5, 3 y 4 unidades, respectivamente. Las capacidades de producción son de 6, 4, 7, y 5 unidades; las capacidades de almacenaje son 4, 3, 2 y 4 unidades respectivamente. Los costos de preparación varían de un mes a otro y son: 500, 450, 500 y 600 u.m. para enero, febrero, marzo y abril.

Mes	Costos	Demanda	Capacidad de producción	Capacidad de Almacenamiento
Enero	500	4	6	4
Febrero	450	5	4	3
Marzo	500	3	7	2
Abril	600	4	5	4

Determinar un programa de producción con el fin de minimizar los costos totales relacionados.

Al igual que en los ejercicios anteriores, se procede a ingresar los datos:

The image shows a software dialog box with the following elements:

- Problem Type:** A section containing three radio button options:
 - Stagecoach (Shortest Route) Problem
 - Knapsack Problem
 - Production and Inventory Scheduling
- Problem Title:** A text input field containing the text "Ejemplo 3".
- Number of Periods:** A text input field containing the number "4".
- Buttons:** Three buttons at the bottom: "OK", "Cancel", and "Help".

La tabla inicial permite ingresar los datos expuestos en el ejemplo.

Period (Stage)	Period Identification	Demand	Production Capacity	Storage Capacity	Production Setup Cost	Variable Cost Function (P,H,B: Variables) (e.g., $5P+2H+10B$, $3(P-5)^2+100H$)
1	Period1	0	M	M	0	
2	Period2	0	M	M	0	
3	Period3	0	M	M	0	
4	Period4	0	M	M	0	
Initial	Inventory =	0				

La ventana debería quedar como sigue:

Period (Stage)	Period Identification	Demand	Production Capacity	Storage Capacity	Production Setup Cost	Variable Cost Function (P,H,B: Variables) (e.g., $5P+2H+10B$, $3(P-5)^2+100H$)
1	Enero	4	6	4	500	$300P+100H$
2	Febrero	5	4	3	450	$320P+100H$
3	Marzo	3	7	2	500	$250P+120H$
4	Abril	4	5	4	600	$350P+140H$
Initial	Inventory =	0				

La solución del problema es:

11-30-2005 Stage	Period Description	Net Demand	Starting Inventory	Production Quantity	Ending Inventory	Setup Cost	Variable Cost Function (P,H,B)	Variable Cost	Total Cost
1	Enero	4	0	5	1	\$ 500,00	$300P+100H$	\$ 1.600,00	\$ 2.100,00
2	Febrero	5	1	4	0	\$ 450,00	$320P+100H$	\$ 1.280,00	\$ 1.730,00
3	Marzo	3	0	3	0	\$ 500,00	$250P+120H$	\$ 750,00	\$ 1.250,00
4	Abril	4	0	4	0	\$ 600,00	$350P+140H$	\$ 1.400,00	\$ 2.000,00
Total		16	1	16	1	\$ 2.050,00		\$ 5.030,00	\$ 7.080,00

Las cantidades a producir mostradas en la tabla son de tal forma que permiten un costo mínimo en la planeación: se deben producir 5, 4, 3 y 4 unidades para los meses de enero, febrero, marzo y abril respectivamente. El costo total es de \$7080, dividido en \$2050 por concepto de costos de preparación y \$5030 de costos variables. La tabla también muestra el juego de inventarios resultante de la producción y la demanda mensuales.

11. MODELO DE REDES

La opción **Nuevo Problema (New Problem)** generará la siguiente ventana:

The image shows a dialog box titled 'New Problem' with the following sections:

- Problem Type:** A list of radio buttons with 'Network Flow' selected. Other options include 'Transportation Problem', 'Assignment Problem', 'Shortest Path Problem', 'Maximal Flow Problem', 'Minimal Spanning Tree', and 'Traveling Salesman Problem'.
- Objective Criterion:** A list of radio buttons with 'Minimization' selected. The other option is 'Maximization'.
- Data Entry Format:** A list of radio buttons with 'Spreadsheet Matrix Form' selected. Other options are 'Graphic Model Form' and 'Symmetric Arc Coefficients (i.e., both ways same cost)' (which is unchecked).
- Problem Title:** A text input field.
- Number of Nodes:** A text input field.
- Buttons:** 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

Existen 7 modelos fundamentales para el tratamiento de los problemas que involucran redes con el fin de optimizar el uso de algún recurso, generalmente tratándose de la minimización de costos, tiempo o la maximización del flujo a través de una red. Estos modelos son:

- **Flujo en redes o modelo de trasbordo (Network Flow)**
- **Problema de transporte (Transportation Problem)**
- **Problema de asignación (Assignment Problem)**
- **Problema de la ruta más corta (Shortest Path Problem)**
- **Problema de flujo máximo (Maximal Flow Problem)**
- **Árbol de mínima expansión (Minimal Spanning Tree)**
- **Problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem)**

11.1 FLUJO EN REDES O MODELO DE TRASBORDO

Ingreseemos la información de un modelo de red que enlaza 2 fábricas con 4 almacenes y 3 grupos demandantes (9 nodos en total):

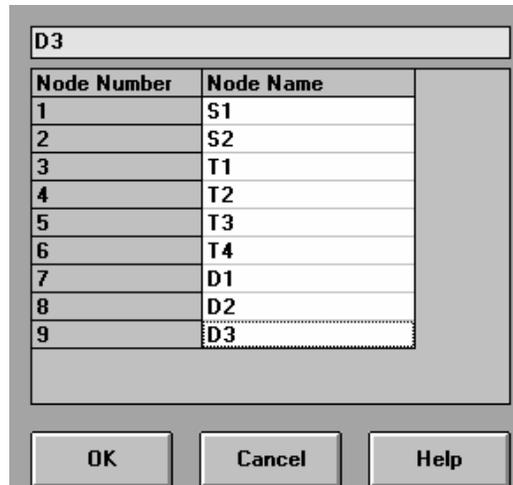
The dialog box contains the following settings:

- Problem Type:** Network Flow, Transportation Problem, Assignment Problem, Shortest Path Problem, Maximal Flow Problem, Minimal Spanning Tree, Traveling Salesman Problem
- Objective Criterion:** Minimization, Maximization
- Data Entry Format:** Spreadsheet Matrix Form, Graphic Model Form, Symmetric Arc Coefficients (i.e., both ways same cost)
- Problem Title:** Ejemplo 1
- Number of Nodes:** 9

La tabla inicial para este modelo se muestra a continuación:

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9	Supply
Node1										0
Node2										0
Node3										0
Node4										0
Node5										0
Node6										0
Node7										0
Node8										0
Node9										0
Demand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

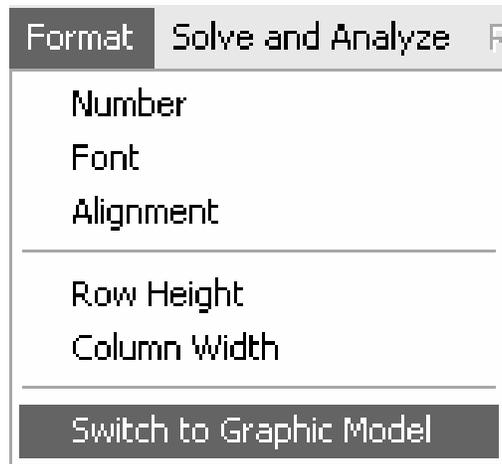
Para modificar los nombres de los nodos pulsamos sobre **Node Name** en el menú **Editar (Edit)**. Modifiquemos dichos nombre como se muestra a continuación:



