

MIGUEL ANGEL RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ

LA GESTIÓN PRESUPUESTARIA
ANTE INCERTIDUMBRE
Y NO LINEALIDAD: APLICACIÓN
DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS
Y LA TEORÍA DE LOS
SUBCONJUNTOS BORROSOS



Universidad de León
Secretariado de Publicaciones

Reservados todos los derechos.
Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del Servicio de Publicaciones de la Universidad de León.

ISBN: 84-7719-810-1
Depósito Legal: LE.350-2000

Imprime: CELARAYN, s.l. (impresión electrónica)
Ordoño II, 31 • 24001 león

© Miguel Angel Rodríguez Fernández
© Servicio de Publicaciones
Universidad de León

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por haber fomentado mi educación independientemente de las circunstancias familiares.

A Enrique, por su apoyo incondicional y ser la guía de mis titubeantes pasos universitarios.

A Paco, Miguel, María, Cristina, Raquel y todos los que han colaborado de una manera directa o indirecta en que esta Memoria de Tesis Doctoral sea una realidad.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	15
I. PLANTEAMIENTOS TRADICIONALES DEL PRESUPUESTO EN LA EMPRESA	21
I. 1. Introducción.....	21
I.2. Planteamientos tradicionales de la presupuestación en la empresa.....	21
I.3. Propuesta de elaboración del presupuesto maestro	28
I.3. 1. Ventajas de los presupuestos.....	29
I.3.2. Fases del proceso presupuestario.....	30
I.3.3. La responsabilidad contable	31
I.3.4. Elección de un período presupuestario.....	31
I.3.5. El presupuesto maestro como red de interrelaciones	32
I.4. La previsión	33
I.4. 1. Previsión de ventas.....	33
I.4.2. Metodología de la previsión.....	34
I.4.3. Métodos de previsión	35
I.4.3.1. Métodos cualitativos.....	36
I.4.3.2. Métodos causales.....	36
I.4.3.3. Métodos cuantitativos.....	37
II. TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE: SUBCONJUNTOS BORROSOS...	39
II.1. Introducción	39
II.2. La incertidumbre y sus tipos	39
II.2.1. Incertidumbre probabilística	40
II.2.2. Incertidumbre lingüística	40
II.2.3. Incertidumbre en la gestión.....	41
II.3. Tratamiento de la incertidumbre	42
II.3.1. Subconjuntos Borrosos	43
II.3.1.1. Conceptos básicos de los subconjuntos borrosos.....	43
II.3.1.2. Operaciones con los subconjuntos borrosos.....	48
II.3.2. Números Borrosos	54
II. 3.2.1. Números Borrosos Triangulares y Trapezoidales	55
II.3.2.2. Funciones de Pertenencia.....	59
II.3.2.3. Operaciones con núm. borrosos triangulares y trapezoidales	61
II.3.2.4. Distancia entre números borrosos	63

II.3.3. Etiquetas lingüísticas	65
II.3.4. Aplicaciones de los subconjuntos borrosos en la gestión de empresas	67

III. METODOS MODERNOS DE OPTIMIZACIÓN: LOS ALGORITMOS

GENÉTICOS	71
III.1. Introducción	71
III.2. Evolución natural y evolución artificial	73
III.3. Algoritmos genéticos.....	75
III.3.1. Estructura de un Algoritmo Genético	76
III.3.1.1. Representación de las soluciones	77
III.3.1.2. Cálculo de la adecuación.....	78
III.3.1.3. Proceso de selección.....	78
III.3.1.4. Operador de cruce	79
III.3.1.5. Operador de mutación	80
III.3.1.6. Condiciones de convergencia o parada	81
III.3.2. Teorema Fundamental de los Algoritmos Genéticos	83
III.3.2.1. Los esquemas en la fase de selección.....	85
III.3.2.2. Los esquemas en la fase de cruce.....	85
III.3.2.3. Los esquemas en la fase de mutación.....	87
III.3.3. Modificaciones en el funcionamiento de los Algoritmos Genéticos.....	88
III.3.3.1. Variaciones en la representación de las soluciones.....	88
III.3.3.2. Variaciones en el proceso de selección	89
III.3.3.3. Variaciones en el operador de cruce.....	93
III.3.3.4. Interpolación de los valores de los parámetros	95
III.3.3.5. Algoritmos GenéticosAdaptativos	95
III.3.3.6. Otros Operadores.....	96
III.4. Aplicaciones de los Algoritmos Genéticos	97

IV. PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN

IV.1 Introducción	99
IV.2. Fundamentos del presupuesto de producción	100
IV.2.1. Previsiones de la demanda	100
IV.2.2. Niveles de inventario	101
IV.2.3. Capacidad de producción.....	101
IV.2.4. Costes de producción	101
IV.2.5. Restricciones	102
IV.3. Métodos tradicionales de elaboración de un presupuesto de producción	102
IV.3.1. Método gráfico.....	103
IV.3.2. Método del transporte	104
IV.4. Etapas en la elaboración de un presupuesto de producción	104
IV.4.1. Recolección de datos: demanda y costes	105
IV.4.1.1. Costesfijos.....	106
IV.4.1.2. Costes variables.....	109
IV.4.2. Conversión de las previsiones a una unidad de medida común.....	112
IV.4.3. Análisis y síntesis de la información disponible.....	112
IV.4.4. Definición de las estrategias de producción.....	113
IV.4.4.1. Problemática de la producción múltiple.....	113
IV.4.5. Elaboración de Presupuestos de Producción alternativos	114
IV.4.6. Elección de un Presupuesto de Producción	114

IV.5. Elaboración del presupuesto de producción en condiciones de incertidumbre y no linealidad.....	116
IV.5.1. Planteamiento extensivo del problema.....	116
IV.5.1.1. Estimación del comportamiento de la demanda con subconjuntos borrosos.....	116
IV.5.1.2. Estimación del comportamiento de los diferentes costes con subconjuntos borrosos.....	117
IV.5.2. Selección de la alternativa óptima de producción con Algoritmos Genéticos.....	118
IV.5.2.1. Evaluación borrosa de las alternativas.....	118
IV.5.2.2. Un Algoritmo Genético para la selección de la alternativa óptima de producción.....	119
IV.6. Ejemplo de experimentación práctica.....	120
IV.6.1 Planteamiento del Problema	121
IV.6.2. Aplicación del Algoritmo Genético Borroso para la elaboración de un Presupuesto de Producción	123

V. PRESUPUESTO DE MATERIALES.....	125
V.1. Introducción	125
V.2. El sistema de suministro-producción-distribución	125
V.3. La gestión presupuestaria de los materiales.....	128
V.4. Fundamentos de los inventarios.....	128
V.4.1. Funciones de los inventarios.....	129
V.4.2. Previsión de las materias primas.....	130
V.4.2.1. Establecimiento de las previsiones	130
V.4.2.2. Interés de las previsiones	132
V.4.3. Objetivos de la gestión de inventarios	133
V.4.3.1. Servicio a los clientes.....	133
V.4.3.2. Eficiencia en las operaciones	134
V.4.4. Costes de los inventarios.....	135
V.4.4.1. Coste de compra de los artículos.....	136
V.4.4.2. Costes de posesión o de mantenimiento en almacén	136
V.4.4.3. Costes de lanzamiento o emisión de una orden de pedido.....	137
V.4.4.4. Costes de ruptura.....	138
V.4.4.5. Costes asociados con la capacidad.....	138
V.5. Gestión presupuestaria de inventarios por el modelo ABC	138
V.5.1. Pasos para la realización de un análisis ABC	139
V.5.2. Gestión Presupuestaria de los Materiales basada en la clasificación ABC	140
V.6. Presupuesto de la cantidad a pedir	141
V.6.1 Reglas de decisión para el tamaño de los pedidos	142
V.6.2. Modelo de la Cantidad Económica de Pedido	142
V.6.2.1. Modelo Matemático	143
V.6.2.2. Problemática de los descuentos.....	145
V.6.2.3. Problemática del tiempo de entrega.....	147
V.6.2.4. Problemática de la entrega	148
V.6.2.5. Problemática de la demanda probabilística.....	150
V.6.2.6. Cantidad a pedir para períodos.....	151
V.7. Elaboración del presupuesto de materiales en condiciones de incertidumbre y no linealidad	152
V.7.1. Planteamiento del problema.....	152

V.7.2. Un Algoritmo Genético para el cálculo de la Cantidad Económica de Pedido en condiciones de incertidumbre y no linealidad	154
V.7.2.1. Generación de las soluciones.....	154
V.7.2.2. Cálculo de la adecuación de las soluciones	155
V.7.2.3. Proceso de Selección	156
V.7.2.4. Operador de cruce.....	156
V.7.2.5. Operador de mutación	156
V.7.2.6. Control de factibilidad de las soluciones.....	156
V.7.2.7. Elitismo	156
V.8. Ejemplo de experimentación práctica	156
V.8.1. Planteamiento del Problema.....	157
V.8.2. Resolución utilizando el Algoritmo Genético desarrollado	158
V.8.2.1. Cálculo de la adecuación	159
V.8.2.2. Ejecución del modelo	160

VI. PRESUPUESTO DE PERSONAL	161
VI.1. Introducción	161
VI.2. Elaboración de un presupuesto de personal: selección del personal.....	162
VI.2.1. Fases del proceso de selección.....	163
VI.2.1.1. Establecimiento del perfil del puesto de trabajo	163
VI.2.1.2. Evaluación del candidato	166
VI.2.1.3. Adaptación del candidato al perfil	168
VI.3. Selección del personal para puestos de trabajo diferentes y relacionados	168
VI.3.1. Planteamiento del problema.....	169
VI.4. Elaboración del presupuesto de personal mediante aritmética borrosa y algoritmos genéticos	173
VI.4.1. Valoración borrosa de las soluciones.....	173
VI.4.2. Un Algoritmo Genético para la Selección Borrosa del Personal	175
VI.4.2.1. Función de adecuación.....	176
VI.4.2.2. Proceso de selección	176
VI.4.2.3. Operador de cruce	176
VI.4.2.4. Operador de mutación.....	178
VI.4.2.5. Condición de parada en la búsqueda de la mejor solución	179
VI.5. Elaboración del presupuesto de personal mediante razonamiento lingüístico y algoritmos genéticos	179
VI.5.1. Operadores Lingüísticos	180
VI.5.1.1. Información lingüística no ponderada.....	180
VI.5.1.2. Información lingüística ponderada.....	182
VI.5.2. Valoración lingüística de las soluciones	184
VI.5.3. Un Algoritmo Genético para la Selección Lingüística del Personal.....	186
VI.5.3.1. Función de adecuación.....	186
VI.5.3.2. Proceso de selección	186
VI.5.3.3. Operador de cruce	187
VI.5.3.4. Operador de mutación.....	188
VI.5.3.5. Criterio de parada en la búsqueda de la mejor solución.....	188
VI.6. Ejemplo de experimentación práctica.....	188
VI.6.1. Planteamiento del Problema	189
VI.6.2. Aplicación del Algoritmo Genético Borroso	193
VI.6.3. Aplicación del Algoritmo Genético Lingüístico Bi-objetivo.....	194
VI.6.3.1. Aplicación del modelo de decisión lingüística.....	194
VI.6.3.2. Aplicación del Algoritmo Genético Bi-objetivo	196

VII. PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN	199
VII.1. Introducción	199
VII.2. Instrumentos de la promoción	199
VII.2.1. Publicidad.....	200
VII.2.2. Venta personal.....	201
VII.2.3. Relaciones públicas.....	201
VII.2.4. Promoción de ventas	202
VII.3. Fundamentos de la promoción	203
VII.3. 1. El proceso de comunicación de la promoción	203
VII.3.1.1. Emisor	204
VII.3.1.2. Mensaje	204
VII.3.1.3. Medio de comunicación	205
VII.3.1.4. Receptor.....	205
VII.3.1.5. Respuesta.....	205
VII.3.2. Elección de los instrumentos de promoción.....	206
VII.3.2.1. Recursos disponibles	206
VII.3.2.2. Tipo de producto vendido.....	206
VII.3.2.3. Características del mercado.....	207
VII.3.2.4. Tipo de estrategia	207
VII.3.2.5. Etapa del proceso de compra.....	207
VII.3.2.6. Etapa de ciclo de vida del producto.....	208
VII.3.3. Los objetivos de la promoción.....	208
VII.4. Establecimiento del presupuesto de promoción	210
VII.4.1. Establecimiento del Presupuesto de la Publicidad.....	213
VII.4.2. Establecimiento del Presupuesto de Relaciones Públicas	216
VII.4.3. Establecimiento del Presupuesto de Venta Personal.....	216
VII.4.4. Establecimiento del Presupuesto de Promoción de Ventas.....	220
VII.5. Elaboración de un presupuesto de promoción en condiciones de incertidumbre y no linealidad.....	221
VII.5.1. Etapas en el establecimiento del Presupuesto de Promoción Lingüístico	221
VII.5.2. Modelo de Decisión	224
VII.5.3. Un Algoritmo Genético para la Selección del Presupuesto de Promoción.....	225
VII.5.3.1. Función de adecuación	226
VII.5.3.2. Proceso de selección.....	226
VII.5.3.3. Operador de cruce	227
VII.5.3.4. Operador de mutación	227
VII.5.3.5. Criterio de parada en la búsqueda	228
VII.6. Ejemplo de experimentación práctica	229
VII.6. 1. Planteamiento del Problema.....	229
VII.6.2. Modelo de Decisión	231
VII.6.3. Aplicación del Algoritmo Genético Lingüístico	232
VIII. PRESUPUESTO DE DISTRIBUCIÓN	235
VIII.1. Introducción	235
VIII.2. Fundamentos de la distribución	235
VIII.2.1. Objetivos de la distribución	237
VIII.2.2. El Presupuesto de Distribución.....	238
VIII.3. Información necesaria y limitaciones del problema	240
VIII.3.1. Análisis de la demanda	240

VIII.3.1.1. Distribución de la demanda global entre los diferentes artículos	240
VIII.3.1.2. Variaciones en el tiempo	241
VIII.3.1.3. Tamaño y composición de los pedidos.....	242
VIII.3.1.4. Distribución geográfica de la demanda	242
VIII.3.2. La producción.....	243
VIII.3.2.1. Situación geográfica de las fábricas	243
VIII.3.2.2. Gamas de productos fabricados y presupuestos de producción.....	244
VIII.3.2.3. Presupuesto de producción de las fábricas	244
VIII.3.3. Los costes de distribución	244
VIII.3.3.1. Costes de almacenamiento	244
VIII.3.3.2. Costes de transporte.....	245
VIII.3.4. Calidad del servicio a los clientes	246
VIII.4. Variables determinantes de la distribución	247
VIII.4.1. Depósitos y centros de irradiación	247
VIII.4.1.1. Número de niveles de irradiación.....	247
VIII.4.1.2. Número y localización de los depósitos	248
VIII.4.2. Volumen de los stocks.....	249
VIII.4.3. Flujos de mercancías	249
VIII.4.4. Formas de transporte y almacenamiento	250
VIII.4.5. Organización administrativa	250
VIII.5. Gestión presupuestaria de la distribución en condiciones de incertidumbre y no linealidad.....	250
VIII.5.1. Afectación de las disponibilidades en función de la demanda.....	251
VIII.5.1.1. Extensiones del problema de afectación de disponibilidades....	253
VIII.5.2. Organización de los circuitos de entrega.....	254
VIII.5.2.1. Principios generales de los circuitos.....	254
VIII.6. Elaboración de un presupuesto de distribución en condiciones de incertidumbre y no linealidad	256
VIII.6.1. Planteamiento del problema.....	257
VIII.6.2. Elección del Presupuesto de Distribución mediante un Algoritmo Genético	259
VIII.6.2.1. Generación de las soluciones.....	259
VIII.6.2.2. Evaluación de las soluciones	259
VIII.6.2.3. Proceso de selección.....	260
VIII.6.2.4. Operador de cruce.....	260
VIII.6.2.5. Operador de mutación	262
VIII.6.2.6. Condición de parada en la búsqueda de la mejor solución.....	263
VIII.7. Ejemplo de experimentación práctica.....	264
VIII.7.1. Planteamiento del Problema.....	264
VIII.7.2. Aplicación del Algoritmo Genético Borroso para la elaboración de un Presupuesto de Distribución	265

IX. PRESUPUESTO DE TESORERÍA	269
IX.1. Introducción	269
IX.2. Medición y previsión del flujo de tesorería	270
IX.2.1. Marco del análisis	270
IX.2.1.1. Método de análisis del libro de caja.....	271
IX.2.1.2. Método de análisis del depósito de fondos	272
IX.2.2. Previsión de los movimientos de fondos	273