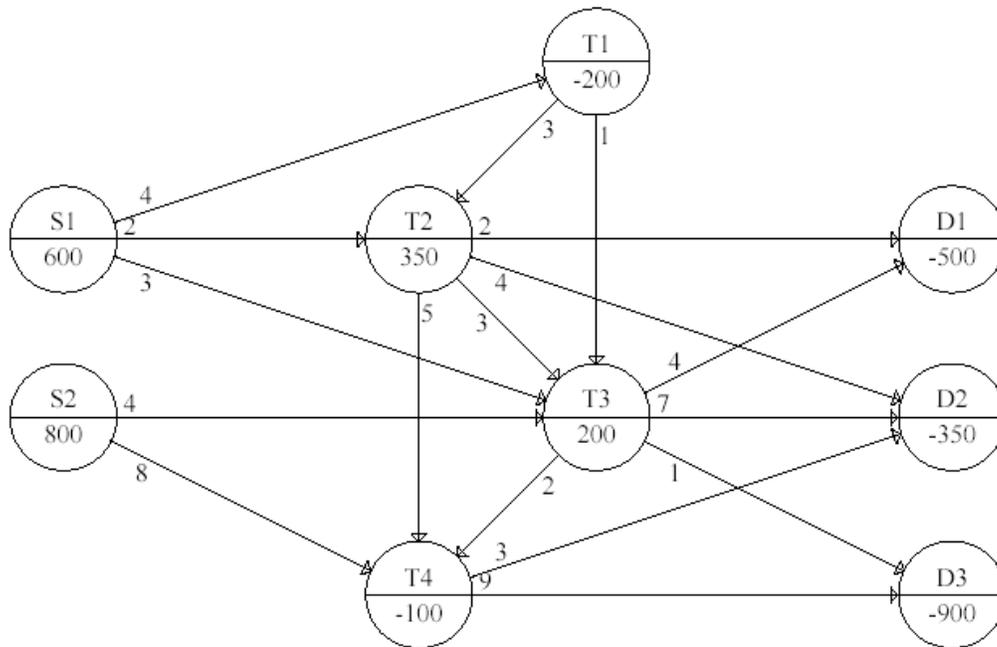
La tabla muestra dos fuentes (fábricas S_1 y S_2) que cuentan con capacidades de producción de 600 y 800 unidades para un período dado. Hay 4 almacenes intermedios, T_1 a T_4 , de los cuales T_2 y T_3 poseen 350 y 200 unidades respectivamente. Las demandas son T_1 , 200 unidades; T_4 , 100 unidades; D_1 , 500 unidades; D_2 , 350 unidades y D_3 900 unidades. Los costos de transportar una unidad de producto desde cada fuente y punto de trasbordo hasta cada sitio de demanda se encuentran en el cuerpo de la tabla.

From \ To	S1	S2	T1	T2	T3	T4	D1	D2	D3	Supply
S1			4	2	3					600
S2					4	8				800
T1				3	1					0
T2					3	5	2	4		350
T3						2	4	7	1	200
T4								3	9	0
D1										0
D2										0
D3										0
Demand	0	0	200	0	0	100	500	350	900	

Para ver el modelo en modo gráfico procedemos a marcar la opción

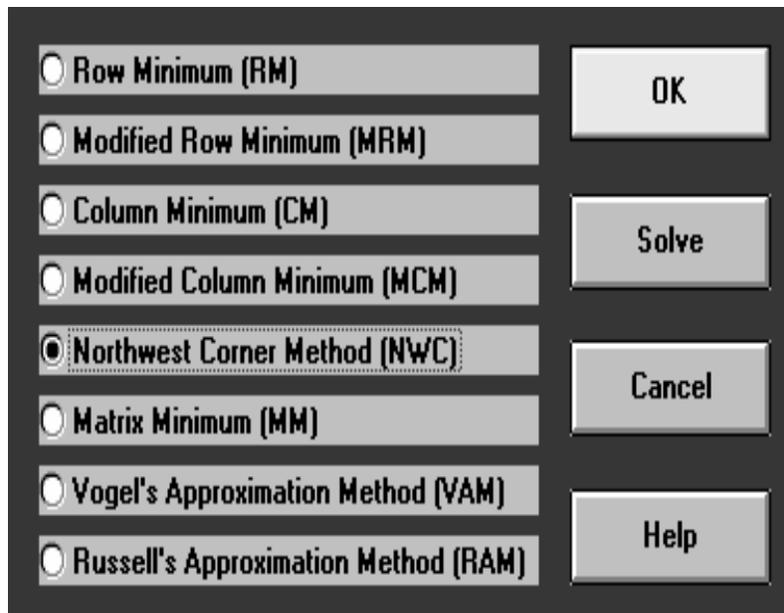


Una versión arreglada de nuestro modelo de redes se muestra a continuación:



Como paso previo a la solución debe escogerse el método mediante el cual se determina la solución básica inicial (recuérdese que los métodos asociados con el transporte sólo se diferencian en la forma como se obtiene la solución básica inicial).

En este caso se ha escogido el método de la esquina noroeste.



La manera de resolver el problema es idéntica a la del simplex, pudiéndose resolver directamente o por pasos. La tabla de resultados finales muestra cómo se da el flujo de productos desde a las fuentes iniciales (S) a los puntos de transbordo (T) y de estas a los destinos finales, con un costo total de 7900 u.m.

11-28-2005	From	To	Flow	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	S1	T1	200	4	800	0
2	S1	T2	400	2	800	0
3	S2	T3	800	4	3200	0
4	T2	D1	500	2	1000	0
5	T2	D2	250	4	1000	0
6	T3	D3	900	1	900	0
7	T3	T4	100	2	200	0
8	Unfilled Demand	D2	100	0	0	0
	Total	Objective Function	Value =		7900	

A continuación se muestran dos resúmenes de los que permite este módulo, para realizar análisis:

La primera tabla nos muestra, entre otros, el estado de las variables (básicas o no básicas); esto es, si la solución indica que un tramo (i,j) debe realizarse o no; también enseña los costos reducidos, que tienen igual interpretación que en programación lineal. Las dos últimas columnas señalan los máximos y mínimos costos permitidos en un tramo de transporte; esto equivale al análisis de coeficientes de costos de la programación lineal.

De la segunda tabla cabe destacar los precios sombra y los máximos y mínimos permitidos para las restricciones que se interpretan igual que en programación lineal.

11-28-2005 19:32:43	From	To	Unit Cost	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. Cost	Allowable Max. Cost
1	S1	T1	4	0	basic	0	6
2	S1	T2	2	0	basic	0	4
3	S1	T3	3	2	at bound	1	M
4	S2	T3	4	0	basic	1	6
5	S2	T4	8	2	at bound	6	M
6	T1	T2	3	5	at bound	-2	M
7	T1	T3	1	4	at bound	-3	M
8	T2	D1	2	0	basic	-5	3
9	T2	D2	4	0	basic	3	6
10	T2	T3	3	4	at bound	-1	M
11	T2	T4	5	4	at bound	1	M
12	T3	D1	4	1	at bound	3	M
13	T3	D2	7	2	at bound	5	M
14	T3	D3	1	0	basic	-4	5
15	T3	T4	2	0	basic	0	3
16	T4	D2	3	0	basic	1	4
17	T4	D3	9	10	at bound	-1	M

11-28-2005 19:34:39	Node	Supply	Demand	Shadow Price	Allowable Min. Value	Allowable Max. Value
1	S1	600	0	-3	600	600
2	S2	800	0	0	800	M
3	T1	0	200	7	200	200
4	T2	350	0	-5	350	350
5	T3	200	0	-4	200	1000
6	T4	0	100	6	0	100
7	D1	0	500	7	500	500
8	D2	0	350	9	350	350
9	D3	0	900	5	100	900

11.2 MODELO DE TRANSPORTE

Como el anterior, se trata de encontrar el programa que minimiza los costos de envío de bienes desde unos orígenes hasta unos destinos. La diferencia radica en que aquí se despachan los bienes directamente sin pasar por puntos de trasbordo.

En la tabla siguiente se muestran las demandas, las ofertas y los costos de transporte entre los distintos orígenes y destinos:

From \ To	Cartagena	B/manga	Pasto	B/quilla	Supply
Medellín	3	2	7	6	5000
Bogotá	7	5	2	3	6000
Cali	2	5	4	5	2500
Demand	6000	4000	2000	1500	

La siguiente tabla recoge la solución:

11-28-2005	From	To	Shipment	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	Medellín	Cartagena	3500	3	10500	0
2	Medellín	B/manga	1500	2	3000	0
3	Bogotá	B/manga	2500	5	12500	0
4	Bogotá	Pasto	2000	2	4000	0
5	Bogotá	B/quilla	1500	3	4500	0
6	Cali	Cartagena	2500	2	5000	0
	Total	Objective	Function	Value =	39500	

11.3 EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN

Con este modelo se busca resolver de la manera más eficiente, la asignación de una serie de tareas a sendas máquinas u operarios. Veamos un ejemplo:

From \ To	CLIENTE1	CLIENTE2	CLIENTE3
PEDRO	10	15	9
CARLOS	9	18	5
ROBERTO	6	14	3

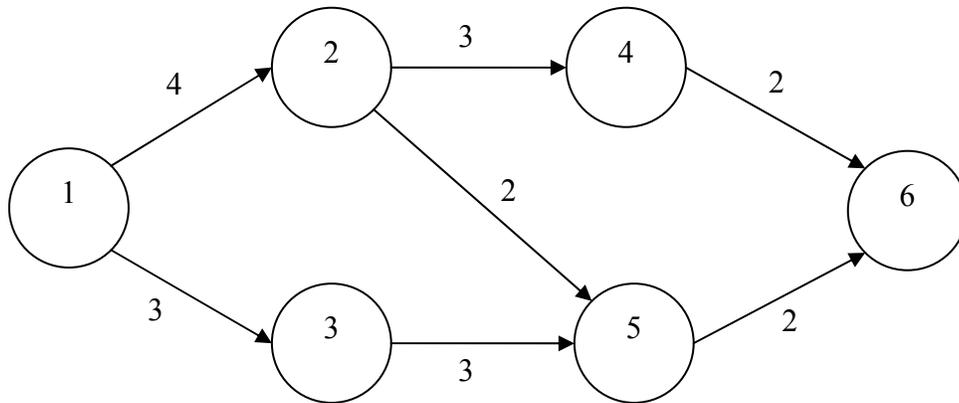
Se trata de una empresa de consultoría en mercadeo, que ha recibido solicitud de tres clientes para adelantar estudios de mercado. Los números en las celdas son las horas que cada consultor invertiría en llevar a cabo cada proyecto. La compañía desea minimizar el tiempo total dedicado a los proyectos. ¿Cómo asignar los clientes a los consultores?

11-28-2005	From	To	Assignment	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	PEDRO	CLIENTE2	1	15	15	0
2	CARLOS	CLIENTE3	1	5	5	0
3	ROBERTO	CLIENTE1	1	6	6	0
	Total	Objective	Function	Value =	26	

La solución nos indica que al consultor Pedro se le asigna el cliente 2, al consultor Carlos se le asigna el cliente 3 y a Roberto el cliente 1, con un costo total de \$26.

11.4 EL PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA

El problema de la ruta más corta incluye un juego de nodos conectados donde sólo un nodo es considerado como el origen y sólo un nodo es considerado como el nodo destino. El objetivo es determinar un camino de conexiones que minimizan la distancia total del origen al destino. El problema se resuelve por el "algoritmo de etiquetado".



La tabla siguiente muestra cómo se ingresan los datos para la red de ejemplo.

From \ To	CENTRAL1	SESTACION2	SESTACION3	SESTACION4	SESTACION5	CIUDAD1
CENTRAL1		4	3			
SESTACION2				3	2	
SESTACION3					3	
SESTACION4						2
SESTACION5						2
CIUDAD1						

El nodo 1 representa la central y el nodo 6 la ciudad a donde debe llevarse el cableado procedente de la central, pasando por algunos de los otros nodos que conectan la central con la ciudad. Los números sobre los arcos representan distancias en millas. Se trata de llevar a cabo la interconexión con el menor consumo de cable.

La solución final del problema sería:

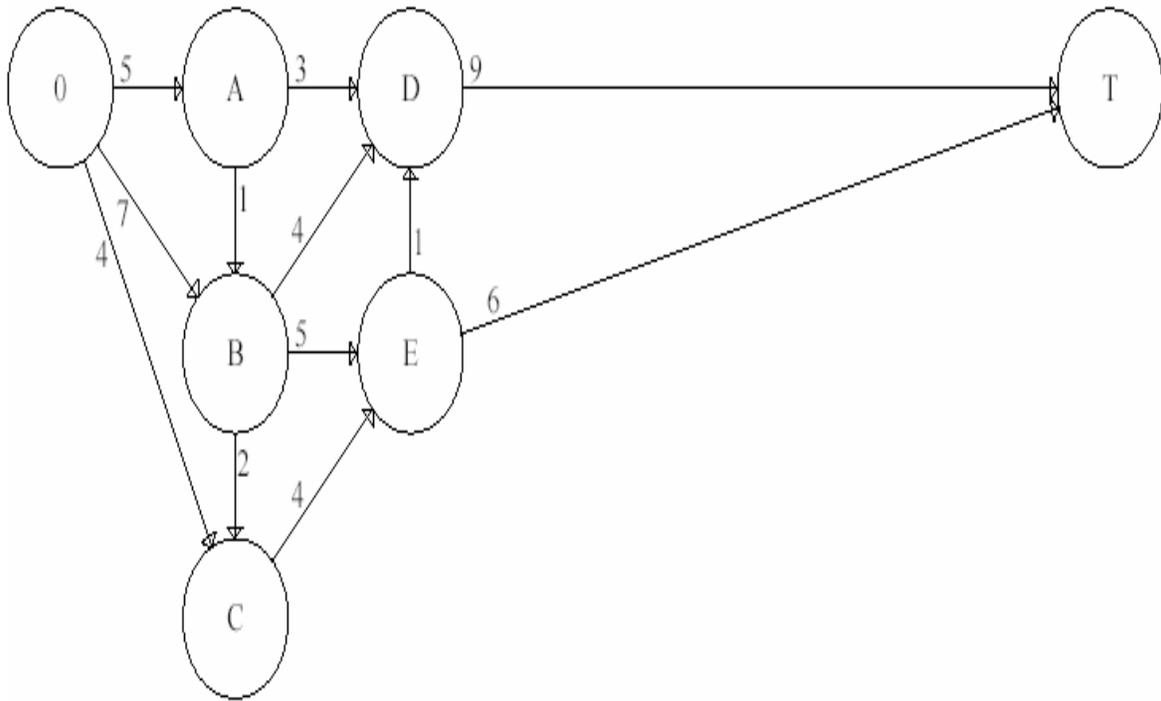
11-28-2005	From	To	Distance/Cost	Cumulative Distance/Cost
1	CENTRAL1	SESTACION3	3	3
2	SESTACION3	SESTACION5	3	6
3	SESTACION5	CIUDAD1	2	8
	From CENTRAL1	To CIUDAD1	=	8
	From CENTRAL1	To SESTACION2	=	4
	From CENTRAL1	To SESTACION3	=	3
	From CENTRAL1	To SESTACION4	=	7
	From CENTRAL1	To SESTACION5	=	6

11.5 EL PROBLEMA DE FLUJO MÁXIMO

Muchos problemas pueden ser modelados mediante una red en la cual se considera que los arcos tienen la capacidad de limitar la cantidad de un producto que se puede enviar a través del arco. En estas situaciones, frecuentemente se desea transportar la máxima cantidad de flujo desde un punto de partida llamado fuente hacia un punto final denominado pozo. La tabla siguiente muestra un ejemplo de este modelo:

From \ To	0	A	B	C	D	E	T
0		5	7	4			
A			1		3		
B				2	4	5	
C						4	
D							9
E					1		6
T							

Gráficamente tenemos:



La solución del problema es:

11-28-2005	From	To	Net Flow		From	To	Net Flow
1	0	A	3	6	B	E	3
2	0	B	7	7	C	E	4
3	0	C	4	8	D	T	8
4	A	D	3	9	E	D	1
5	B	D	4	10	E	T	6
Total	Net Flow	From	0	To	T	=	14

Obsérvese que este modelo tiene aplicación en la planificación de transporte vehicular, transporte de líquidos mediante tuberías y otros problemas de similar estructura.

11.6 EL ÁRBOL DE EXPANSIÓN MÍNIMA

Es un problema clásico de optimización combinatoria, formulado en 1926 por Boruvka quien lo planteó para resolver el problema de hallar la forma más económica de distribuir energía eléctrica en el sur de Moravia. La formulación de este problema ha sido útil para la realización de muchas investigaciones en varios campos como el transporte, electrónica, telecomunicaciones e investigación de operaciones.

El modelo contempla un conjunto de arcos que conectan todos los nodos de la red sin crear un solo ciclo o vuelta. El problema consiste en determinar el árbol

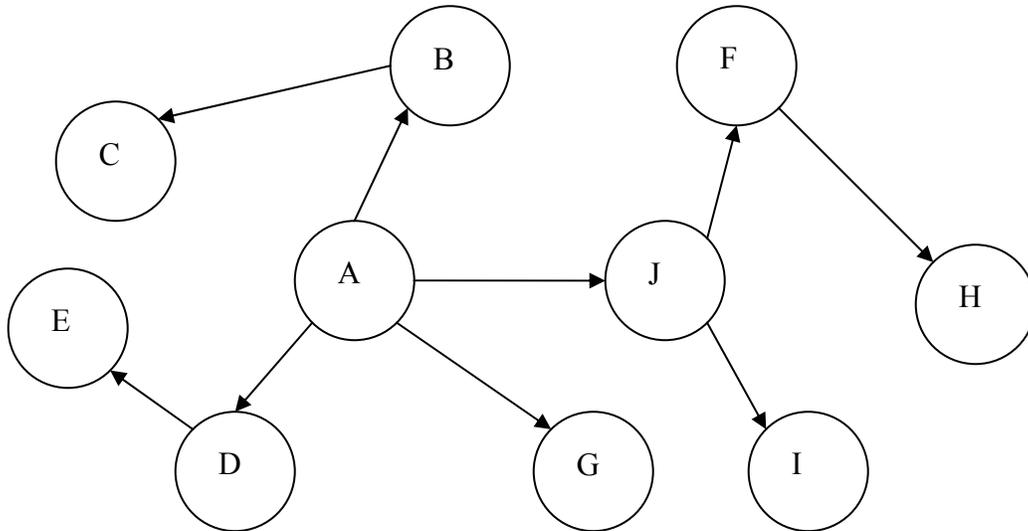
que minimiza la distancia de conexión total; se resuelve por el Algoritmo de Etiquetado. En cuanto a la introducción de datos y el proceso de solución es similar a los modelos anteriores de este módulo.