IX.2.3. Previsiones de tesorería a corto plazo	275
IX.2.3.1. Objeto de las previsiones a corto plazo	276
IX.2.3.2. Métodos de previsión.....	276
IX.2.3.3. Frecuencia de las previsiones	278
IX.2.3.4. Análisis del pasado	278
IX.2.3.5. Registro de acontecimientos importantes	279
IX.2.3.6. Supuestos de la previsión.....	280
IX.2.3.7. Fiabilidad de las previsiones.....	280
IX.2.3.8. Plan de actuación de la dirección.....	281
IX.3. Gestión presupuestaria de la tesorería	281
IX.3.1. Presupuesto de Tesorería.....	283
IX.3.1.1. Proyección de la posición	284
IX.3.1.2. Previsiones a corto plazo	284
IX.3.1.3. Previsión a medio plazo.....	284
IX.3.1.4. Presupuesto de Tesorería	285
IX.3.2. Gestión del déficit de tesorería.....	286
IX.3.3. Gestión del superávit de tesorería.....	288
IX.3.4. Elaboración de un Presupuesto de Tesorería.....	289
IX.3.4.1. Saldo de caja al comienzo del período	290
IX.3.4.2. Cobros esperados	290
IX.3.4.3. Pagos esperados	290
IX.3.4.4. Financiación de los déficits o inversión de los superávits	291
IX.4. Elaboración de un presupuesto de tesorería en condiciones de incertidumbre y no linealidad.....	291
IX.4.1. Planteamiento del problema	292
IX.4.2. Un Algoritmo Genético para la elaboración del Presupuesto de Tesorería	294
IX.4.2.1. Codificación de las soluciones.....	294
IX.4.2.2. Función de adecuación	295
IX.4.2.3. Proceso de selección	296
IX.4.2.4. Operador de cruce.....	296
IX.4.2.5. Operador de mutación.....	296
IX.4.2.6. Criterio de parada en la búsqueda.....	296
IX.5. Ejemplo de experimentación práctica.....	297
IX.5.1. Planteamiento del Problema	297
IX.5.2. Resolución con el Algoritmo Genético desarrollado.....	298

X. CONCLUSIONES..... 301

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 307

ANEXO. EJEMPLOS DE PANTALLAS DEL SOFTWARE DESARROLLADO..... 321

PRESENTACIÓN

El objetivo que motivó la elaboración de la presente Memoria de Tesis Doctoral, fue desarrollar un análisis de la gestión presupuestaria con objeto de que la misma pueda dar una respuesta acorde a lo que demanda la realidad actual del mundo empresarial. Con esta premisa de partida, se consideró que ante entornos económicos caracterizados por la ausencia de estabilidad y certidumbre, las metodologías utilizadas en la labor presupuestaria de las empresas pudieran necesitar de complementarse con las aportaciones realizadas en los ámbitos de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y las Tecnologías de Computación Flexible, con lo cual se podría facilitar un marco de desarrollo de modelos “realmente” operativos y lo suficientemente flexibles como para incluir las diversas situaciones que puedan acontecer en el devenir de la actividad económica.

En este contexto, cabe poner de manifiesto que la puesta a punto de la labor presupuestaria representa una cuestión de gran importancia, ya que la rapidez del avance tecnológico, la competencia rigurosa, el acortamiento del ciclo de vida de los productos y, de manera especial, las variaciones en el comportamiento de los consumidores o clientes, exigen que la gestión previsional de las empresas tenga resultados efectivos y rápidos, de modo que las unidades económicas puedan desarrollar armónicamente su actividad y reaccionar de manera adecuada ante las situaciones que aparezcan en su entorno.

Se puede observar empíricamente en empresas de cualquier país, como la aplicación de la metodología de elaboración de un presupuesto global para la unidad económica redundante, de manera trascendente, en el éxito o fracaso de las organizaciones. Dentro de este ámbito, se contrasta que una percepción acerca de la evolución de las variables que determinan la actuación de las unidades económicas determina el acierto o desacierto en la toma de decisiones de gestión y, por consiguiente, el éxito o fracaso de las organizaciones. En este sentido, las metodologías de elaboración de información previsional, adecuadas para épocas de escasa irregularidad, presentan deficiencias cuando la evolución de las variables que caracterizan el comportamiento futuro de las empresas no viene determinado por el pasado y, en consecuencia, no se explica por extrapolación de lo acontecido con anterioridad. Además, la caracteriza-

ción de estas variables no debe materializarse en suposiciones simplistas o bivalentes, sino que se ha de adecuar a la percepción que el decisor mantiene sobre las mismas.

Adicionalmente, se puede comprobar que las unidades económicas donde el éxito ha sido pequeño, ello ha estado motivado, en la mayor parte de las ocasiones, por el empleo de pocos esfuerzos en el desarrollo de su labor presupuestaria, originando un desgaste en la subsecuente fase de control de la actividad, lo cual suele provocar una significativa infrautilización de recursos y, consecuentemente, una desvirtuación del seguimiento que se está obligado a practicar, a lo cual se viene a sumar que las cantidades pecuniarias no se pueden cuantificar con exactitud, pues se caracterizan por ser valores inciertos y de difícil medida.

Ante este contexto y dado que un mínimo análisis crítico de las formas en que vienen siendo elaborados los presupuestos globales, revela la insuficiencia para la obtención de los resultados exigidos o demandados, se plantea la necesidad de facilitar herramientas y planteamientos abiertos y capaces de asimilar situaciones de complejidad e informaciones de diversa índole.

Por tanto, debido a la importancia de que un sistema presupuestario responda a este problema de implantación respecto a su forma, se proponen desarrollos operativos particulares a partir de la utilización de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y de Técnicas de Computación Flexible (Algoritmos Genéticos), pues la coyuntura donde se desarrolla la actividad actual de las compañías, exige un nivel de acercamiento a la realidad mayor que, a su vez, redunde en una toma de decisiones de ámbito empresarial que permita no sólo la mejora continua sino que se optimice los recursos de la mejor manera posible.

Para el logro del objetivo citado, en el Capítulo 1 se comienza realizando un análisis de los diferentes enfoques existentes en la elaboración del Presupuesto Maestro utilizados por las empresas, diferenciándose sus metodologías y sus diversas concreciones. A partir de estos planteamientos, se estudia la capacidad de los mismos para facilitar respuestas efectivas en el entorno empresarial actual, justificándose la necesidad de desarrollar un enfoque diferente que intenta cubrir las lagunas detectadas.

Con la necesidad de manejar la imprecisión e incertidumbre que caracteriza la información del mundo económico, el Capítulo 2 se centra en el análisis de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos. Además, se mencionan algunas de sus características fundamentales y se comentan varias de sus aplicaciones en el ámbito empresarial.

En el Capítulo 3, se realiza una introducción a los Algoritmos Genéticos, técnica de la Computación Flexible que será utilizada para la implementación de los desarrollos operativos del Presupuesto Maestro. Para la contrastación de dicha metodología, se incluyen las justificaciones matemáticas pertinentes que demuestran el funcionamiento de los Algoritmos Genéticos, así como alguna de las aplicaciones más relevantes realizadas con dicha técnica en el ámbito de la gestión empresarial.

Tras la presentación y análisis de las herramientas a emplear en el desarrollo de la Memoria, en el Capítulo 4 se llevará a cabo un estudio de las circunstancias en las que las empresas elaboran su Presupuesto de Producción, las dificultades de desarrollo del mismo y las necesidades no cubiertas por métodos tradicionales. En concreto se consideran tanto el posible comportamiento no lineal de los costes de los productos como la multiplicidad en la obtención de *outputs* del sistema, lo que plantea la necesidad de considerar posibles sinergias económicas entre los mismos. A partir de esta situación, se justifica la formulación de un modelo específico para la elaboración del presupuesto de producción, utilizando las dos metodologías estudiadas en los capítulos anteriores.

A continuación y considerando las necesidades de recursos materiales y humanos que el presupuesto de producción precisa, se desarrollan, en los Capítulos 5 y 6, los Presupuestos de Materiales y de Personal respectivamente. En la exposición de los mismos se mencionan las necesidades que el mundo empresarial actual demanda de tales presupuestos, proponiéndose un enfoque novedoso para cada uno: en el Presupuesto de Materiales se considera el comportamiento no lineal de los costes implicados en la determinación del mismo, mientras que en el Presupuesto de Personal se propugna que el mismo debe ser acorde con las valoraciones obtenidas de los expertos de este ámbito y con la complejidad en la que el factor trabajo desenvuelve su actividad.

Siguiendo el flujo natural de los productos, una vez que estos se fabrican, comienza la fase de comercialización de los mismos. Por ello, para incentivar las ventas, las empresas elaboran planes de promoción que las permitan alcanzar los resultados apetecidos en su mercado. De ahí que, en el Capítulo 7, se efectúe un estudio del Presupuesto de Promoción, ya que constituye una de las herramientas principales de actuación más directa sobre el público objetivo, dentro de las que facilita el Marketing. En el desarrollo del estudio se identifican posibles áreas de interés no satisfechas por técnicas tradicionales y se formula una metodología alternativa para la elaboración del Presupuesto de Promoción aplicando, al igual que en los casos anteriores, la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y los Algoritmos Genéticos.

En el Capítulo 8 se analiza el Presupuesto de Distribución. En una primera fase se identifican las deficiencias de enfoques tradicionales, lo que justifica la necesidad de facilitar una metodología diferente que satisfaga las demandas informativas de los responsables de la gestión de este área. Así, se propone un modelo de elaboración del Presupuesto de Distribución, también fundamentado en las técnicas antes mencionadas, que trabaje con toda la complejidad que puede acontecer en la distribución física real de las unidades económicas.

En el Capítulo 9 se estudia el Presupuesto de Tesorería, con el que muchas empresas cierran el proceso de elaboración de un Plan Operativo Anual, analizándose nuevas propuestas formuladas para la elaboración de un modelo adecuado para el marco empresarial actual y

proponiéndose, a partir de ellas, una metodología alternativa para el diseño del presupuesto de tesorería.

Conviene poner de manifiesto que, en cada uno de los seis últimos capítulos anteriores, se incluye una aplicación práctica que permite contrastar la utilidad y validez de los desarrollos operativos propugnados, especialmente ante la compleja realidad empresarial de los tiempos actuales.

La introducción, el objetivo y el contenido del presente trabajo puede permitir formular la siguiente PROPOSICIÓN PRINCIPAL:

Los métodos tradicionales de elaboración de un Presupuesto Maestro no facilitan información suficiente o adecuada, en la actual situación de incertidumbre, competencia y complejidad del entorno empresarial, para la adopción de decisiones de gestión. Por ello, es necesario el desarrollo de modelos alternativos que, mediante la utilización de metodologías y técnicas emergentes como la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y los Algoritmos Genéticos, consigan satisfacer, en mayor grado, las necesidades presupuestarias de las empresas.

El trabajo realizado en esta Memoria, intentará justificar el contenido de esta proposición, a partir de otras proposiciones parciales que han sido analizadas y de trabajos empíricos realizados, utilizando un raciocinio lógico en los capítulos anteriormente citados.

Las proposiciones parciales son las siguientes:

1ª PROPOSICIÓN

La información de carácter previsional de la que disponen las empresas no debe ser alterada para adecuarla a las necesidades de los métodos utilizados en su tratamiento, sino que debe mantenerse en su naturaleza sin intentar deformarla. Por consiguiente, la metodología utilizada en su manejo debe ser la adecuada, sugiriéndose como posible alternativa la Teoría de los Subconjuntos Borrosos.

2ª PROPOSICIÓN

El comportamiento no lineal de las variables determinantes en los sistemas económicos exige que los métodos cuantitativos empleados para asistir a la toma de decisiones de carácter previsional sean adecuados a tales situaciones, por lo que se propone utilizar los Algoritmos Genéticos.

3ª PROPOSICIÓN

La elaboración de un Presupuesto de Producción precisa no sólo una representación de la realidad incierta en la que se mueve la empresa, sino también la optimización del proceso que se va a desarrollar con toda la complejidad que las producciones múltiples o los comportamientos no lineales en los costes pueden conllevar.

4ª PROPOSICIÓN

El Presupuesto de Materiales de las empresas necesita planteamientos más ajustados a la realidad, que optimicen los recursos utilizados en situaciones de no linealidad y con información imprecisa, incluyéndose todos los costes en los que incurren las organizaciones en el desarrollo de esta actividad.

5ª PROPOSICIÓN

La gestión presupuestaria del factor humano requiere una aproximación “realista” al manejo de la información disponible, que permita su representación sin distorsión. Además, se ha de conseguir una metodología de elaboración del Presupuesto de Personal capaz de optimizar los recursos sin restringir la operatividad de los modelos desarrollados y consiga manejar valoraciones de carácter cualitativo, características de este ámbito de la gestión.

6ª PROPOSICIÓN

La elaboración del Presupuesto de Promoción ha de permitir incluir objetivos cualitativos en la concreción del mismo. Para ello, se debe manejar la información tal como se presenta en las tomas de decisiones reales de las empresas y optimizar los recursos asignados para dicho propósito, sin que las soluciones suministradas puedan ser inconsistentes o llevar a resultados no deseados.

7ª PROPOSICIÓN

El Presupuesto de Distribución debe facilitar respuestas a las preguntas clave en la satisfacción de necesidades de clientes cuando la información tiene carácter impreciso, aportando soluciones que permitan una utilización óptima de los recursos, aún en los casos en que los planteamientos requeridos para su concreción posean altas dosis de incertidumbre y de complejidad.

8ª PROPOSICIÓN

El Presupuesto de Tesorería debe elaborarse con la información previsional de carácter impreciso y facilitar un plan de gestión de recursos monetarios que optimice la rentabilidad esperada de los flujos de fondos de la empresa, sirviendo como una guía detallada que evite situaciones o imprevistos de elevada peligrosidad para la organización y anticipe la evolución de las variables que determinan la posición financiera.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTOS TRADICIONALES DEL PRESUPUESTO EN LA EMPRESA

I.1. INTRODUCCIÓN

Las informaciones contables se utilizan de muchas formas para ayudar y promover a la buena administración de empresas. Una de ellas es el control presupuestario de las operaciones, o dicho con más sencillez, el empleo de los presupuestos de operación. En esta Memoria trataremos de describir algunas ideas y técnicas que puedan ser de utilidad en la realización de los presupuestos y en la utilización de los mismos por parte de la dirección de la empresa. Para lograrlo, necesitaremos conocer diversas concepciones sobre la dirección de empresas y ampliar ciertas nociones sobre la captación y el uso de la información contable.

Como la contabilidad y la gestión están estrechamente relacionadas en los procesos presupuestarios, no siempre resultará fácil tener la seguridad de estarnos refiriendo a una o a otra. Sin embargo, así es como debe ser; las mediciones y los informes contables deben estar estrechamente relacionados con los usos a los cuales se destinen. Los presupuestos son herramientas directivas vinculadas en muchos casos a las operaciones contables y tendremos que observar cada una de ellas detenidamente. En este sentido, nos será de gran utilidad tener una noción general sobre la relación de los presupuestos con la dirección y con la contabilidad. De forma que, si partimos de la idea de que dirigir es tomar decisiones, las decisiones serán elecciones entre diversas alternativas de pronósticos o planes y estos pronósticos podrán basarse en datos y consideraciones contables o de otra índole.

I.2. PLANTEAMIENTOS TRADICIONALES DE LA PRESUPUESTACIÓN EN LA EMPRESA

En este apartado procuraremos analizar las diversas consideraciones que recibe y ha recibido la presupuestación en la empresa. Se pretende mostrar diferentes enfoques, señalando los aspectos más relevantes que los distintos autores han considerado a la hora de conceptualizar el presupuesto.

Así, para Fayol [Fayol, 1950], la presupuestación en la empresa es un compromiso entre lo que quiere y lo que puede. Se desprende de la definición anterior que en toda elaboración de presupuestos existe una “decisión” por parte de la empresa.

Para Rapin y Poly [Rapín y Poly, 1961], un presupuesto es la expresión cuantitativa y financiera de un programa de acción para un período dado, debiendo establecerse en la concreción del mismo:

- Los objetivos a alcanzar expresados en unidades físicas: cantidad a vender o producir, número de horas de trabajo, etc.
- Los medios de ejecución necesarios y su utilización, en consonancia con los anteriores objetivos.

De acuerdo con el enfoque que estos dos autores defienden, los componentes del presupuesto de la empresa son:

- Presupuesto de ventas.
- Presupuesto de producción.
- Presupuesto de inversiones.
- Presupuesto financiero.

Con la síntesis de los anteriores se obtiene el presupuesto general, que los coordina y que prevé la situación de la empresa al término del período presupuestario.