From \ To	A	B	C	D	E	F	G	H
A		1	2	3			4	
B	1		1			3		
C	2	1			3			
D	3				2		7	
E			3	2				
F		3						1
G	4			7				
H						1		
I							5	3
J	3	4				1		4

La solución para la plantilla anterior es:

11-29-2005	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	A	B	1	6	A	G	4
2	B	C	1	7	F	H	1
3	A	D	3	8	J	I	2
4	D	E	2	9	A	J	3
5	J	F	1				
	Total	Minimal	Connected	Distance	or Cost	=	18

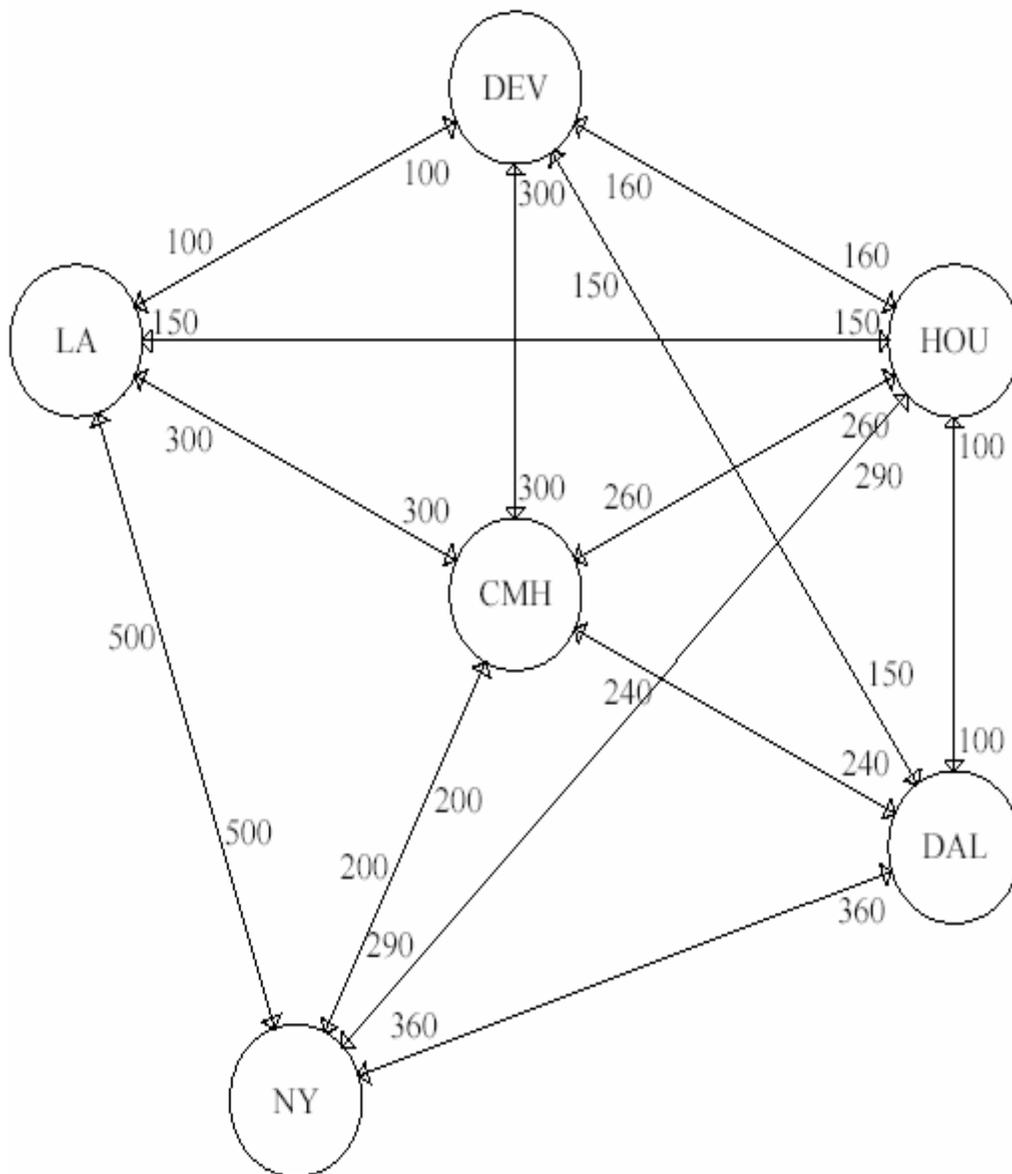
El modelo de la red del ejemplo es:



11.7 EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO

El problema del agente viajero, como los demás de redes, involucra un conjunto de nodos y arcos que conectan todos los nodos. El objetivo es encontrar la forma de realizar una gira completa que conecte todos los nodos visitando sólo una vez cada nodo y minimizar o maximizar la distancia de la gira total. Este modelo tiene múltiples aplicaciones en ingeniería.

La figura representa ciudades, en los nodos, y los valores en los arcos son las distancias que las separan. En la tabla se muestra la representación matricial del problema.

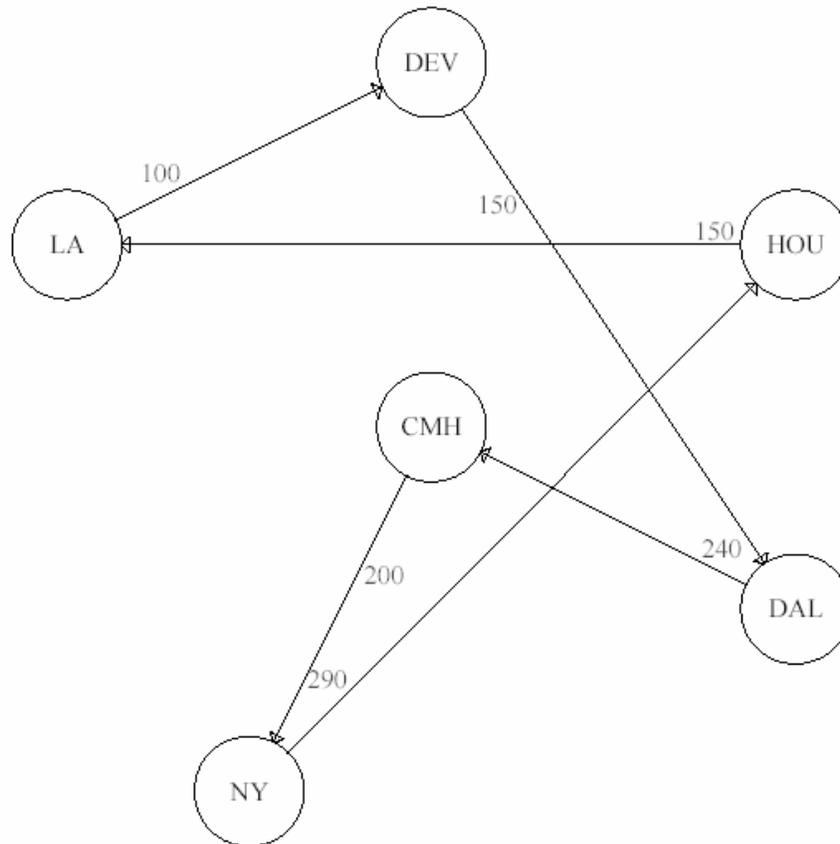


From \ To	LA	DEV	HOU	DAL	CMH	NY
LA		100	150		300	500
DEV	100		160	150	300	
HOU	150	160		100	260	290
DAL		150	100		240	360
CMH	300	300	260	240		200
NY	500		290	360	200	

La solución del problema es:

11-29-2005	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	LA	DEV	100	4	CMH	NY	200
2	DEV	DAL	150	5	NY	HOU	290
3	DAL	CMH	240	6	HOU	LA	150
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	1130
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

La solución gráfica al problema quedaría:



12. TEORÍA DE COLAS

Un primer paso consiste, como en todos los modelos, en la especificación del problema mediante la cual se establecerá si el modelo a tratar es un M/M/S (*Simple M/M System*) o un modelo general (*General Queuing System*).

The image shows a dialog box with the following fields and options:

- Problem Title:** Colas
- Time Unit:** hour
- Entry Format:**
 - Simple M/M System
 - General Queuing System
- Buttons:** OK, Cancel, Help

12.1 LOS CAMPOS REQUERIDOS

Vamos a suponer por ahora un modelo M/M/S. Lo que sigue es el ingreso de los datos de acuerdo con las especificaciones de la ventana.

Data Description	ENTRY
Number of servers	
Service rate (per server per hour)	
Customer arrival rate (per hour)	
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per hour	
Idle server cost per hour	
Customer waiting cost per hour	
Customer being served cost per hour	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

La ventana anterior consta de:

- **Numero de servidores (Number of Servers)**
- **Tasa de servicio (Service Rate)**
- **Tasa de llegada de clientes (Customer Arrival Rate)**
- **Capacidad de la cola (Queue Capacity)**
- **Tamaño de la población de clientes (Customer Population)**
- **Costo del servidor ocupado (Busy Server Cost per Hour)**
- **Costo del servidor desocupado (Idle Server Cost per Hour)**
- **Costo de espera de los clientes (Customer Waiting Cost per Hour)**
- **Costo de los clientes siendo servidos (Customer Being Served Cost per Hour)**
- **Costo de los clientes siendo despachados (Cost of Customer Being Balked)**
- **Costo de la unidad de capacidad de la cola (Unit Queue Capacity Cost)**

Un ejemplo del modelo es el siguiente (recuerde que las letras **M** indican un valor infinito o muy grande):

Data Description	ENTRY
Number of servers	2
Service rate (per server per hour)	15
Customer arrival rate (per hour)	20
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per hour	150
Idle server cost per hour	150
Customer waiting cost per hour	200
Customer being served cost per hour	200
Cost of customer being balked	150
Unit queue capacity cost	pesos

Una de las posibilidades de solución es calcular las tradicionales medidas de desempeño (medidas de efectividad), que nos proporciona el tablero siguiente:

12-01-2005 10:37:27	Performance Measure	Result
1	System: M/M/2	From Formula
2	Customer arrival rate (λ) per hour =	20,0000
3	Service rate per server (μ) per hour =	15,0000
4	Overall system effective arrival rate per hour =	20,0000
5	Overall system effective service rate per hour =	20,0000
6	Overall system utilization =	66,6667 %
7	Average number of customers in the system (L) =	2,4000
8	Average number of customers in the queue (L_q) =	1,0667
9	Average number of customers in the queue for a busy system (L_b) =	2,0000
10	Average time customer spends in the system (W) =	0,1200 hours
11	Average time customer spends in the queue (W_q) =	0,0533 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (W_b) =	0,1000 hours
13	The probability that all servers are idle (P_0) =	20,0000 %
14	The probability an arriving customer waits (P_w) or system is busy (P_b) =	53,3333 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	\$200,0000
17	Total cost of idle server per hour =	\$100,0000
18	Total cost of customer waiting per hour =	\$213,3334
19	Total cost of customer being served per hour =	\$266,6667
20	Total cost of customer being balked per hour =	\$0
21	Total queue space cost per hour =	\$0
22	Total system cost per hour =	\$780,0000

Otra opción con la que se cuenta es simular el sistema, la que inicialmente nos proporciona la siguiente ventana:

Random Seed

Use default random seed

Enter a seed number

Use system clock

Queue Discipline

FIFO

LIFO

Random

Random seed number:

Simulation time: hours

Start collection time: hours

Queue capacity:

Max. number of data collections:

Usando el sistema de reloj con 1000 horas de simulación del sistema de colas.

Data Description	ENTRY
Number of servers	2
Service rate (per server per hour)	15
	20
	M
	M
	150
	150
	200
	200
	150
	pesos

Simulating...

1000
hours

t0 Start collection

Press the "Q" key to quit the simulation if you wish.
The program will retain the result up to the moment.

Se obtienen los resultados que se muestran a continuación.

12-01-2005 10:56:19	Performance Measure	Result
1	System: M/M/2	From Simulation
2	Customer arrival rate (lambda) per hour =	20,0000
3	Service rate per server (mu) per hour =	15,0000
4	Overall system effective arrival rate per hour =	19,8687
5	Overall system effective service rate per hour =	19,8677
6	Overall system utilization =	66,3079 %
7	Average number of customers in the system (L) =	2,2767
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0,9505
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	1,8000
10	Average time customer spends in the system (W) =	0,1146 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0,0478 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0,0906 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	20,1912 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	52,8070 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	\$198,9230
17	Total cost of idle server per hour =	\$101,0770
18	Total cost of customer waiting per hour =	\$190,1147
19	Total cost of customer being served per hour =	\$265,2332
20	Total cost of customer being balked per hour =	\$0
21	Total queue space cost per hour =	\$0
22	Total system cost per hour =	\$755,3479
23	Simulation time in hour =	1000,0000
24	Starting data collection time in hour =	0
25	Number of observations collected =	19868
26	Maximum number of customers in the queue =	17
27	Total simulation CPU time in second =	3,3050

El resumen de probabilidades de encontrar n clientes en el sistema es:

12-01-2005 10:53:17 n	Estimated Probability of n Customers in the System	Cumulative Probability
0	0,2019	0,2019
1	0,2700	0,4719
2	0,1796	0,6516
3	0,1200	0,7716
4	0,0820	0,8535
5	0,0554	0,9089
6	0,0359	0,9448
7	0,0218	0,9666
8	0,0136	0,9802
9	0,0080	0,9882
10	0,0049	0,9931
11	0,0031	0,9962
12	0,0015	0,9977
13	0,0011	0,9988
14	0,0005	0,9993
15	0,0004	0,9996
16	0,0001	0,9997
17	0,0001	0,9998
18	0,0001	0,9999
19	0,0001	1,0000

Análisis de sensibilidad a cambios en número de servidores iniciando en 2 y terminando en 10.

12-01-2005	Effective Arrival	System Utilization	L	Lq	Lb	W	Wq	Wb	PO	Pw	Average Balking	Busy Server	Idle Server	Waiting Customer	Served Customer	Balking Customer	Queue Capacity	TOTAL COST
2	20,00	0,67	2,40	1,07	2,00	0,12	0,05	0,10	0,20	0,53	0	200,00	100,00	213,33	266,67	0	0	780,00
3	20,00	0,44	1,48	0,14	0,80	0,07	0,01	0,04	0,25	0,18	0	200,00	250,00	28,93	266,67	0	0	745,59
4	20,00	0,33	1,36	0,03	0,50	0,07	0,00	0,03	0,26	0,05	0	200,00	400,00	5,18	266,67	0	0	871,84
5	20,00	0,27	1,34	0,00	0,36	0,07	0,00	0,02	0,26	0,01	0	200,00	550,00	0,92	266,67	0	0	017,58
6	20,00	0,22	1,33	0,00	0,29	0,07	0,00	0,01	0,26	0,00	0	200,00	700,00	0,15	266,67	0	0	166,82
7	20,00	0,19	1,33	0,00	0,24	0,07	0,00	0,01	0,26	0,00	0	200,00	850,00	0,02	266,67	0	0	316,69
8	20,00	0,17	1,33	0,00	0,20	0,07	0,00	0,01	0,26	0,00	0	200,00	000,00	0,00	266,67	0	0	466,67
9	20,00	0,15	1,33	0,00	0,17	0,07	0,00	0,01	0,26	0,00	0	200,00	150,00	0,00	266,67	0	0	616,67
10	20,00	0,13	1,33	0,00	0,15	0,07	0,00	0,01	0,26	0,00	0	200,00	300,00	0,00	266,67	0	0	766,67

Un análisis parecido puede hacerse tomando como base la capacidad del sistema, que puede ir desde una capacidad específica de x clientes (capacidad limitada) hasta infinita.