Por su parte, Vatter [Vatter, 1971] considera el presupuesto como una colección sistemática de planes administrativos, presentados a diversos niveles y en varias divisiones de una empresa, puestos en relación entre sí, a fin de constituir un programa general para toda la organización.

El nivel esperado de actividad se establece a partir de un pronóstico básico que, por lo general aunque no siempre, coincide con el volumen de ventas. Para cada componente de la compañía se hacen previsiones de cómo operará de acuerdo con el programa general. De este modo, por ejemplo, los departamentos de ventas dispondrán de un presupuesto de ingresos y otro de costes de ventas. Estos presupuestos, combinados y ajustados por los traspasos de inventarios, producirán estimaciones de gastos, así como otras estimaciones para abastecimientos necesarios de materiales y útiles, personal y servicios, maquinaria y equipo. Los presupuestos de abastecimientos servirán para calcular los desembolsos necesarios, en tanto que el presupuesto de ingresos puede traducirse en percepciones de efectivo esperadas. En consecuencia, estas estimaciones servirán para determinar las necesidades o problemas financieros. Este autor sostiene, además, que la comparación de los ingresos y gastos servirá para obtener un plan de utilidades o estado de pérdidas y ganancias; y el efecto de todas estas estimaciones sobre los activos existentes permitirá disponer de un estado proyectado de posición financiera.

Para Horngren [Horngren, 1977], un presupuesto es una expresión cuantitativa de un plan de acción y una ayuda para la coordinación y la ejecución.

Los presupuestos pueden ser formulados para la organización como un todo o para cualquiera de sus divisiones, siendo el Presupuesto Maestro el que resume los objetivos de todas las subdivisiones de una organización: ventas, producción, distribución y finanzas; y cuantifica las expectativas acerca de los ingresos futuros, del flujo de caja, de la posición financiera, y de los planes en que se apoyan.

Estas expectativas son la culminación de una serie de *decisiones* las cuales son el resultado de una consideración cuidadosa del futuro de la organización. En la mayoría de casos, el Presupuesto Maestro es la aproximación práctica mejor lograda de un modelo formal de la organización total: de sus objetivos, de lo que a ella entra y de lo que ella produce.

Horngren defiende también que los presupuestos están diseñados para llevar a cabo una variedad de funciones: planeación, evaluación de desempeño, coordinación de actividades, ejecución de planes, comunicación, motivación y definición de autorizaciones para la acción. La última de las funciones mencionadas es la que parece predominar en los presupuestos gubernamentales y de las organizaciones sin ánimo de lucro, donde las asignaciones presupuestarias sirven como autorizaciones y topes para la acción administrativa.

Este autor hace énfasis en cómo la contabilidad ayuda al gerente a tomar *decisiones operativas*, esto es, aquellas relacionadas con la adquisición y utilización de los recursos escasos con que cuenta la organización.

Sin embargo, no se puede ignorar la importancia de las *decisiones financieras*, las cuales se ocupan de obtener los fondos necesarios para la adquisición de los recursos. Por tanto, el Presupuesto Maestro abarca el impacto que tienen estas dos clases de decisiones, incluyendo tanto los presupuestos de flujo de caja como los presupuestos de operación, tal como se muestra en la representación gráfica del Presupuesto Maestro de la Figura I.1 [Horngren *et al.*, 1996].

Corcoran [Corcoran, 1983] considera que los presupuestos son un instrumento necesario para coordinar la actividad de la organización, comunicar los objetivos de la empresa y lograr la eficiencia de la misma.

De acuerdo con este planteamiento, la gerencia debe decidir cuáles son los objetivos para el período siguiente, pudiendo reducirse, en principio, a decidir si se conserva la posición actual, se reduce o se aumenta. A partir de estas consideraciones se ha de construir un presupuesto para el período en estudio, en el cual la previsión de efectivo o tesorería juega un papel crucial.

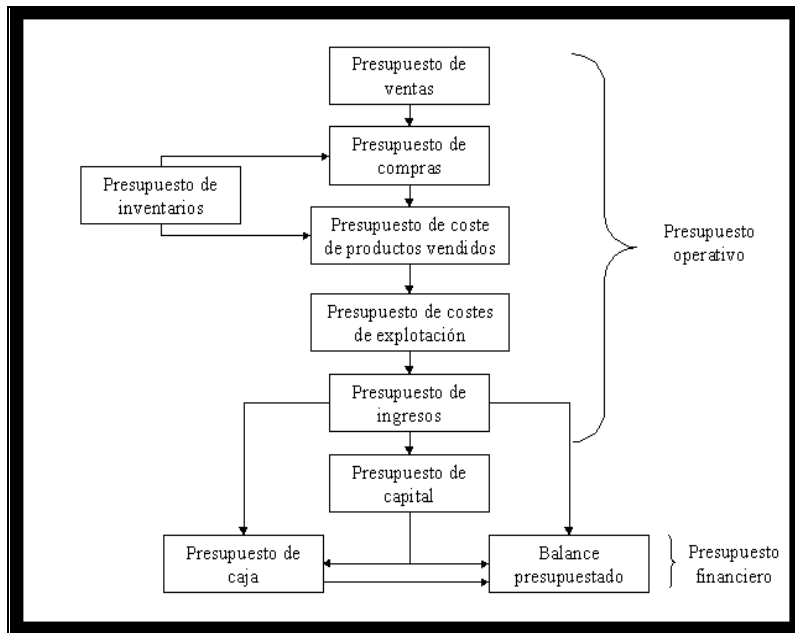


Figura I.1

Por otro lado, para Welsch [Welsch, 1986] presupuestación significa el desarrollo y aceptación de los objetivos y metas, y la movilización eficiente de una organización para alcanzarlos.

En este sentido, se ha de hacer hincapié en el concepto de empresa como sistema, pues el presupuesto ha de integrar todas las actividades funcionales y operativas de la misma. También se ha de poner énfasis en la participación de todos los niveles de la administración de la empresa, como elemento fundamental de una planificación efectiva. Para este autor, la presupuestación no puede clasificarse como una técnica contable propiamente dicha, sin embargo, sí tiene una relación única con el sistema contable de la empresa en los siguientes aspectos:

- La contabilidad proporciona entradas de históricos (generalmente cuantitativos) que son particularmente apropiados para pronósticos analíticos en el desarrollo de planes empresariales.
- El componente financiero de un presupuesto está generalmente estructurado en un formato contable.
- Los datos reales utilizados en el cálculo del resultado son proporcionados por el sistema contable.

Welsch defiende que para obtener un conocimiento profundo del concepto de presupuesto uno debe reconocer que no es una técnica separada que puede operar independientemente del proceso administrativo total. Por el contrario, el concepto general de presupuesta-

ción supone numerosos enfoques y técnicas administrativas que pueden ser aprovechadas, tales como previsión de ventas, de cuotas de mercado, análisis de flujos de caja, análisis coste-volumen-beneficio, control de inventarios, gestión de recursos humanos, etc.

Según López Díaz y Menéndez Menéndez [López-Díaz y Menéndez-Menéndez, 1989], los presupuestos son cifras globales que, en algunos casos, requieren para su elaboración la estimación previa de los correspondientes valores unitarios, es decir, los valores standard o normales.

En el establecimiento de presupuestos se exige, en cualquier caso, realizar estimaciones sobre el volumen de actividad, concretándose el resto de previsiones relativas a costes u otros conceptos económicos, de manera acorde con esa estimación de nivel de producción. Estos autores consideran que la elaboración de presupuestos es beneficiosa para la unidad económica, destacando las siguientes ventajas:

1. Obliga a la dirección a especificar objetivos concretos e integrarlos con las previsiones realizadas sobre las condiciones futuras en las que la empresa desarrollará su actividad. Para elaborar un presupuesto hay que explicitar las previsiones que se realizan en torno al comportamiento de las diferentes variables que afectan al proceso, provocando el análisis de los problemas futuros y la identificación de las alternativas posibles.
2. Permite la comunicación a toda la organización de los planes de la empresa y del papel que cumple cada componente de la organización en dichos planes. Los diferentes miembros de la unidad económica deben conocer en qué medida es necesaria su colaboración para que los planes se cumplan. Por ello, se precisa que los presupuestos sean asumidos en líneas generales por la mayoría de los integrantes de la organización.
3. Proporciona normas de comportamiento y actuar como elemento coordinador de los esfuerzos. Las acciones emprendidas siguen pautas preestablecidas, ya que la labor de previsión incluye analizar las relaciones entre las diferentes áreas de la organización. Con ello, se identifican *a priori* las disfunciones, como pueden ser: el conflicto de objetivos, los desequilibrios de capacidad en áreas interrelacionadas, etc.
4. Facilita el proceso de control. A partir del presupuesto se analizan las desviaciones, por comparación de los datos reales con los previstos. El conocimiento de las desviaciones sirve para asignar responsabilidades sobre las mismas y para que los propios responsables de cada área conozcan sus puntos fuertes y débiles, tornando las decisiones oportunas al respecto.

El enfoque del Presupuesto Maestro que defienden López Díaz y Menéndez Menéndez tiene por objetivo fundamental, en la gestión de empresas, conocer anticipadamente la evolución de las partidas de costes e ingresos, que configuran el beneficio periódico, así como la situación financiera y patrimonial a una fecha dada. También, ha de formar parte de los objetivos perseguidos con la presupuestación en la empresa, el conocimiento anticipado de la rentabilidad de ciertas inversiones o de algunos programas a abordar en el futuro. En coherencia con todas esas pretensiones, el Presupuesto Maestro está integrado por los siguientes presupuestos parciales, algunos de los cuales se agregan entre sí, formando subgrupos dentro del presupuesto:

1. Presupuestos de inversiones:

- a) Presupuesto de resultados de la inversión.
- b) Presupuesto de aplicación de fondos.
- c) Presupuesto financiero de la inversión.

2. Estado de resultados provisionales:

- a) Presupuesto de ventas.
- b) Presupuesto de costes de producción.
 - (b) 1. Presupuesto de unidades producidas y presupuesto de inventarios.
 - (b) 2. Presupuesto de costes directos, fijos y variables.
 - (b) 3. Presupuesto de costes indirectos, fijos y variables.

3. Presupuesto de tesorería.

4. Balance de situación presupuestado.

El interés de los presupuestos se centra pues, en un análisis en profundidad de las magnitudes económicas que facilitan la información contable necesaria para la *toma de decisiones anticipadas*.

Finalmente, para Mallo [Mallo, 1986; Mallo *et al.*, 1994], la presupuestación o planeación empresarial representa la adecuación anticipada de los medios o recursos a los objetivos establecidos. Así, siguiendo a este autor, se puede hacer referencia a las palabras de Ackoff [Ackoff, 1972] para el que:

“La planeación es proyectar un futuro deseado y los medios efectivos para conseguirlo. La necesidad de planear las organizaciones es tan obvia y tan grande, que es difícil encontrar alguien que no esté de acuerdo con ella. Pero es aún más difícil procurar que tal planeación sea útil, porque es una de las actividades intelectuales más arduas y complejas con las que se enfrenta el hombre. En la actualidad, así como en un futuro próximo, la planeación tendrá que

adaptarse a las características de la empresa y de la situación en que se realiza. Sin embargo, existen ciertas normas de carácter generalmente aceptable. En consecuencia, es evidente que la presupuestación es un proceso de toma de decisiones, pero es igualmente claro que la toma de decisiones no siempre equivale a la planeación. La planeación es una *toma de decisión anticipada*. La planeación es necesaria cuando el hecho futuro que deseamos implica un conjunto de decisiones interdependientes, esto es, un *sistema de decisiones*. Estos conjuntos de decisiones son demasiado grandes para manejar todas las decisiones al mismo tiempo. Dichos conjuntos de decisiones necesarias no pueden subdividirse en subconjuntos independientes. Estas dos propiedades sistemáticas de la planeación explican por qué ésta no es un acto, sino un *proceso*, el cual no tiene una conclusión ni punto final natural. La planeación es un proceso que se dirige hacia la producción de uno o más estados futuros deseados que no es probable que ocurran a menos que se haga algo al respecto.”

Mallo sostiene, además, que la presupuestación consiste, en definitiva, en la gestión ponderada de los recursos escasos con el objetivo de la consecución de los fines establecidos. De este modo, se puede decir que representa la cúspide de la función directiva y exige la aplicación de la máxima inteligencia organizada, ya que, ante ausencia de planificación, miles de esfuerzos resultan baldíos o aplicados sobre diferentes fines que nunca logran la sinergia de la fuerza común encauzada en una misma dirección.

La presupuestación supone un proceso integral en el que todos los componentes constituyen un sistema interrelacionado. En este sentido, y a modo de resumen de un análisis explicativo de la presupuestación se pueden proponer las siguientes partes [Ackoff, 1972]:

1. *Fines: especificar metas y objetivos*. Las metas representan objetivos que se desean alcanzar en un tiempo concreto y dentro del período que abarca el plan. Los objetivos pueden ser inalcanzables dentro del período de planeación, pero deberán hacerse más asequibles. Sin embargo, las metas sí que deberían ser alcanzables dentro de dicho período.

Esta fase inicial de la planeación debe cumplir los siguientes requisitos:

- Especificar los objetivos de la empresa y traducirlos en metas, constituyendo un programa para alcanzar las metas.
- Proporcionar una definición operacional de cada meta y especificar los pasos a seguir para evaluar el progreso realizado con respecto a cada uno de los mismos.
- Eliminar los conflictos (o establecer métodos para resolverlos) entre las metas, es decir, para decidir lo que se debe hacer cuando el progreso hacia una meta implica sacrificar el progreso hacia otra.

2. *Medios*. Los medios por los que se persiguen los objetivos y las metas varían, en general, desde los más específicos (un curso de acción), hasta los más generales (las políticas). Los programas representan un conjunto ordenado de acciones interrelacionadas, generalmente más complejas que un procedimiento, dirigidos hacia objetivos específicos (generalmente a largo plazo), que se persiguen solamente una vez. Por su parte, las políticas son reglas de decisión que pueden incorporar toda la información pertinente disponible al momento de las decisiones y, por tanto, pueden dar flexibilidad y adaptabilidad máximas.

En consecuencia, la presupuestación se interesa no solamente en valorar los medios alternos para alcanzar los objetivos, sino también para desarrollar nuevos y mejores medios. De hecho, tanto para evaluar eficazmente como para diseñar alternativas, se ha de comprender el sistema para el que se planea.

3. *Recursos*. Se ha de determinar los tipos y cantidades de recursos que se necesitan; definir cómo se han de adquirir o generar y cómo han de asignarse a las diversas actividades.

4. *Realización*. Los procedimientos para tomar decisiones permiten la realización del presupuesto, así como la forma de organizarlo para que el plan se pueda concretar.

5. *Control*. Constituye el fin de las etapas presupuestarias, en un sentido amplio. En el se incluye el diseño de un procedimiento para prever o detectar errores, así como para corregirlos sobre una base de continuidad.

Siguiendo las ideas que la mayoría de autores han destacado en la elaboración de presupuestos de ámbito empresarial, el enfoque, que en la presente Memoria se propone defender, se basa en la idea de que el presupuesto debe ser capaz de guiar a la empresa hacia el futuro. Para ello se precisa que permita aventurar el comportamiento de variables determinantes y, además, disp onga de la operatividad necesaria como para facilitar las decisiones a tomar con una anticipación oportuna.

I.3. PROPUESTA DE ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO MAESTRO

Un presupuesto es un plan detallado que establece la adquisición y utilización de recursos financieros, técnicos, humanos, materiales, etc., para un período de tiempo determinado, y que se expresa en términos cuantitativos.

La presupuestación, como antes apuntamos, implica decidir por adelantado lo que se ha de hacer, lo que equivale a proyectar un curso de actuación a consecuencia de:

- reconocer la necesidad de acción;
- análisis de los hechos y datos;

- propuesta de actuaciones alternativas;
- toma de decisión.

En este sentido, se puede definir un *Presupuesto Maestro* como un resumen de todas las fases que marcan los objetivos y planes de la empresa para el futuro, estableciendo metas específicas para las actividades de producción, distribución, ventas y financiación. Con ello se trata de mostrar una expresión comprensiva de los planes de la empresa para el futuro y de la coordinación de los mismos.

I.3.1. VENTAJAS DE LOS PRESUPUESTOS

Algunas empresas que nunca han desarrollado labores presupuestarias sostienen que la elaboración de presupuestos es una pérdida de tiempo, argumentando que los presupuestos no trabajan bien en algunas situaciones o que la actividad que desarrollan es demasiado compleja o sujeta a múltiples incertidumbres. Estos directivos deben tener claro qué es lo que quieren conseguir y cuándo, pero la dificultad estriba en que a menos que encuentren un medio para comunicar sus planes a otros, sólo accidentalmente la empresa podrá alcanzar sus objetivos.