13. SIMULACIÓN DE COLAS

La simulación manejada por **WINQSB** permite la participación de cuatro actores dentro del ambiente simulado:

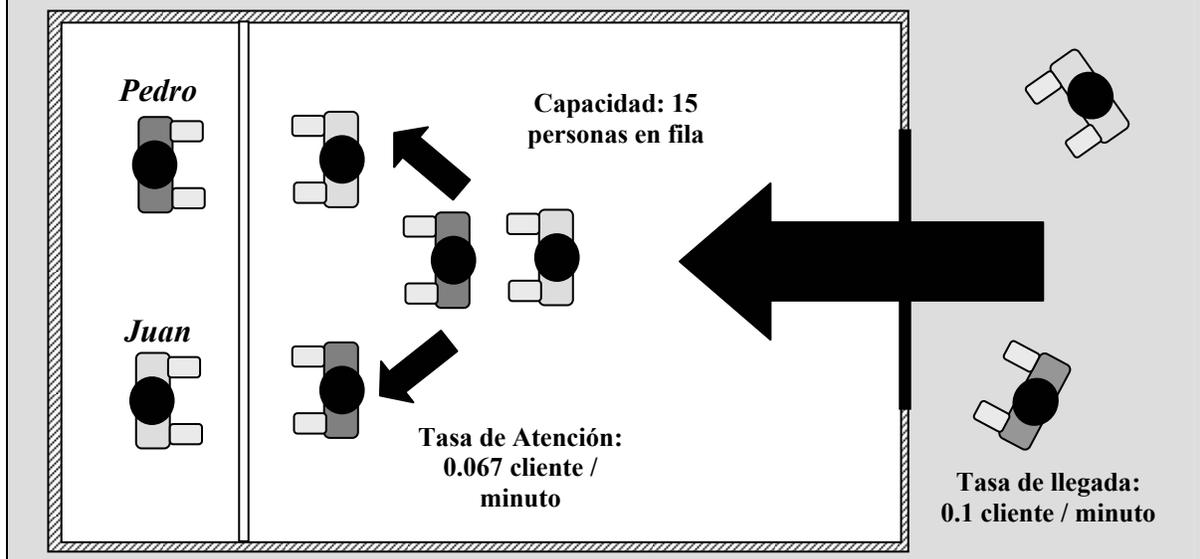
- **Tasa de llega de clientes (Customer Arriving Source).**
- **Colas (Queue).** Líneas de espera.
- **Servidores (Server):** Se especifica la cantidad de servidores en el sistema.
- **Colectores de Basura (Garbage Collector):** Indica la posibilidad que el cliente abandone el proceso sin terminarlo. Puede ser considerado como un defecto en el sistema.

Para que **WINQSB** comprenda esta designación la tasa de llegada de los consumidores, las colas, los servidores y los colectores de basura serán identificados con las letras **C, S, Q** y **G** respectivamente.

13.1 EJEMPLO DE SIMULACIÓN

Ejemplo 13-1:

Un banco posee dos cajeros (pedro y Juan) los cuales atienden a un cliente en un promedio de 15 minutos con una desviación de 0.01. Los clientes llegan a una tasa de uno cada 10 minutos y hacen una sola cola cuya capacidad es de máximo 15 clientes. Se considera que la llegada de los clientes se comporta de forma muy similar a una distribución tipo Poisson y los cajeros con una distribución normal. Simular con 100 minutos de tiempo el modelo anterior.



Podemos observar que existen tres actores principales:

- Dos cajeros, los cuales serán considerados como servidores.
- Los clientes, representados por una tasa de llegada.
- La cola o línea de espera, a donde los clientes llegan para ser atendidos.

Hay que considerar que los bancos emplean un sistema de espera de tipo **PEPS (FIFO – First In First Out)**, es decir, los primeros clientes en entrar serán los primeros en ser atendidos.

Para ingresar esta información registramos la cantidad de actores participantes en la ventana **Especificaciones del Problema (Problem Specification)**.

To define a queuing system, four system components are considered: customer arriving populations such as different type of materials or different age groups, servers such as machines or clerks, queues for buffer storages or waiting lines, or garbage collectors for defectives.

Problem Title:

Number of System Components:

Time Unit:

Data Entry Format

Spreadsheet

Graphic Model

OK Cancel Help

Es recomendable darle nombres a cada uno de los actores para evitar confusiones futuras.

Number	Component Name	Type (C/S/Q/G)
1	Cajero 1	S
2	Cajero 2	S
3	Cientes	C
4	Cola	Q

OK Cancel Help

Los cajeros se denotan con la **S** (**Server**), los clientes con la **C** (**Customer**) y la cola con **Q** (**Queue**).

Al pulsar **OK**, aparecerá una plantilla donde ingresaremos la información primaria del problema.

Component Name	Type (C/S/Q/G)	Immediate Follower (Name / Prob / TransferTime, separated by ',')	Input Rule	Output Rule	Queue Discipline	Queue Capacity	Attribute Value
Cajero 1	S						
Cajero 2	S						
Cientes	C						
Cola	Q						

Comencemos llenando los datos para los cajeros. Para programarlos es necesario introducir la información de que los cajeros dependen de los clientes. Para que **WINQSB** entienda esto en la columna **Distribución de tiempos de servicio** (**Service Time Distribution**) se ingresa la siguiente notación:

Cientes/Normal/0.06667/0.01

La notación completa es:

Nombre predecesor/Distribución/Parámetro 1/Parámetro 2/Parámetro 3

La primera corresponde a la conexión con los clientes, la segunda a la distribución de probabilidad de los servidores y los siguientes datos (parámetros) son utilizados de acuerdo a la información requerida por la distribución (por ejemplo, la distribución Normal requiere de dos parámetros: la media y la desviación).

La columna **Distribución de los tamaños de los lotes (Batch Size Distribution)**, indica si los clientes llegan de forma agrupada o individual. En nuestro caso omitiremos llenar esta columna indicando que los clientes llegan de a uno al banco.

Para programar la cola, debemos indicar que los dos cajeros se alimentarán de ella colocando los nombres en las casillas correspondientes a la columna **Sucesor inmediato (Immediate Follower)**.

Component Name	Type (C/S/Q/G)	Immediate Follower (Name / Prob / TransferTime, separated by ',')
Cajero 1	S	
Cajero 2	S	
Cientes	C	Cola
Cola	Q	Cajero 1,Cajero 2

En **Disciplina de la cola (Queue Discipline)** marcamos **FIFO** y en **Capacidad de la cola (Queue Capacity)** su capacidad (máximo 15 personas en espera).

13.2 ANALIZANDO LOS RESULTADOS

Para resolver el problema pulsamos sobre **Realizar simulación (Perform Simulation)** en el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)**.



En la nueva ventana podremos indicar la cantidad de minutos a simular y que tipo de base (**seed**) para la generación de números aleatorios.

Based on the specified random seed, simulation time, and/or maximum number of observations, the program simulates the queuing system according to the data entry specification. Press "Simulate" to start the simulation, and press "Cancel" to quit the simulation. Press "Show Analysis" for the result.

Random Seed

Use default random seed
 Enter a seed number
 Use system clock

Random number seed: 27437
 Simulation time in Minutos: 100
 Data collection start time at Minutos:
 Maximum number of data collections (observations): M

% of simulation done:
 Current time:
 Number of observations collected:

Pulsemos en el botón **SIMULATE**. **WINQSB** tomará el tiempo y mostrará las observaciones recolectadas durante ese tiempo:

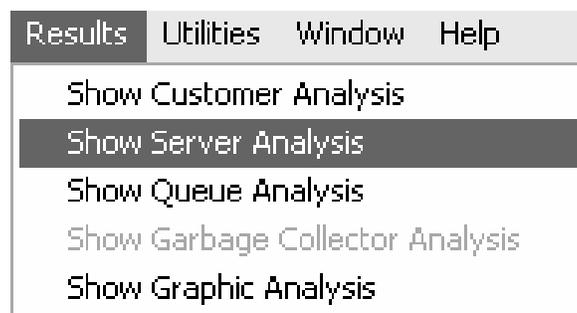
% of simulation done:	
Current time:	100 Minutos
Number of observations collected:	871

El botón **SHOW ANALYSIS** nos mostrará los resultados de la simulación.

12-02-2005	Result	Cientes
1	Total Number of Arrival	1123
2	Total Number of Balking	260
3	Average Number in the System (L)	2,2144
4	Maximum Number in the System	17
5	Current Number in the System	1
6	Number Finished	871
7	Average Process Time	0,0663
8	Std. Dev. of Process Time	0,0071
9	Average Waiting Time (Wq)	0,1879
10	Std. Dev. of Waiting Time	0,1560
11	Average Transfer Time	0
12	Std. Dev. of Transfer Time	0
13	Average Flow Time (W)	0,2542
14	Std. Dev. of Flow Time	0,1562
15	Maximum Flow Time	0,6007
	Data Collection: 0 to	100 Minutoss
	CPU Seconds =	1,6250

Se puede observar que en los 100 minutos llegaron 1123 clientes (**Total Number of Arrival**). El tiempo de espera promedio fue de 0.1879 (**Average Waiting Time**). El número máximo de personas en el sistema fue de 17: 15 en espera y 2 siendo entendidos (**Maximun Number in the System**). En promedio permanecieron 2,2144 personas en el sistema (**Average Number in the System**).

Un análisis desde el punto de vista de los cajeros nos muestra más información de la simulación:



12-02-2005	Server Name	Server Utilization	Average Process Time	Std. Dev. Process Time	Maximum Process Time	Blocked Percentage	# Customers Processed
1	Cajero 1	28,75%	0,0667	0	0,0667	0,00%	431
2	Cajero 2	29,03%	0,0660	0,0100	0,1023	0,00%	440
	Overall	28,89%	0,0663	0,0071	0,1023	0,00%	871
Data	Collection:	0 to	100	Minutoss	CPU	Seconds =	1,6250

Los cajeros tuvieron un **promedio de utilización (Server Utilization)** del 28,89%. El cajero 1 atendió 431 personas y el cajero 2 a 440 para un total de 871 (**Customer Processed**). De los 1123 solo finalizaron el proceso 871.

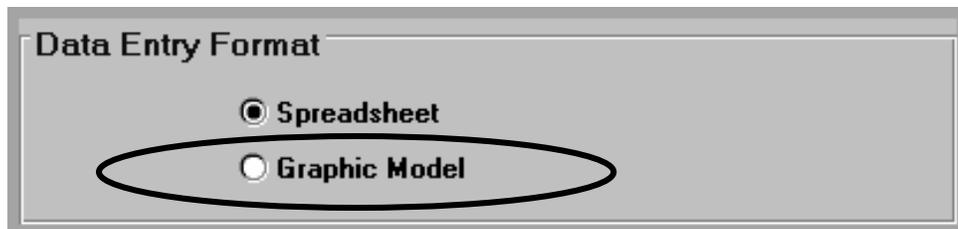
Desde el punto de vista de la cola tenemos:

12-02-2005	Queue Name	Average Q. Length (Lq)	Current Q. Length	Maximum Q. Length	Average Waiting (Wq)	Std. Dev. of Wq	Maximum of Wq
1	Cola	1,6366	0	15	0,1881	0,1560	0,5336
Data	Collection:	0 to	100	Minutos	CPU	Seconds =	1,6250

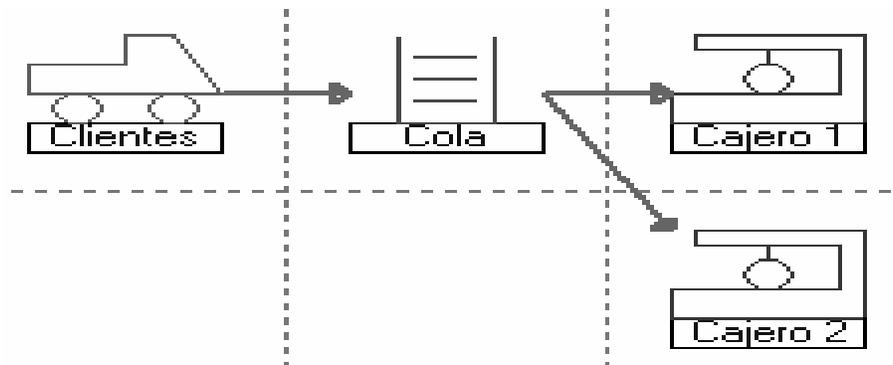
El promedio de personas en la cola fue de 1.6366 (**Average Q. Length**). El máximo de personas en la cola es de 15 (**Maximum Q. Length**).

13.3 SIMULACIÓN EN MODO GRÁFICO

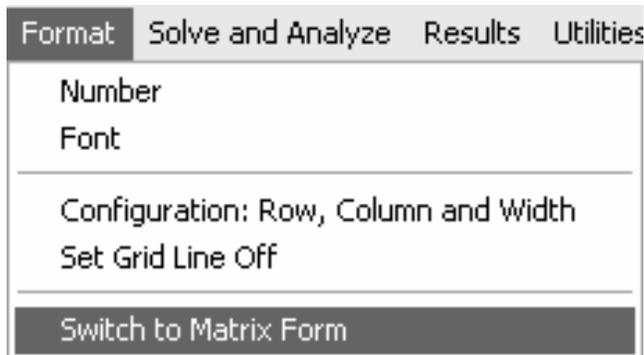
Podemos ingresar el problema mediante el modo gráfico que provee **WINQSB** en la ventana inicial:



El problema quedaría:



Para intercambiar los modos pulsamos en **Pasar a formato matriz (Switch to Matrix Form)** en el menú **Formato (Format)**



14. PROCESO DE MARKOV

La opción **Nuevo Problema (New Problem)** genera una plantilla llamada **Especificaciones del problema PMK (MKP Problem Specification)** en la cual, se introducirán las características de nuestro problema:

A screenshot of a dialog box titled 'MKP Problem Specification'. It contains two input fields: 'Problem Title' and 'Number of States:'. Below the input fields are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Para comenzar a armar un problema de este tipo es necesario ingresar los campos:

- **Título del problema (Problem Title)**
- **Número de estados (Number of States)**

14.1 UN POCO DE TEORÍA

Un sistema existe en estados diferentes (o condiciones). A través del tiempo, el sistema se moverá de un estado a otro estado. El proceso de Markov normalmente se usa para caracterizar estos movimientos o transiciones. Para describir y analizar un proceso de Markov, definimos las terminologías siguientes:

- **Estado:** una condición particular del sistema, $i = 1, 2, \dots, n$.

- **Probabilidad de estados $s(i)$** : la probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado i
- **Probabilidad de transición $p(i,j)$** : la probabilidad de que el sistema se mueva del estado i al estado j
- **$S(t)$** : conjunto de todos $s(i)$ en momento t , $Ss(i) = 1$
- **P** : matriz de transición $p(i,j)$, donde $i, j = 1, 2, \dots, n$

Dado el sistema en el momento t con las probabilidades de estado $S(t)$, entonces en el momento $t+1$, el sistema se expresará por

$$S(T+1) = S(T) P$$

Y en el $t+2$, el sistema se expresará por

$$S(T+2) = S(T) P P = S(T) P^2$$

Y en $t+3$, el sistema se expresará por

$$S(T+3) = S(T) P P P = S(T) P^3$$

Y así sucesivamente.

Si las probabilidades de estado no cambian de periodo a periodo, el sistema se encuentra en estado estable. No todo sistema tiene un estado estable. Si el sistema alcanza el estado estable, las probabilidades de estado estable, digamos S , tendrán las propiedades siguientes:

$$S = S P \quad (1)$$

La ecuación (1) representa un conjunto de n ecuaciones simultáneas con n variables de probabilidad de estado. Para obtener las probabilidades de estado estable, reemplace cualquiera de las ecuaciones en (1) con $Ss(i) = 1$ y resuelva las n nuevas ecuaciones simultáneas.

14.2 ANALIZANDO UN EJEMPLO

Ingreseemos un sistema representado por 4 estados:

Problem Title

Number of States:

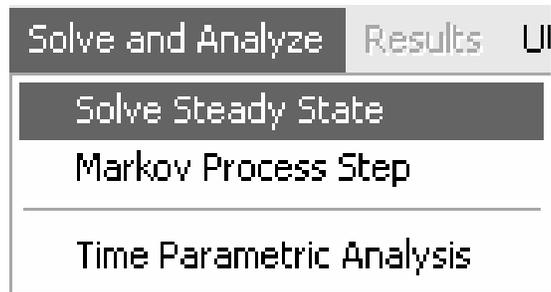
La plantilla vacía representa una matriz con las relaciones entre los estados (**State**), sus probabilidades iniciales (**Initial Prob.**) y el costo de cada uno de ellos (**State Cost**).

From \ To	State1	State2	State3	State4
State1				
State2				
State3				
State4				
Initial Prob.				
State Cost				

Veamos un ejemplo:

From \ To	State1	State2	State3	State4
State1	0.2	0.3	0.1	0.4
State2	0.25	0.35	0.4	0
State3	0.1	0.2	0.2	0.5
State4	0.5	0.3	0.1	0.1
Initial Prob.	0.2	0.1	0.35	0.35
State Cost	2000	1500	1000	900

En el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** tenemos las opciones de **Resolver los estados completos (Solve Steady State)** o mostrar el **Proceso de Markov por pasos (Markov Process Step)**.



La primera opción da como resultado la siguiente tabla:

12-02-2005	State Name	State Probability	Recurrence Time
1	State1	0,2638	3,7908
2	State2	0,2938	3,4038
3	State3	0,2090	4,7838
4	State4	0,2334	4,2849
	Expected	Cost/Return =	1387,3530

La matriz final indica las probabilidades de estado estable, lo cual significa que en el largo plazo el sistema estará el 26% del tiempo en el estado uno, 29% estará en el estado dos, 21% estará en estado tres y 23% en estado cuatro, lo cual hace que el costo medio en que incurre el proceso es de 1387,3530.