Uno de los grandes valores de la elaboración de presupuestos reside en que requiere que los implicados en su elaboración les otorguen la máxima prioridad. Además, suponen un vehículo de transferencia de planes a través de la organización en su conjunto.

Cuando los presupuestos están en uso, nadie tiene duda acerca de qué es lo que los directivos pretenden conseguir o cuáles son los pasos para alcanzarlo.

Otras ventajas de la presupuestación son:

1. Proporcionar a los directivos un medio de canalización de sus esfuerzos planificadores.
2. Proporcionar metas y objetivos que servirán como *mejor práctica* (benchmarking) en un análisis de la actuación subsecuente.
3. Descubrir anticipadamente potenciales cuellos de botella.
4. Coordinar las actividades de la organización en su conjunto, integrando los planes y objetivos de las diversas partes. Con ello se consigue que los planes de cada componente de la organización sean consistentes con los de la empresa en su totalidad.

De un modo genérico, puede considerarse que la elaboración presupuestaria estimula a pensar por adelantado, fomenta el equilibrio de las actividades, detecta qué alternativas no deben realizarse, descubre *a priori* posibles desequilibrios, reduce las necesidades de información, simplifica las comunicaciones y los procesos administrativos [Mallo *et al.*, 1994].

I.3.2. FASES DEL PROCESO PRESUPUESTARIO

De acuerdo con el profesor Bueno-Campos [Bueno-Campos, 1974] se pueden distinguir las siguientes fases en el proceso presupuestario:

1. El modelo comienza con el establecimiento de las políticas o fines generales que suelen determinar los máximos responsables de cada sistema, identificando las prioridades y compatibilidades de los mismos, utilizándose, de forma general, el beneficio logrado en cada período como índice global para medir la eficiencia.
2. A partir de los fines o políticas comienza la etapa de planificación mediante la determinación de objetivos y subobjetivos, coordinados dentro de un sistema integrado que pretende realizar su actividad de la forma más económica posible.
3. Tras la fijación de objetivos y subobjetivos se pasa, mediante el análisis de sistemas, al estudio conjunto de su compatibilidad en el grado de consecución, pudiendo utilizarse todas las técnicas de *análisis cuantitativo* pertinentes, tendentes al establecimiento de un programa de acción concreto. Aquí reside una de las principales dificultades del proceso por cuanto, el sistema simulado no debe presentar diferencias determinantes con respecto al comportamiento del sistema real.
4. Después de compatibilizar jerárquicamente los objetivos a alcanzar, comienza la etapa de programación, es decir, la actuación operativa a corto plazo que permite adecuar medios y dispositivos técnicos a los fines y objetivos planificados, intentando optimizar los procesos y las actividades y elegir las mejores líneas de actuación para el logro de los objetivos. Esta etapa de programación tiene un perfil de optimización del conjunto de programas establecidos, mediante la asignación de recursos de la mejor manera posible. En ocasiones, esta conducta se reduce a una simple suboptimación, en términos de máximos y mínimos condicionados, ya que es muy complejo establecer un modelo global óptimo, en el que el logro de todos los objetivos se compatibilice. En términos reales se intenta la elaboración de *modelos cuantitativos y cualitativos que permitan un acercamiento al óptimo en la toma de decisiones*.
5. A continuación, se desarrolla la etapa de presupuestación propiamente dicha, que hace referencia al marco temporal periódico en que se deben ejecutar los programas aceptados. Los presupuestos constituyen la expresión cuantitativa y cualitativa formalizada de la parte correspondiente de los programas que deben ejecutarse en cada período, es decir, el presupuesto es el plan de acción temporal al que debe avenirse la actividad económica.
6. Tras la fase de ejecución, comienza el control de la actividad. El control permite distinguir la eficiencia de los sistemas de la simple efectividad que oculta múltiples situa-

ciones de infrautilización de recursos. El control es la actividad por la que el sistema atiende al cumplimiento de sus objetivos, previamente fijados, mediante la manipulación de las variables de acción. La principal información suministrada por el control se produce mediante la comparación de las variables previstas y las realmente obtenidas.

La actividad de control ayuda a mantener el sistema dentro de los límites planificados, programados y presupuestados; y puede influir en la corrección de cualquiera de las etapas del proceso, dependiendo del grado de desviaciones que se obtenga. Si las desviaciones sólo afectan al período actual, serán reflejadas en el control presupuestario y no incidirán en los programas y planes en curso. Sin embargo, si la magnitud de la desviación llega a provocar variaciones en el curso de los programas, obligará a replantear la programación, y si su importancia es suficiente deberá tenerse en cuenta para la alteración de los objetivos o el cálculo de ponderación en sus prioridades. De esta forma, la experiencia entra a formar parte integral del ciclo presupuestario como un elemento sustancial, permitiendo a los sistemas económicos adaptarse a las cambiantes condiciones del ambiente externo [Mallo, 1986].

I.3.3. LA RESPONSABILIDAD CONTABLE

La idea subyacente a la expresión responsabilidad contable reside en que cada directivo debe ser juzgado por su capacidad de gestionar adecuadamente los activos que se encuentran bajo su control. Para ello, se debe analizar cuidadosamente todos los costes e ingresos que le son propios. De este modo, cada nivel de dirección recibe los costes que están bajo su control y, así, se pueden establecer responsabilidades entre lo que estaba previsto y lo realmente obtenido.

A efectos del diseño del presupuesto, lo expuesto anteriormente se traduce en una asignación de los programas seleccionados a los centros de responsabilidad encargados de su ejecución. De hecho, los gestores de los centros de responsabilidad poseen cierto grado de influencia sobre la preparación de sus presupuestos, ya que, aunque su grado de autoridad y poder formal no es elevado, se ven compensados por su mejor conocimiento y comprensión del funcionamiento de la unidad bajo su control [López-González y Álvarez-Esteban, 1990].

I.3.4. ELECCIÓN DE UN PERÍODO PRESUPUESTARIO

Algunos presupuestos pueden incluir la adquisición de activos (edificios, maquinaria, equipos, etc.) cuya utilidad puede ser superior al ejercicio contable. Se trata de presupuestos de capital que se caracterizan por un largo período de tiempo de análisis. Los últimos años cubiertos por este tipo de presupuestos suelen estar poco definidos, pero la longitud del horizonte temporal de los mismos puede ser necesario para planificar y asegurar fondos en los momentos adecuados. A medida que pasa el tiempo, los presupuestos de capital pobremente

definidos van adquiriendo mayor precisión, si se actualizan continuamente. Sin este tipo de información presupuestaria, las organizaciones pueden verse sorprendidas por compras potenciales de equipos de capital necesarios, pero encontrarse con que no existen fondos disponibles por no haberlo previsto. Los presupuestos operativos, por su parte, deben cubrir el período de un año, que normalmente se corresponderá con el ejercicio contable y, con ello, poder comparar lo inicialmente previsto con lo realmente obtenido.

Entre los presupuestos operativos destaca, por su amplia utilización, el Presupuesto Maestro, que combina todas las actividades y funciones de la empresa en la concreción de la información previsional.

I.3.5. EL PRESUPUESTO MAESTRO COMO RED DE INTERRELACIONES

El Presupuesto Maestro representa una red en la que se agrupan varios presupuestos separados que son independientes. Todos los presupuestos operativos y financieros se encuentran integrados en la síntesis presupuestaria, al tiempo de estar interrelacionados entre sí (ver Figura I.2), pero de forma muy elástica (vender un producto supone fabricarlo previamente, fabricarlo origina compras y gastos; para vender los productos hay que distribuirlos e incentivar a los clientes; finalmente, para desarrollar cualquier actividad de las anteriores hace falta disponer de tesorería para afrontar posibles pagos).

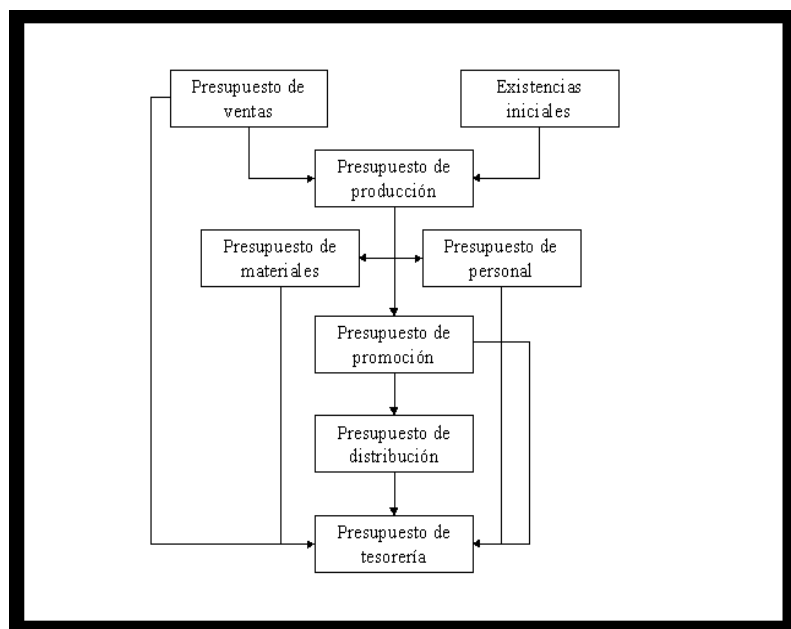


Figura I.2.

Como se puede comprobar, el Presupuesto Maestro comienza con el establecimiento de las ventas que se cree se van a realizar en el período analizado. Para su concreción se han desarrollado multitud de técnicas, que son analizadas en la sección siguiente.

I.4. LA PREVISIÓN

La previsión obliga a estudiar un determinado número de técnicas de orden económico o estadístico que facilitan el trabajo de programación. A partir de ella, se podrá establecer el presupuesto para el período siguiente, es decir, la definición de las tareas a realizar y los productos a vender a lo largo del ejercicio [Meyer, 1989]. La previsión de las ventas es, sin duda, el problema más importante y a la vez el más complejo que es preciso resolver dentro del procedimiento presupuestario.

Se debe realizar, por tanto, una definición de la previsión de las ventas que presente su carácter de compromiso entre las posibilidades y las exigencias y destacando el interés y la dificultad de su obtención.

Esto nos lleva a elaborar una metodología de la previsión, es decir, un cuadro de recogida y manipulación de las informaciones relativas a la previsión de las ventas, con vistas a establecer una decisión: el Presupuesto de Ventas.

I.4.1. PREVISIÓN DE VENTAS

La previsión de ventas podría definirse como: “el establecimiento por anticipado, de las ventas en cantidad y en valor, teniendo en cuenta las circunstancias que condicionan a la empresa y su posible acción sobre ellas” [Meyer, 1989].

Para su interpretación, se ha de recurrir al interés que presenta la previsión y a su complejidad. El primero muestra dos aspectos: a largo plazo, permitir elaborar un programa de previsiones y elaborar un plan correlativo de financiación; y, a corto plazo, elaborar un programa de producción y preparar un programa de aprovisionamientos del que se obtiene un presupuesto de gastos.

Las ventajas que presenta la previsión de ventas no pueden hacer olvidar la complejidad que su establecimiento lleva aparejado. Entre las causas fundamentales que pueden motivarlo cabe señalar:

- El progreso tecnológico que hace surgir o desaparecer productos.
- El poder adquisitivo de las sociedades que provoca variaciones en la evolución de los consumos.
- La amplitud de la gama de productos para satisfacer necesidades.
- La noción de concurrencia en los mercados que puede falsear los cálculos mejor establecidos.

I.4.2. METODOLOGÍA DE LA PREVISIÓN

La unidad económica puede tener a su disposición un gran número de informaciones de fuentes muy diversas (bases de datos económicas, ministerios, estudios económicos de entes privados, cámaras de comercio, etc.).

Éstas, una vez reunidas, deben clasificarse y confrontarse con los datos propios de la empresa según los métodos pertinentes. En todo caso, el estudio debe comenzar por la determinación de las limitaciones, pudiendo ser tanto de carácter interno como externo, que se presentan en este tipo de análisis. Las limitaciones exteriores provienen, fundamentalmente, del mercado y su estudio debe basarse en (Cuadro I.1):

1. Análisis económicos de orden general o profesional:

- Curvas de correlación.
- Tendencias.

2. Análisis comerciales del tipo de:

- Estudios de mercado.
- Cuestionarios.

Período Económico	Proceso de Información				
	<i>Problema</i>	<i>Limitaciones exteriores</i>	<i>Limitaciones internas</i>	<i>Nivel de estudios</i>	<i>Decisiones</i>
	· Capacidad · Productos	· Correlación · Estudio de mercado · Extrapolación	· Medios comerciales · Medios de producción · Márgenes · Evolución de las ventas · Productos nuevos	· Dirección general · Direcciones de áreas · Direcciones de áreas · Jefes de servicio · Responsables	· Programas de ventas · Preparación de los medios

Cuadro I.1

Por otro lado, las limitaciones internas, que hacen referencia a la empresa y su entorno, son muy numerosas y pueden variar según el tamaño y la naturaleza de la actividad de la empresa considerada.

Entre ellas se pueden citar:

1. Los medios comerciales: canales de venta, calidad de los vendedores, publicidad, precios de venta, etc.
2. Los medios de producción: “cuellos de botella” en almacenes, máquinas, efectivo, etc.
3. Los márgenes (directos o netos): peligro que puede presentar el desarrollo de un producto de poca rentabilidad (o viceversa).
4. La evolución propiamente dicha de las ventas extraída de las estadísticas de la empresa (medias móviles).
5. La influencia del lanzamiento de nuevos productos (reacción del público, de la competencia, falta de información, etc.)

A partir de las limitaciones, la empresa debe abordar el problema de manera consensuada con el fin de englobar a todos los implicados internamente.

Con la confrontación de opiniones se debe conseguir, finalmente, la toma de decisiones que permita establecer, entre otros, los siguientes aspectos:

- El programa de ventas, es decir, las cantidades que se prevén vender el próximo período.
- El presupuesto de ventas, es decir, las cantidades multiplicadas por el precio de venta, lo cual nos dará los valores (información de poca utilidad para los técnicos de producción, pero fundamental para los financieros).
- Las medidas y previsiones que se deriven de él (producción, aprovisionamiento de factores productivos, comercialización, distribución, tesorería, etc.)

I.4.3. MÉTODOS DE PREVISIÓN

Tradicionalmente, las técnicas utilizadas para el establecimiento de previsiones se clasifican según el tipo de información que tratan y facilitan:

- Métodos cualitativos (“cóctel de opiniones”)
- Métodos causales (relaciones con una variable externa).
- Métodos cuantitativos (tratamiento matemático de una serie cronológica).

I.4.3.1. MÉTODOS CUALITATIVOS

Entre los principales métodos cualitativos, cabe poner de manifiesto aquellos que consisten en solicitar información sobre las ventas futuras a través de:

- *Los mandos superiores.* Esta técnica trata de obtener, por medio de la confrontación de opiniones entre los máximos responsables de la empresa, su opinión sobre la evolución de la cifra de negocios. De este modo, se permite disponer de información de personas que tiene visión de futuro, analizan bien el entorno y su influencia, y conocen a fondo el conjunto de la empresa. Sin embargo, los resultados obtenidos suelen tener un carácter global, indicando más bien una tendencia, sin aportar valores precisos.
- *Los cuestionarios.* Consiste en solicitar a los vendedores (empleados, representantes, concesionarios, agentes, etc.) una estimación de las ventas futuras, materializándose en la cumplimentación de un cuestionario. Las principales ventajas son que se implica a la base de la empresa y se pueden obtener resultados detallados. No obstante, esta técnica supone que las apreciaciones de los vendedores son correctas, aunque estos ignoren, en muchas ocasiones, ciertos elementos influyentes tanto interna como externamente.
- *Estudios de mercado.* Esta técnica parte del análisis del presente, es decir, de los clientes reales y potenciales, para prever las ventas de un producto existente o de un nuevo producto cuyo lanzamiento se ha estudiado. A diferencia de otros métodos, permite hacer una previsión respecto a productos nuevos para los que no se dispone de datos estadísticos de ningún tipo, permitiendo, adicionalmente, orientar la política comercial. Sin embargo, los estudios de mercado no presentan carácter de certeza en sus conclusiones y suponen desembolsos elevados por parte de la empresa.

I.4.3.2. MÉTODOS CAUSALES

Los métodos causales se fundamentan en la utilización de los factores que determinan las ventas y permiten prever su evolución, entre ellos cabe destacar:

La correlación. Se basa en establecer una relación entre las ventas y , y un factor x :

$$y = f(x)$$

lo cual significa que, desde una óptica matemática, a toda variación de x le corresponde una variación de y , mientras que desde una perspectiva económica, el factor x influye de

forma decisiva sobre la actividad comercial de la empresa. Las principales desventajas que cabría considerar al respecto hacen referencia a que no es fácil encontrar un factor determinante en la evolución de las ventas, a que una vez encontrado hay que prever su comportamiento, a que las ventas no siempre dependen de un sólo factor y a que supone que el resto de condicionantes permanecen igual de un período a otro.

Modelos econométricos. Estos modelos tratan de relacionar “causalmente” las ventas y , con muchos factores indicados como determinantes x, w, z, \dots , tal como se muestra funcionalmente a continuación:

$$y = f(x, w, z, K)$$

Al ser más complejo que la correlación simple, permite suponer que los resultados obtenidos serán de mayor calidad. Sin embargo, siguen existiendo posibilidades de que otros factores influyentes no considerados en la ecuación no presenten un comportamiento estable.

I.4.3.3. MÉTODOS CUANTITATIVOS

El principal fundamento de los métodos cuantitativos reside en el tratamiento matemático de series temporales, especialmente con el fin de evitar los movimientos cíclicos, descubrir tendencias y prever las ventas por extrapolación. Los principales modelos que se pueden distinguir son:

La tendencia a largo plazo. La tendencia a largo plazo expresa el desarrollo de un fenómeno y , en función del tiempo t , es decir:

$$y = f(t)$$

Existen dos ideas que subyacen a esta relación. Una, que supone que un fenómeno económico se comporta siguiendo una línea recta o curva. Otra, que el futuro se presenta como una extrapolación del pasado. En contraposición, se pueden mencionar dos inconvenientes: el primero, que sostiene que entre una variable económica y el tiempo puede haber más de una relación funcional. El segundo, que defiende la posible imprecisión de este método cuando acontecen situaciones accidentales o imprevistas (guerras, crisis, etc.).

La media móvil. Parte de la misma idea que el anterior, es decir, que la evolución de un fenómeno es función del tiempo. Las hipótesis que supone son que las variaciones estacionales se repetirán siempre dentro del mismo período y con la misma intensidad, lo que no suele ser normal, y que la tendencia pueda modificarse o invertirse sin que el método sea capaz de preverlo.

El ajuste exponencial. Para este método, la extrapolación del pasado hacia el futuro se efectúa atribuyendo diferentes pesos a los diversos elementos influyentes. Si se denota por a el coeficiente de ajuste (comprendido entre 0 y 1), las ventas futuras V_{t+1} , quedan funcionalmente como:

$$V_{t+1} = a \cdot V_t + a \cdot (1-a) \cdot V_{t-1} + a \cdot (1-a) \cdot V_{t-2} + K$$

Las críticas que se pueden formular a este procedimiento se basan en que sólo se puede utilizar tras haber eliminado las variaciones estacionales, y que sigue manteniendo la vinculación funcional con el tiempo, al igual que la media móvil.

En resumen, el necesariamente breve análisis descriptivo antes realizado podría permitir concluir que no existe ningún método tradicional de previsión de las ventas que satisfaga completamente las necesidades presupuestarias de la empresa. Esto es debido a que todas las técnicas anteriormente mencionadas, sólo pueden emplearse cuando existe información suficientemente estructurada para poder integrarse en los modelos. Por ello, surge la necesidad de encontrar algún método de previsión que permita manejar información insuficientemente estructurada (intuición, presentimientos, opiniones, etc.) y que, además, sea capaz de combinarla con el conocimiento estructurado disponible [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986].

En consecuencia, surge el interés por cuestionar si con la Teoría de los Subconjuntos Borrosos, rama de la matemática que trata del manejo tanto de lo subjetivo como de lo incierto, es posible representar la información previsional disponible en cualquier tipo de situación empresarial, con el fin de obtener unos pronósticos más acertados.

CAPÍTULO II: TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE: LOS SUBCONJUNTOS BORROSOS

II.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se pretende realizar una breve descripción de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos. El objetivo será contrastar las posibilidades que presenta su utilización en el manejo de información previsional de ámbito económico.

Tradicionalmente la presencia de incertidumbre ha sido manejada por medio de herramientas estándar como la Teoría de la Probabilidad, en particular, la metodología Bayesiana y la Teoría de la Utilidad. Únicamente en los últimos años, los científicos se han dado cuenta de las limitaciones que tales herramientas presentan.

En este sentido, existen ya numerosos trabajos que demuestran la capacidad de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos para tratar este tipo de información, incluyéndose, al final del presente capítulo, un listado de algunas de las aportaciones más sobresalientes.

II.2. LA INCERTIDUMBRE Y SUS TIPOS

La incertidumbre, en el ámbito de la gestión, se puede definir por el desconocimiento acerca del estado que va a tomar una determinada variable que afecta a una decisión económica. Por ello, se han de considerar diferentes situaciones en las cuales es posible obtener distintos resultados para cada curso de acción. No significa necesariamente que exista ignorancia, sino que resulta imposible establecer la probabilidad de cada uno de los estados que pueden tomar las variables.

Muchas disciplinas matemáticas trabajan con la descripción de incertidumbre, por ejemplo, la Teoría de la Probabilidad, la Teoría de la Información y la Teoría de los Subconjuntos Borrosos. Resulta conveniente clasificar estas disciplinas en función del tipo de incertidumbre que manejan. Para tal fin se considerarán dos tipos de incertidumbre: probabilística y lingüística.

II.2.1. INCERTIDUMBRE PROBABILÍSTICA

La incertidumbre probabilística trata la incertidumbre relativa a la ocurrencia de un determinado evento. El evento en sí mismo está bien definido, encontrándose la incertidumbre en grado de probabilidad de que el mismo tome un estado u otro. Por ejemplo, cuando se dice que se va conseguir beneficios con un 80% de probabilidad, se está manejando una incertidumbre mensurable.

Además, este tipo de afirmaciones pueden manejarse utilizando métodos estocásticos, tales como el Cálculo Bayesiano que permite medir la información de que se dispone, realizar operaciones y llegar a conclusiones sobre la misma.

Los modelos Bayesianos constituyen un cuerpo de herramientas que han sido aplicadas para manejar la incertidumbre. Los más sencillos de ellos no consideran diferentes grados de verdad. Sin embargo, modelos más complejos incorporan estructuras jerarquizadas de análisis de la evidencia que combinan las diversas piezas de la misma utilizando la probabilidad para representar el riesgo.

Es en este contexto donde se encuentra el azar y su medición a través de probabilidades, las cuales son medidas sobre hechos observables y constituyen una evaluación que se desearía fuera lo más objetiva posible.

Sin embargo, cuando la posibilidad de ocurrencia de un determinado evento no se puede medir e influye de manera determinante la subjetividad de las apreciaciones realizadas por los seres humanos, no pueden utilizarse probabilidades, por tanto se precisa de otra herramienta que sea capaz de trabajar con este tipo de información.

En este sentido, aunque con demasiada frecuencia se afirma que un evento es probable cuando no existe posibilidad de medición, se está tratando de utilizar la objetividad intentando mantener la fuerza de la teoría de probabilidades, pero si se pretende ser honesto se ha de manejar por medio de valuaciones que aún siendo más débiles resultan más realistas [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986].

II.2.2. INCERTIDUMBRE LINGÜÍSTICA

Un tipo diferente de incertidumbre es la que se encuentra en el lenguaje natural. Para manejarla hay que tener en cuenta la imprecisión inherente a la mayoría de las expresiones humanas, con el fin de evaluar los conceptos y derivar conclusiones. Así, conceptos tales como “precio alto”, “demanda baja” o “fuerte competencia” que no se corresponden con definiciones exactas se pueden considerar como dentro de este tipo de incertidumbre. Por otro lado, la consideración del precio de un artículo por un directivo como “alto” puede diferenciarse

sustancialmente de la opinión que emita otro, debido a que las personas utilizan su conocimiento para elevar los juicios y por tanto éste influirá de manera determinante en ellos, siendo poco posible que dos individuos coincidan.

La ciencia que trabaja con la forma en que las personas evalúan conceptos es la Psicolingüística, estando demostrado por ella que los humanos utilizan palabras como categorías subjetivas para clasificar conceptos tales como “precio”, “demanda” e “inflación”. Por medio de la utilización de estas categorías subjetivas, hechos del mundo real pueden ser evaluados según el grado en que satisfacen determinados criterios.

En este sentido, aún cuando la mayoría de estos conceptos no están definidos de forma precisa, los seres humanos pueden utilizarlos para evaluar y tomar decisiones complejas que se sustentan en una variedad de factores. Gracias a ello, utilizando esta abstracción y pensando en analogías, unas pocas expresiones pueden describir contextos complejos que resultarían difíciles de modelar con precisión matemática.

Si decimos: “es posible alcanzar el objetivo”, puede parecer que la sentencia es igual que la de la incertidumbre probabilística, sin embargo existen diferencias sustanciales como las siguientes:

- El evento en sí mismo no está definido claramente:
- El significado de la expresión posible en este segundo caso no lleva aparejado un sentido matemático.

II.2.3. INCERTIDUMBRE EN LA GESTIÓN

La mayoría de los problemas de gestión realmente importantes son complejos y turbulentos y, por ello, su tratamiento sistemático requiere tener en cuenta factores subjetivos tales como juicios, opiniones, intereses personales y sentimientos. La mente del encargado de tomar una decisión se convierte en una parte integral de un proceso analítico, siendo como un elemento interactivo. Esta cooperación de los directivos y los científicos de la gestión permite avanzar gracias a un procedimiento adaptativo, donde el aprendizaje mutuo facilitará las mejores soluciones y permitirá la cooperación entre hombres y máquinas [Kaufmann y Gil-Aluja, 1987].

En este contexto, resulta observable que las afirmaciones, términos y reglas utilizadas en la gestión son normalmente ambiguas. El responsable de la toma de decisiones no posee la habilidad de recoger todos los datos relevantes para la misma, por lo que no es capaz de convertir las decisiones en precisas. El directivo debe tomar decisiones que conciernen al futuro de su organización, basándose en su criterio personal y subjetivo. Así, la posibilidad de que entre un conjunto de opciones exista alguna con mayor grado de ocurrencia que las otras da lugar al comienzo del mecanismo de toma de decisiones.

En la realidad del mundo empresarial, el que toma las decisiones no dispone de la posibilidad de poder observar un experimento repetidamente para eliminar la aleatoriedad del mismo. Consecuentemente, mientras el criterio probabilístico es aplicable a tomas de decisiones con resultados observables, no puede utilizarse para cualquier tipo de toma de decisiones. Por ello, se precisa de métodos eficientes, no sólo para estimar el grado de verdad, sino también para construir expresiones a partir de datos que sean ambiguos por sí mismos.

Tradicionalmente, existe una tendencia en la gestión a utilizar información precisa, aunque esa información es difícil de obtener en muchos casos y, por ello, puede tener un impacto adverso en la aplicación de modelos de gestión. Esta tendencia limita la aplicación de dichos modelos a problemas del mundo real. Además, otro problema relacionado con la imposibilidad de disponer de información precisa, lo constituye el enriquecimiento de datos que fuerza a que el modelo utilice información irreal [Ackoff, 1986]. Los directivos toman decisiones sin tener un amplio número de informaciones precisas. Por ejemplo, la decisión “mejorar la calidad”, puede llevar aparejada la toma de otras decisiones por parte de diferentes empleados de la empresa, muchas de ellas precisas. La habilidad de los directivos para manejar ese tipo de situaciones les aporta una gran flexibilidad en la toma de decisiones, mayor de la que obtendrían con métodos operativos tradicionales.

II.3. TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE

Algunas veces es necesario estimar la posibilidad de ocurrencia de un determinado evento en ausencia de conocimiento sobre sus frecuencias relativas. Realizar estimaciones en tales situaciones suele ser impreciso, quedando la utilidad de los métodos Bayesianos limitada por la divergencia entre la intuición y la interpretación del análisis de riesgo de los mismos.

Lotfi Zadeh introdujo en 1965 la Teoría de los Subconjuntos Borrosos como una herramienta de representación de la ambigüedad y la vaguedad de los sistemas humanos. Aunque en la gestión de las empresas se han propuesto numerosos modelos de decisión, éstos generalmente no incorporan la ambigüedad inherente a la información disponible, siendo reducida en muchos casos de manera errónea a la aleatoriedad.

Hasta fechas muy recientes, sólo algunos investigadores habían estudiado la diferencia entre aleatoriedad y ambigüedad. Según sus análisis, mientras la aleatoriedad se relaciona con la incertidumbre acerca de la ocurrencia de un evento, la ambigüedad lo hace con la incertidumbre del grado de ocurrencia de un evento.

En la teoría tradicional de conjuntos, la pertenencia se definía en términos binarios, un elemento pertenecía o no al conjunto. Sin embargo, la Teoría de los Subconjuntos Borrosos permite que un elemento pertenezca a varios conjuntos con un grado de verdad. Por ello, la ausencia de límites estrictos entre los conjuntos permite añadir flexibilidad en la toma de de-

cisiones. Además, en ella suelen estar presentes simultáneamente diferentes grados de incertidumbre, por tanto, el responsable de la toma de decisiones debe utilizar aquel método que permita trabajar con la información disponible, con independencia de la naturaleza de la misma. La intención de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos no es la de reemplazar a la teoría de la probabilidad en la medición de la aleatoriedad probabilística, sino proporcionar una manera natural de trabajar con problemas en los que la fuente de la imprecisión radica en la ausencia de criterios estrictos, más que en la presencia de variables aleatorias [Zadeh, 1965; Goguen, 1967]

II.3.1. SUBCONJUNTOS BORROSOS

El concepto de subconjunto borroso puede atribuirse directamente a Zadeh, resultante de su trabajo seminal en 1965, mientras que la investigación y las aplicaciones de los subconjuntos borrosos han crecido cubriendo un amplio abanico de disciplinas. A este respecto, en el caso de la economía y gestión de empresas, el mérito recae en los trabajos de Arnold Kaufmann y Jaime Gil Aluja [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986, 1987, 1990, 1991, 1992]. El propósito de este modelo consiste en representar el funcionamiento de un sistema cualquiera, pudiendo analizarse su construcción como una colección de objetos denominados variables y parámetros y que están relacionados por medio de otros elementos denominados conectivos u operadores del modelo. Las variables utilizadas en el modelo corresponden a algunas características del sistema que está siendo modelado. Básicamente, se pueden distinguir dos tipos de conectivos que se utilizan en el proceso de modelaje. La primera clase de modelos, que utiliza operadores algebraicos, tales como adición, substracción, diferencia, etc., se denominan modelos matemáticos. En estos modelos, los parámetros así como los valores de las variables están basados normalmente en valores numéricos.

El segundo tipo de modelos, que utiliza conectivos de tipo lógico, tales como “y”, “o” y “si-entonces”, reciben el nombre de modelos lógicos, incluyendo parámetros de naturaleza lingüística. Hasta los años 70, la mayoría de los modelos utilizados eran de tipo matemático, pero a partir de 1970 y con la aparición de la Inteligencia Artificial se comenzó a considerar los modelos de tipo lógico como una herramienta para la construcción de sistemas.

Los subconjuntos borrosos, en estas clases de modelizaciones, han sido utilizados primeramente como representación de parámetros, y en algunos casos como valores de las variables asociadas con el modelo [Dubois y Prade, 1980].

II.3.1.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS SUBCONJUNTOS BORROSOS

Un conjunto ordinario está definido siempre con respecto a algún universo de discurso X , que por sí mismo es un conjunto clásico. En particular se define un subconjunto con la

ayuda de una función característica que describe la pertenencia al subconjunto. Sea X un universo de discurso y sea S un subconjunto de X . La función característica asociada con S es

$$\mu_s : X \rightarrow \{0,1\}$$

tal que para cualquier elemento x del universo, $\mu_s(x) = 1$ si x es un miembro de S y $\mu_s(x) = 0$ si x no es un miembro de S . La Figura II.1 muestra la idea de una función característica, siendo el eje X el conjunto de los números reales positivos y S el subconjunto de los números reales positivos que están entre 0 y 20, mientras que en la Figura II.2 se muestra un subconjunto clásico en un plano.