14.3 RESOLVIENDO EL EJERCICIO PASO A PASO

Regresando a la matriz inicial y tomando la segunda opción del menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** tenemos una ventana que nos permite controlar las iteraciones del proceso:

Specify the initial state probabilities and enter the number of time periods from now (i.e., initial), then press the OK button. The resulted state probabilities will be shown in the right column. You may press the Steady State button to obtain the steady state result.

State	Initial State Probability	Resulted State Probability
State1	0,200000	
State2	0,100000	
State3	0,350000	
State4	0,350000	

The number of time periods from initial:

Expected cost or return:

Podemos observar el **Número de periodos procesados** (*The Number of Time Periods from Initial*). Pulsemos en el botón **NEXT PERIOD** y luego en el botón **OK**:

State	Initial State Probability	Resulted State Probability
State1	0,200000	0,275000
State2	0,100000	0,270000
State3	0,350000	0,165000
State4	0,350000	0,290000

Para el periodo dos (recuerde pulsar en **NEXT PERIOD** seguido del botón **OK**):

221500		
State	Initial State Probability	Resulted State Probability
State1	0,200000	0,284000
State2	0,100000	0,297000
State3	0,350000	0,197500
State4	0,350000	0,221500

En la columna *Probabilidad del estado resultante (Resulted State Probability)* se muestran las probabilidades para los periodos. Pulsando es el botón **STEADY STATE** alcanzamos la matriz estable:

Specify the initial state probabilities and enter the number of time periods from now (i.e., initial), then press the OK button. The resulted state probabilities will be shown in the right column. You may press the Steady State button to obtain the steady state result.

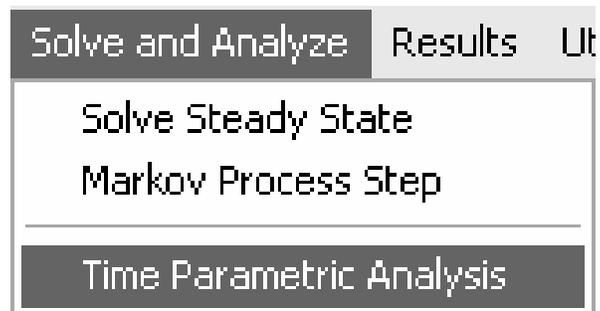
0,233377		
State	Initial State Probability	Resulted State Probability
State1	0,200000	0,263798
State2	0,100000	0,293785
State3	0,350000	0,209040
State4	0,350000	0,233377

The number of time periods from initial: Steady state

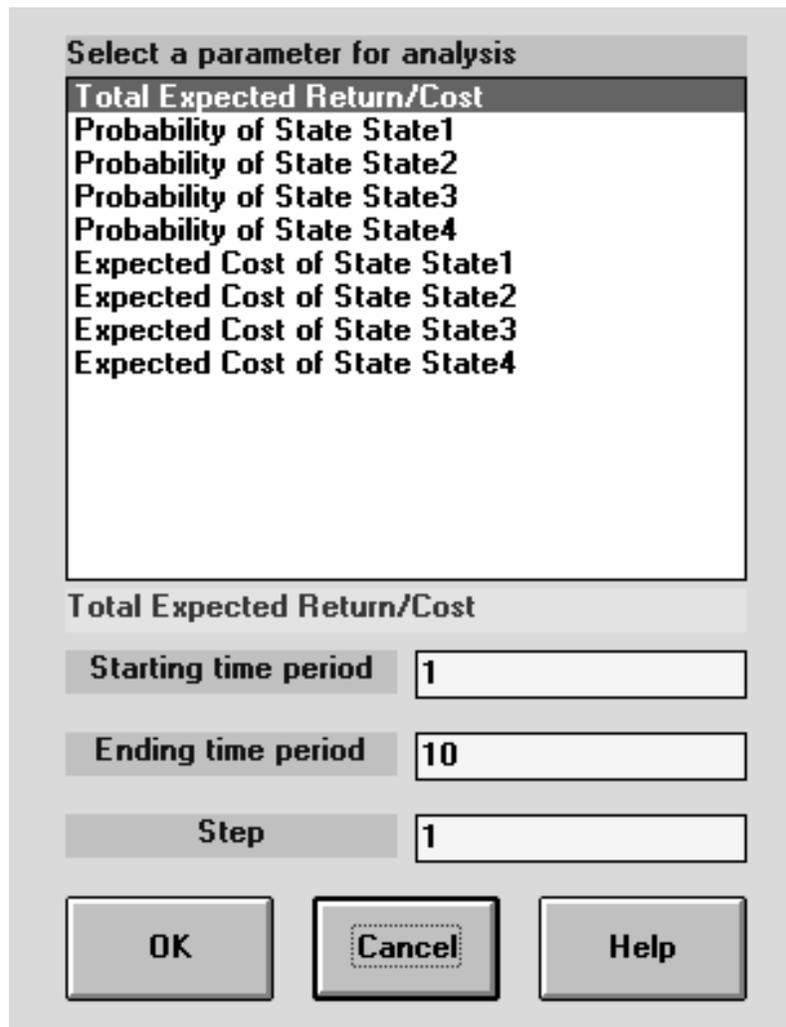
Expected cost or return: 1.387,353000

OK	Next Period	Steady State
Cancel	Print	Help

Para ver un Análisis paramétrico en el tiempo de los costos y las probabilidades de los estados seleccionamos la opción



La nueva ventana contiene:



- **Retorno/Costo total esperado (Total Expected Return/Cost)**
- **Probabilidad de cada estado (Probability of State State#)**
- **Costo esperado de cada estado (Expected Cost of State State#)**

Pulsemos el botón **OK** para mostrar el **Retorno/Costo total esperado (Total Expected Return/Cost)** para 10 periodos (1 por periodo – Step = 1).

12-03-2005	Time Period	Total Expected Return/Cost
1	1	1381
2	2	1410,3500
3	3	1385,6500
4	4	1387,9060
5	5	1387,0120
6	6	1387,4280
7	7	1387,3330
8	8	1387,3610
9	9	1387,3510
10	10	1387,3540

Se puede observar como el costo comienza a estabilizarse para los últimos periodos (recuerde que el costo final es de 1987,3530).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLO PÉREZ, Carlos. Manual de producción aplicado a las pequeñas y medianas empresas. Editorial ECOE EDICIONES. Colombia, año 1997.

BELLO PÉREZ, Carlos. Pronósticos Empresariales: Como Proyectar su Empresa al Futuro. ECOE EDICIONES. Colombia, año 2000.

CHASE, Richard B. Administración de Producción y Operaciones. Editorial Mc Graw Hill, Octava Edición. Colombia, año 2004.

GILL, James O. Análisis financiero: Técnicas para la toma de decisiones. Grupo Editorial Iberoamericano. México, año 1992.

PANICO, Joseph A. "Teoría de las Colas". Editorial PROLAM S. R. L. Argentina, año 1973.

PINILLA, Vicente. Simulación: Introducción Teórica y Aplicaciones en Administración. Ediciones Uniandes. Colombia, año 2004

RIOS INSUA, David. Simulación: Métodos y aplicaciones. Editorial Alfa y Omega. Colombia, año 2000.

GAITHER, Norman. Administración de Producción de Operaciones. Thomson Editores, Octava Edición. México.

WALPOLE, Ronald E. "Probabilidad y Estadística". Mc Graw Hill, cuarta Edición. México, año 1992.

ANÁLISIS CUANTITATIVO

CON **WINQSB**

El libro de **MÉTODOS CUANTITATIVOS CON WINQSB** le permite introducirse en el apasionante mundo de la solución de problema complejos mediante el uso de software para computadoras.

WINQSB es un programa versátil que permite la solución de una gran cantidad de problemas desde niveles administrativos, producción, recurso humano y dirección de proyectos.

Debido a su facilidad y potencia de manejo, este libro se convierte en una herramienta indispensable para el estudiante de pregrado o postgrado que ingresa que participan en materias como la investigación de operaciones, los métodos de trabajo, planeación de la producción, evaluación de proyectos, control de calidad, simulación, estadística, entre otras.

Los módulos tratados en este libro son:

- Programación Lineal y Entera
- Programación por Metas
- PERT – CPM
- Planeación Agregada
- Pronósticos
- Teoría y Sistemas de Inventario
- Análisis de Decisiones
- Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP)
- Programación Dinámica
- Modelos de Redes
- Teoría y simulación de colas
- Cadenas de Markov