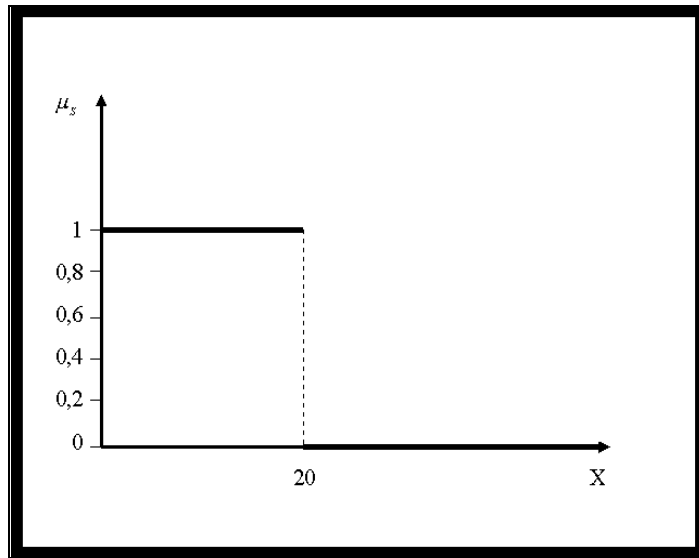


Figura II.1

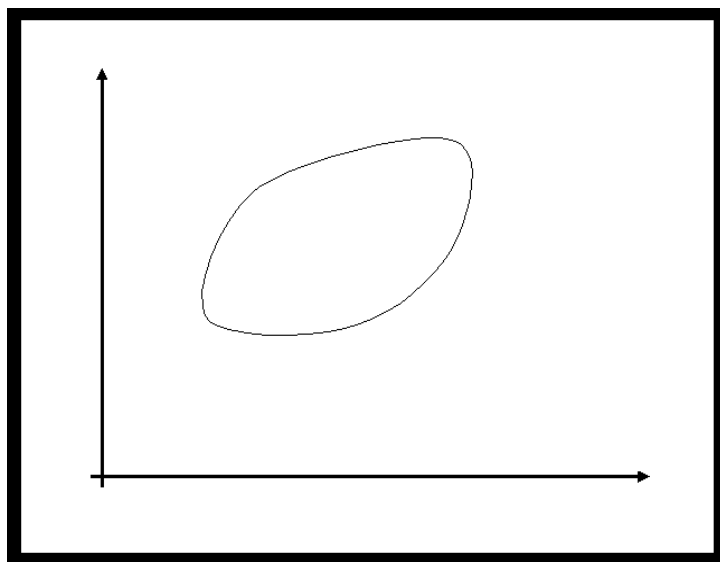


Figura II.2

Al igual que ocurre con un subconjunto clásico, un subconjunto borroso está definido también con respecto a un conjunto clásico, denominado universo o dominio.

El subconjunto borroso generaliza la idea de un subconjunto clásico extendiendo el rango de la función característica del par $\{0,1\}$ al intervalo $[0,1]$. La siguiente definición establece el concepto de un subconjunto borroso.

Definición de Subconjunto Borroso.

Sea X un conjunto que sirve de universo. Un subconjunto borroso se define como el subconjunto de X que tiene asociada la siguiente la función característica:

$$\mu_s : X \rightarrow [0,1]$$

En el marco de trabajo de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos se denomina, generalmente, a la función característica del mismo como función de pertenencia asociada al subconjunto.

Esta terminología conlleva la idea de que para cada x , $\mu_s(x)$ indica el grado en el que x es miembro del conjunto A .

En la Figura II.3 se muestra un ejemplo de subconjunto borroso con respecto a un eje, mientras que en la Figura II.4 se representa en un plano, diferenciando el grado de pertenencia mediante una escala de grises.

Así, un elemento puede no ser miembro del subconjunto X , siendo $\mu(x) = 0$; puede pertenecer en un nivel bajo, siendo $\mu(x) = 0,1$; puede pertenecer más o menos al subconjunto, siendo $\mu(x) = 0,5$; puede ser casi un miembro del subconjunto, siendo $\mu(x) = 0,8$; y, por último, puede ser un miembro estricto, siendo $\mu(x) = 1$.

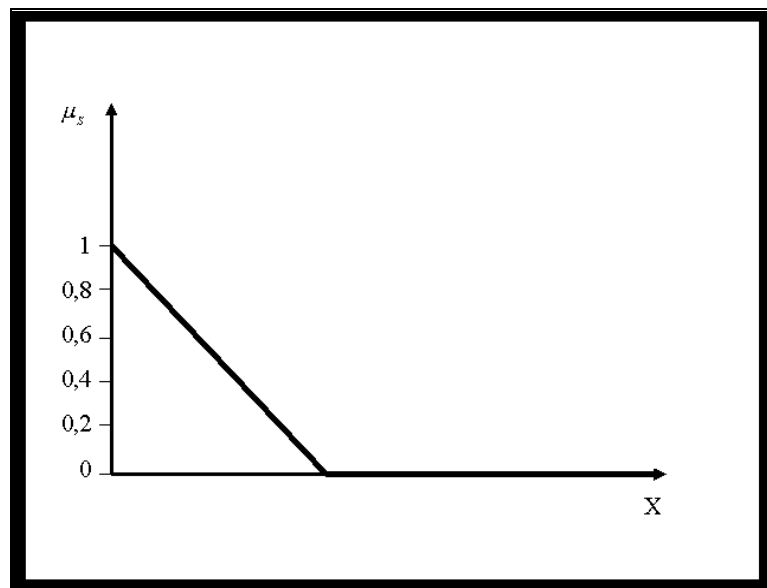


Figura II.3

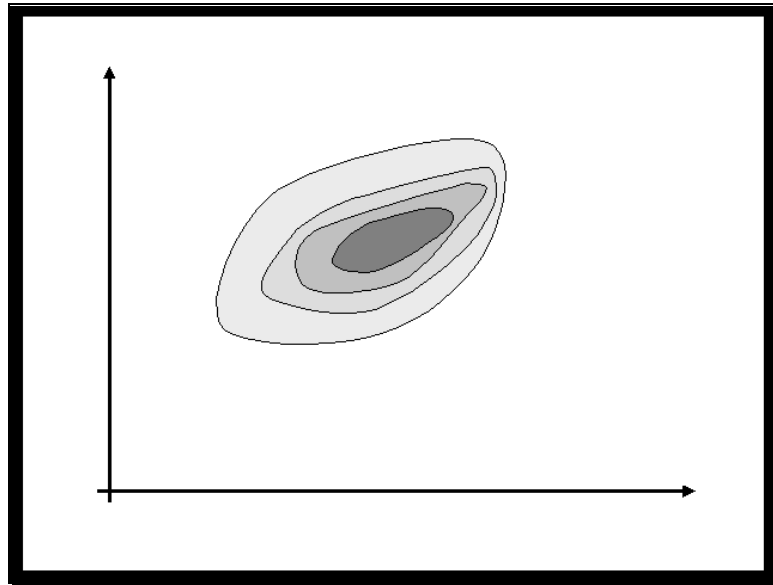


Figura II.4

Las Figuras II.5 y II.6 muestran dos clases importantes de funciones de pertenencia: la triangular y la trapezoidal. Los subconjuntos borrosos pueden utilizarse tanto para describir conceptos vagos, que no tienen límites estrictos, como para conceptos ambiguos o conceptos que describen subconceptos distinguibles. La ausencia de límites estrictos es adecuada para la asignación de grados de pertenencia para diferentes elementos, permitiendo que más de uno de ellos sea miembro del conjunto.

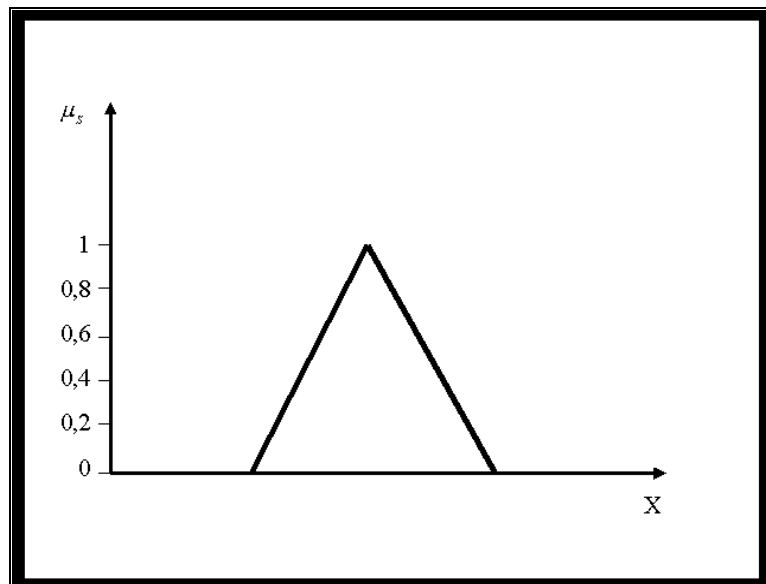


Figura II.5

Los grados de pertenencia de un subconjunto borroso representan el nivel de compatibilidad de un elemento con el conjunto y no debe ser interpretado como una probabilidad. Además, la función de pertenencia de un subconjunto borroso puede representarse, de una

manera analítica, como una fórmula mejor que como un número finito de elementos. En situaciones en las que el universo de discurso es finito y numerable, el grado de pertenencia debe estar expresado explícitamente. Así, por ejemplo, si $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, un subconjunto podría ser $A = \{0,7/x_1, 0,3/x_2, 1/x_3, 0/x_4\}$, representando un subconjunto borroso de X . El significado de los términos de A en la forma a_i/x_i indican el grado de pertenencia al subconjunto de cada elemento x_i del conjunto.

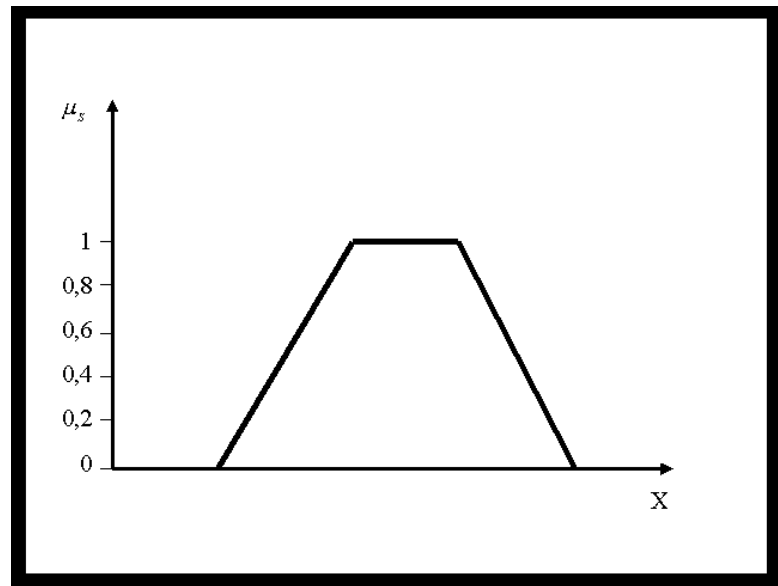


Figura II.6

De acuerdo con esta interpretación, en el ejemplo anterior el elemento x_1 pertenece al subconjunto A con un grado 0,7. En la práctica es común suprimir aquellos elementos cuyo grado de pertenencia es 0. Así, el subconjunto anterior quedaría:

$$A = \{0,7/x_1, 0,3/x_2, 1/x_3\}.$$

Tradicionalmente se utiliza el término μ_A para indicar la función de pertenencia de un subconjunto A . En el presente trabajo se ha optado por una notación ligeramente diferente, utilizando $A(x)$ para indicar la función de pertenencia al subconjunto A , y por tanto, los términos quedarían como $A(x_i)/x_i$.

Aplicando la representación a conjuntos clásicos tendremos: para $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, el subconjunto clásico $B = \{x_1, x_3\}$ puede expresarse como $B = \{1/x_1, 0/x_2, 1/x_3, 0/x_4\}$.

La utilización de esta notación permite dejar patente que los subconjuntos clásicos son casos excepcionales de los subconjuntos borrosos en los cuales los grados de pertenencia sólo pueden ser cero o uno.

Los subconjuntos borrosos son especialmente útiles a la hora de representar conceptos con límites imprecisos. Así, por ejemplo, si el universo de discurso lo constituyen determina-

dos artículos sustitutivos X , y se está interesado en representar el subconjunto de ellos que son caros, la utilización de los subconjuntos borrosos en esta situación, libera de la restricción de incluir o no los artículos como miembros del subconjunto, pudiendo especificar para cada uno un grado de pertenencia entre 0 y 1. Esta habilidad para representar de una manera más natural conceptos imprecisos es particularmente importante en el diseño de sistemas inteligentes, ya que permiten representar de una manera más acertada los tipos de conceptos del razonamiento humano y, más concretamente, en la economía y la empresa. Por ello, términos tales como calidad alta, precio barato, competencia fuerte, etc. son representados de una manera más natural mediante subconjuntos borrosos que mediante subconjuntos clásicos.

Además en muchos casos el valor del grado de la función de pertenencia para un subconjunto borroso depende de un juicio subjetivo, como la creencia en una idea. En este sentido, en diversas ocasiones tiene más valor la forma de la función de pertenencia que los valores de la misma.

Muchas de las definiciones y operaciones asociadas con los subconjuntos borrosos son extensiones directas de las correspondientes definiciones de los subconjuntos clásicos. Además, esas definiciones y operaciones que son extensión de los subconjuntos borrosos ordinarios engloban a éstos cuando se restringen a valores de pertenencia 0 o 1, apareciendo también nuevas definiciones y operaciones que no se encontraban o que no tenían sentido para los subconjuntos clásicos.

II.3.1.2. OPERACIONES CON LOS SUBCONJUNTOS BORROSOS

La descripción de las operaciones se hace normalmente extendiéndolas desde los subconjuntos clásicos, existiendo varias posibles alternativas. Como se dijo anteriormente muchas de estas operaciones de los subconjuntos borrosos incluyen a las respectivas en los subconjuntos clásicos cuando los valores de pertenencia se restringen a 0 o 1. Por ello, la simbología utilizada es la misma que para el enfoque tradicional.

Sin embargo, para aquellas operaciones específicas de los subconjuntos borrosos se utilizará una representación específica.

1. Unión

Sean A y B dos subconjuntos borrosos de X , su unión será otro subconjunto borroso C de X , denotado, $C(x)$, tal que para cada $x \in X$

$$C(x) = \text{Max}[A(x), B(x)] = A(x) \vee B(x)$$

Es una práctica común en la literatura relacionada con los subconjuntos borrosos utilizar el símbolo \vee como el operador Máximo.

Así, por ejemplo, si $X = [a, b, c, d, e]$ y A y B son dos subconjuntos borrosos de X donde

$$A = [1/a, 0,7/b, 0,3/c, 0/d, 0,9/e] \text{ y}$$

$$B = [0,2/a, 0,9/b, 0,4/c, 1/d, 0,4/e]$$

$$\text{Entonces } C = [1/a, 0,9/b, 0,4/c, 1/d, 0,9/e]$$

y, gráficamente, se puede representar la unión tal como se muestra en la Figura II.7.

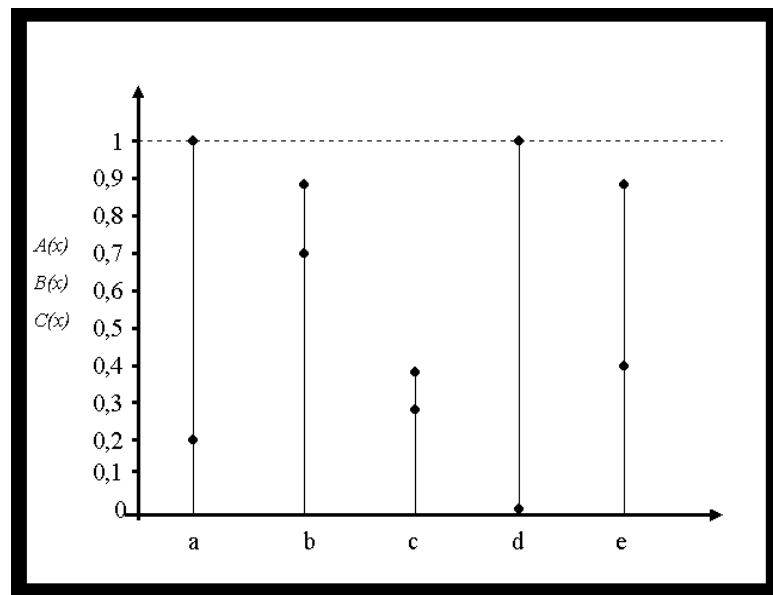


Figura II.7

Intersección

Sean A y B dos subconjuntos borrosos de X , su intersección será otro subconjunto borroso D de X , denotado $D(x)$, tal que para cada $x \in X$

$$D(x) = \text{Min}[A(x), B(x)] = A(x) \wedge B(x)$$

A su vez, es práctica común en la literatura relacionada con los subconjuntos borrosos utilizar el símbolo \wedge como el operador Mínimo.

Así, de acuerdo con los subconjuntos A y B del ejemplo anterior, su intersección será

$$D = [0,2/a, 0,7/b, 0,3/c, 0/d, 0,4/e]$$

y, gráficamente, su representación se muestra en la Figura II.8.

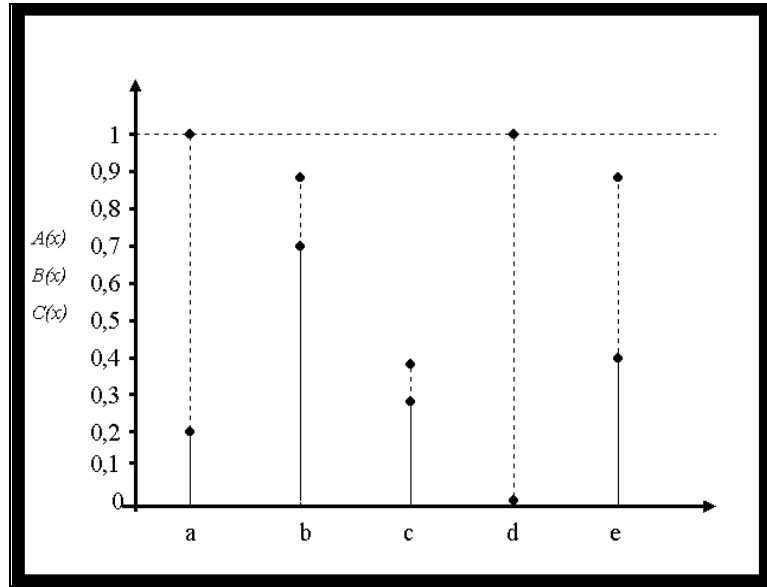


Figura II.8

Las operaciones de Máximo y Mínimo, que juegan un papel de alta trascendencia en la Teoría de los Subconjuntos Borrosos, pueden escribirse en términos algebraicos como:

$$\text{Max}(A(x), B(x)) = \frac{A(x) + B(x) + |A(x) - B(x)|}{2}$$

$$\text{Min}(A(x), B(x)) = \frac{A(x) + B(x) - |A(x) - B(x)|}{2}$$

Además, cumplen diferentes propiedades y coinciden exactamente con las correspondientes para los conjuntos clásicos.

Si \$A\$ y \$B\$ son dos subconjuntos borrosos de \$X\$, las siguientes son las propiedades que se cumplen para su unión y su intersección.

Unión

- Conmutativa

$$A \cup B = B \cup A$$

- Idempotencia

$$A \cup A = A$$

- Asociativa

$$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C = A \cup B \cup C$$

- Distributiva

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

- Elemento neutro

$$A \cup \phi = A$$

- Elemento absorbente

$$A \cup X = X$$

- Inclusión

$$A \subset A \cup B$$

- Si $A \subset B$

$$B = A \cup B$$

- Si $A \subset B$ y $B \subset C$, entonces $A \subset C$

Intersección

- Conmutativa

$$A \cap B = B \cap A$$

- Idempotencia

$$A \cap A = A$$

- Asociativa

$$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C = A \cap B \cap C$$

- Distributiva

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

- Elemento neutro

$$A \cap X = A$$

- Elemento absorbente

$$A \cap \phi = \phi$$

- Inclusión

$$A \cap B \subset A$$

- Si $A \subset B$

$$A = A \cap B$$

Otras operaciones a realizar con los subconjuntos borrosos son la complementación y la suma disyuntiva.

Complementación

En cuanto a la complementación, si se tiene que A es un subconjunto borroso de X , el complementario o negación de A , se define como el subconjunto borroso, \bar{A} , tal que para cada $x \in A$:

$$\bar{A}(x) = 1 - A(x)$$

En el ejemplo anterior, el complementario del subconjunto borroso A , sería:

$A = [0/a, 0,3/b, 0,7/c, 1/d, 0,1/e]$ y, gráficamente, tal como se muestra en la Figura II.9.

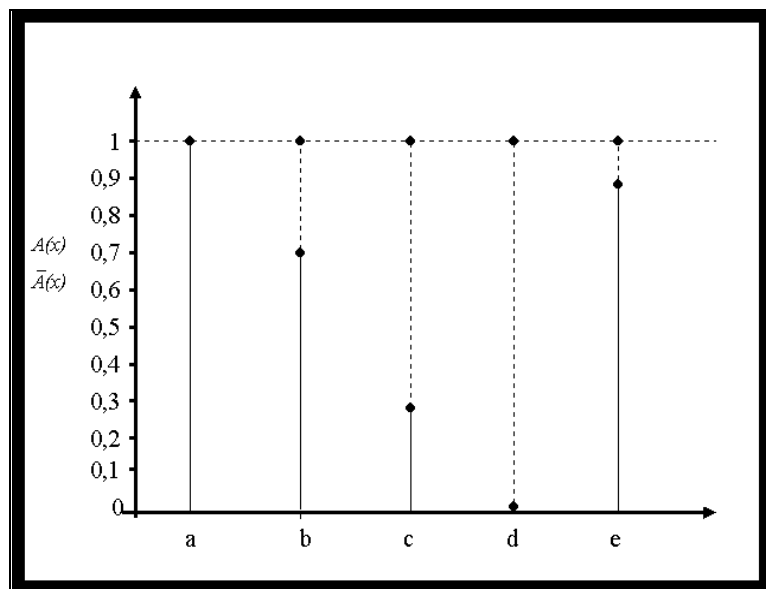


Figura II.9

De este modo, se puede decir que la negación es el complemento de un subconjunto borroso con respecto al espacio completo y, además, cumple las siguientes propiedades:

- Doble negación o involución

$$\overline{(\bar{A})} = A$$

- Ley de Morgan

$$\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

$$\overline{(A \cap B)} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

- $\bar{\phi} = X$
- $\bar{X} = \phi$

Suma Limitada

Por su parte la suma limitada, denotada $D = A \oplus B$, se define de la siguiente forma:

$$D = \text{Min}[1, A(x) + B(x)]$$

Siguiendo con el ejemplo, la suma limitada de los subconjuntos borrosos A y B quedaría como:

$$D = [1/a, 1/b, 0,7/c, 1/d, 1/e]$$

y su representación gráfica, tal como se muestra en la Figura II.10.

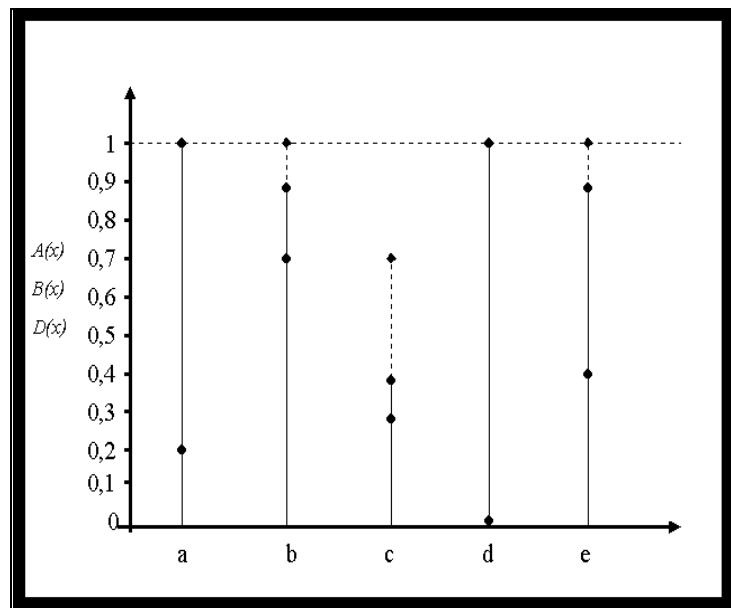


Figura II.10

Esta operación está estrechamente relacionada con la unión de subconjuntos borrosos. De hecho, si A y B son dos subconjuntos clásicos, entonces, $D = A \oplus B = A \cup B$.

La descripción de las operaciones anteriores se ha realizado para referenciales finitos, resultando sencilla su generalización a referenciales infinitos. Así, gráficamente la representación de la unión, intersección, negación y suma limitada, se pueden observar en las Figuras II.11, II.12, II.13 y II.14 respectivamente.

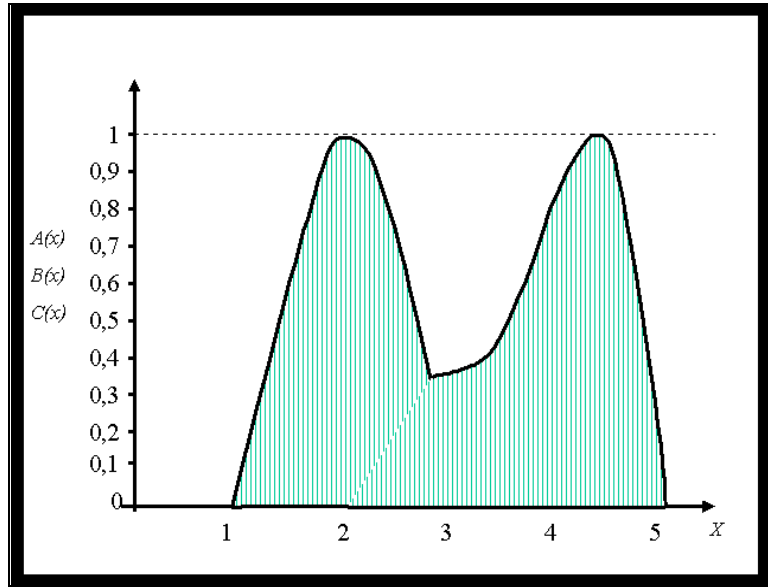


Figura II.11

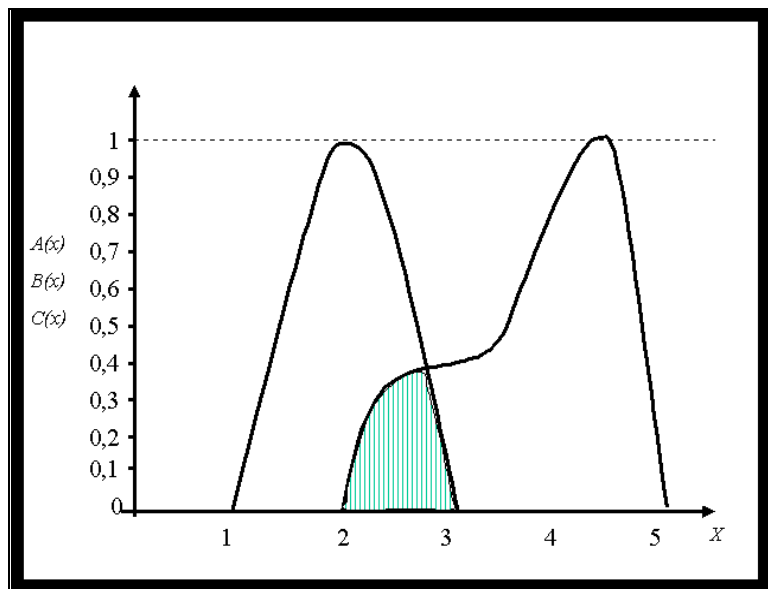


Figura II.12

II.3.2. NÚMEROS BORROSOS

En muchas situaciones, las personas son capaces únicamente de caracterizar la información numérica de forma imprecisa. Por ejemplo, se utilizan términos tales como alrededor de 5, cerca de 0, más o menos 8, etc. Éstos son ejemplos de lo que se denominan números borrosos. Utilizando la Teoría de los Subconjuntos Borrosos se pueden representar estos números como subconjuntos borrosos del conjunto de los números reales. De cualquier forma, para que sea factible utilizar estos números borrosos se debe conseguir realizar operaciones con tales números, estando entre ellas la suma, sustracción, multiplicación y división. Todo el proceso de realización de estas operaciones recibe el nombre de Aritmética Borrosa.

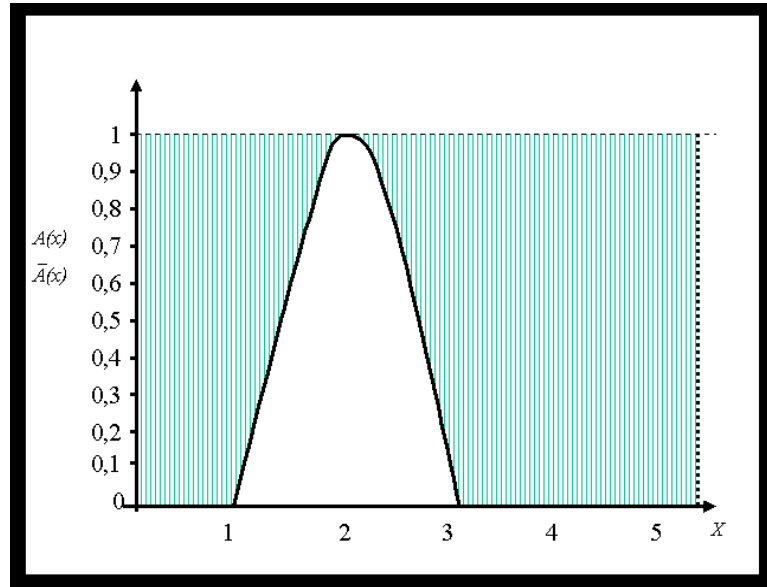


Figura II.13

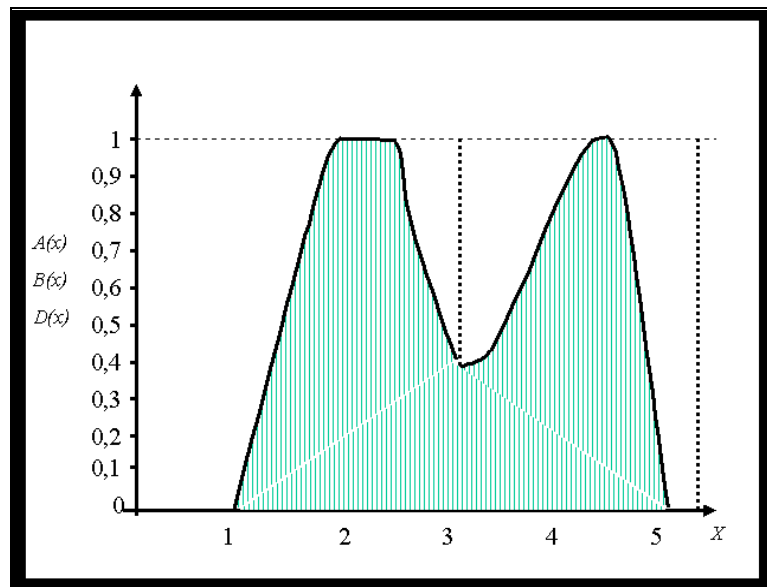


Figura II.14

Se define un número borroso como un subconjunto borroso del referencial de los números reales cuya función de pertenencia es *normal*, es decir, existe un valor del subconjunto para el cual su grado de pertenencia es 1, y *convexa*, la función de pertenencia a la izquierda y derecha de ese valor es monótona creciente. Ejemplos de números borrosos podrían ser los que se muestran en las Figuras II.15 a II.19.

II.3.2.1. NÚMEROS BORROSOS TRIANGULARES Y TRAPEZOIDALES

De entre todos los números borrosos destacan por su facilidad de utilización, el *número borroso triangular* y el *número borroso trapezoidal*. El primero, Figura II.15, posee la

particularidad de venir determinado por tres cantidades: una por debajo de la cual no va a descenderse, otra a la que por encima no será posible llegar y, finalmente, aquella que representa el máximo nivel de *presunción*.

El segundo, Figura II.16, viene determinado por cuatro cantidades; la primera y la cuarta tienen la misma interpretación que en el caso de los triangulares, mientras que la segunda y tercera representan un intervalo de confianza para el cual se tiene el máximo nivel de presunción, siendo el número borroso triangular un caso particular del trapezoidal cuando los valores segundo y tercero de este último coinciden.

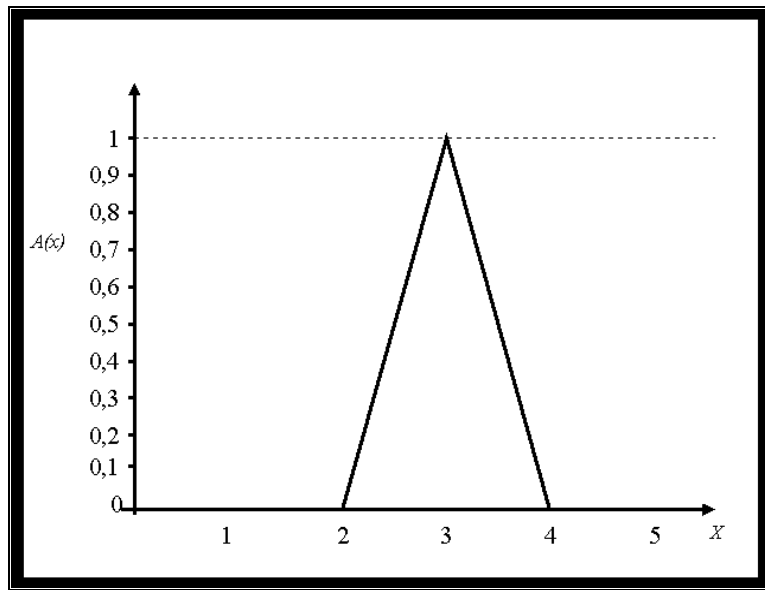


Figura II.15

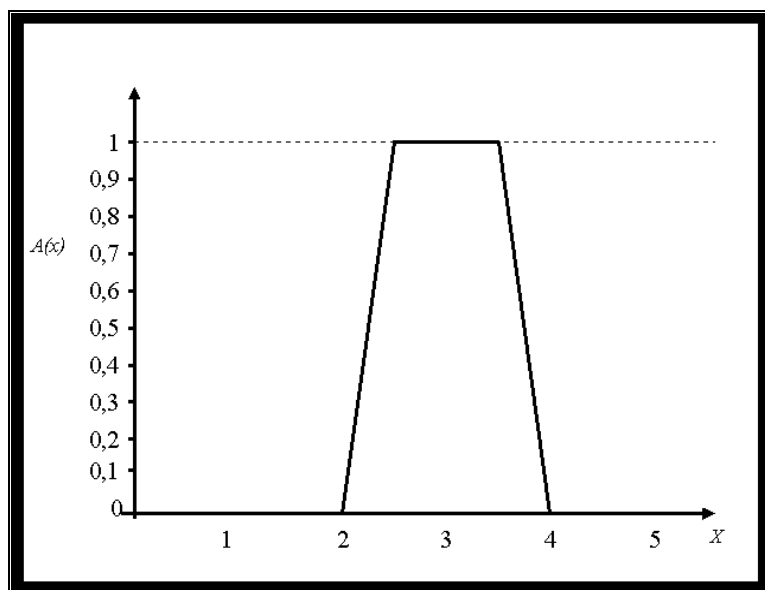


Figura II.16

Ambos tipos de números borrosos permiten formalizar de manera muy fidedigna gran cantidad de situaciones del mundo empresarial en la que se estiman magnitudes localizadas en el futuro.

De este modo, por ejemplo, la previsión del precio de compra de un artículo en el futuro podría realizarse afirmando que no va a costar menos de 40 unidades monetarias, lo más posible es que cueste 45 y como mucho costará 55 unidades monetarias, definiéndose en el campo de incertidumbre un número borroso triangular, tal como se muestra en la Figura II.20.

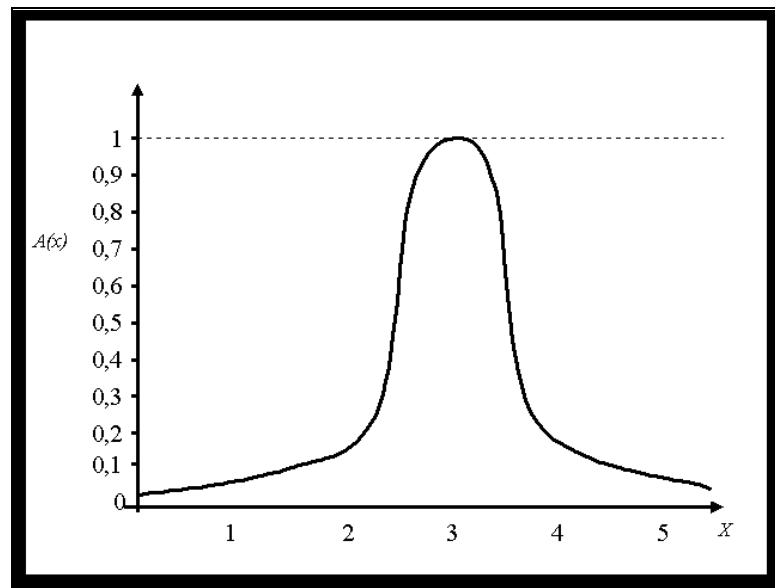


Figura II.17

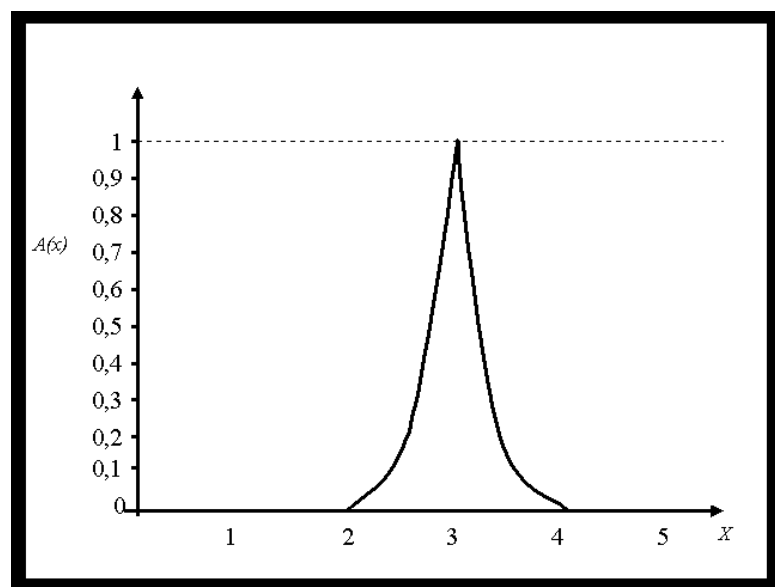


Figura II.18

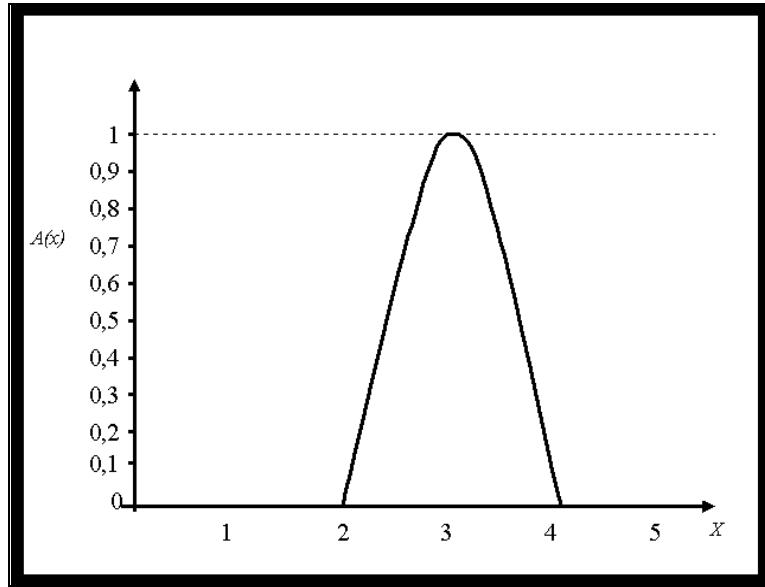


Figura II.19

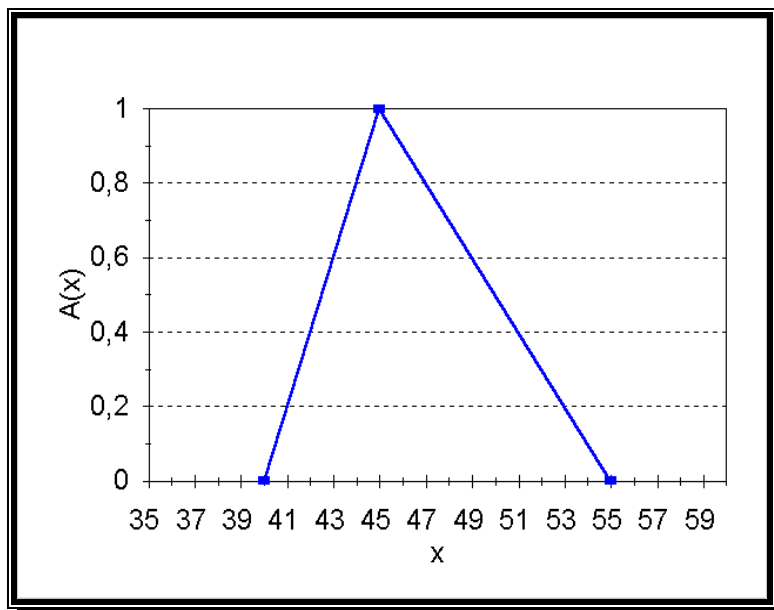


Figura II.20

Por otro lado, si lo más posible fuera que el precio pudiera encontrarse entre 43 y 45 con el resto de presunciones iguales, se habría definido un número borroso trapezoidal, tal como se muestra en la Figura II.21.

En este sentido, en el ámbito de la economía y la gestión de las empresas se estudian problemas cuyas magnitudes se proyectan hacia el futuro, no exigiendo frecuentemente una precisión absoluta sino un reflejo lo más cercano de la realidad posible.

Por este motivo, resulta de gran interés la utilización, en este contexto, de los números borrosos triangulares y trapezoidales.

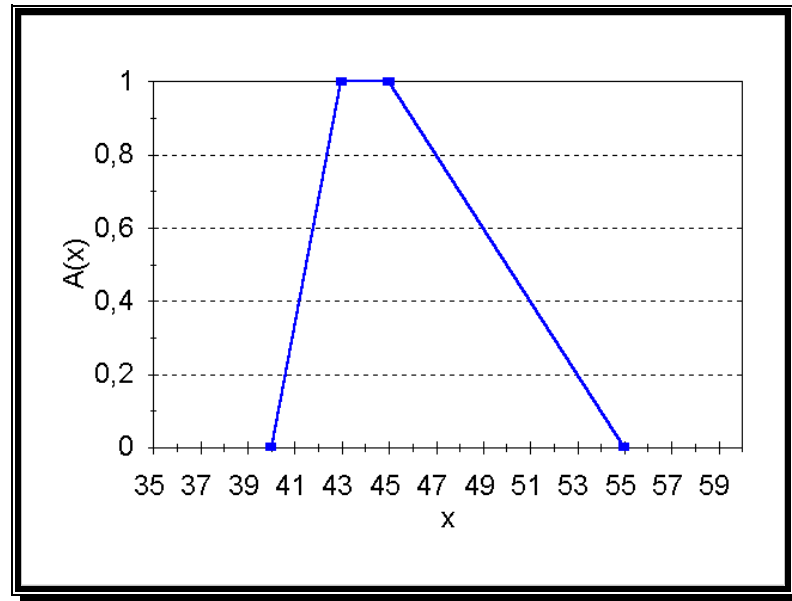


Figura II.21

II.3.2.2. FUNCIONES DE PERTENENCIA

Los números borrosos triangulares poseen funciones de pertenencia lineales, distinguiéndose tres puntos característicos en el mismo, por lo que de manera ternaria podrían representarse como:

$$A = (a_1, a_2, a_3)$$

y, gráficamente, como:

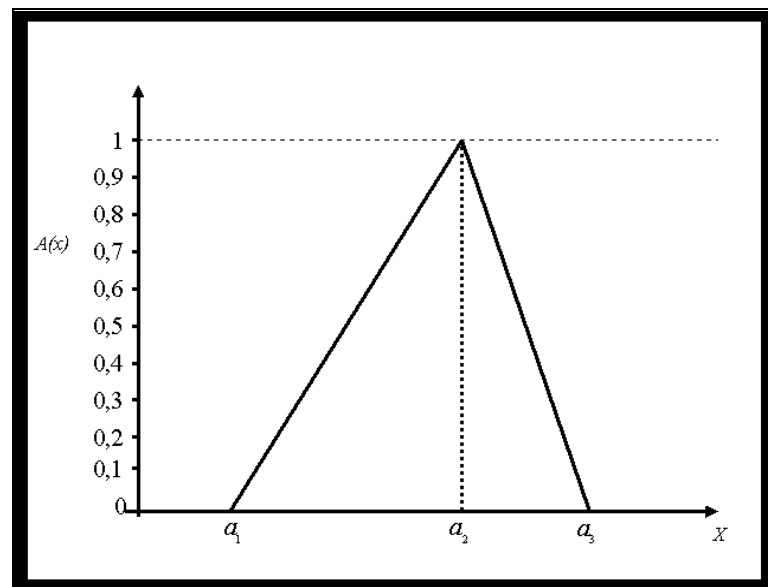


Figura II.22

Su función de pertenencia viene dada por la siguiente expresión:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x < a_3 \\ 0 & a_3 \leq x \end{cases}$$

Por otro lado, los números borrosos trapezoidales poseen cuatro puntos característicos, siendo sus funciones de pertenencia, también, de carácter lineal y su representación en forma de cuatrupla como:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$$

y, gráficamente, como:

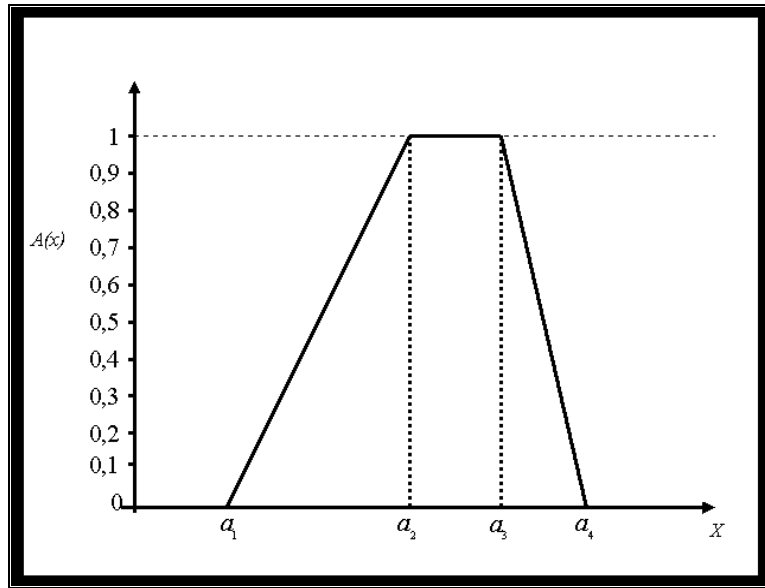


Figura II.23

Su función de pertenencia viene dada por la siguiente expresión:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x < a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & a_3 < x < a_4 \\ 0 & a_4 \leq x \end{cases}$$

II.3.2.3. OPERACIONES CON LOS NÚMEROS BORROSOS TRIANGULARES Y TRAPEZOIDALES

Dados dos números borrosos triangulares $A = (a_1, a_2, a_3)$ y $B = (b_1, b_2, b_3)$ se define:

- Suma

$$A + B = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$$

y de acuerdo con la función de pertenencia sería:

$$A(x) + B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 + b_1 \\ \frac{x - (a_1 + b_1)}{(a_2 + b_2) - (a_1 + b_1)} & a_1 + b_1 < x \leq a_2 + b_2 \\ \frac{(a_3 + b_3) - x}{(a_3 + b_3) - (a_2 + b_2)} & a_2 + b_2 \leq x < a_3 + b_3 \\ 0 & a_3 + b_3 \leq x \end{cases}$$

- Resta

$$A - B = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)$$

y de acuerdo con la función de pertenencia sería:

$$A(x) - B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 - b_3 \\ \frac{x - (a_1 - b_3)}{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_3)} & a_1 - b_3 < x \leq a_2 - b_2 \\ \frac{(a_3 - b_1) - x}{(a_3 - b_1) - (a_2 - b_2)} & a_2 - b_2 \leq x < a_3 - b_1 \\ 0 & a_3 - b_1 \leq x \end{cases}$$

- Multiplicación por un número real

$$\forall k \in \mathfrak{R}$$

$$k \cdot A = (\min(ka_1, ka_3), ka_2, \max(ka_1, ka_3))$$

- Multiplicación aproximada en $\mathfrak{R}^+ \cup 0$ [Dubois y Prade, 1980; Kaufmann y Gil-Aluja, 1986]

$$A \cdot B = (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3)$$

y de acuerdo con la función de pertenencia sería:

$$A(x) \cdot B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \cdot b_1 \\ \frac{x - (a_1 \cdot b_1)}{(a_2 \cdot b_2) - (a_1 \cdot b_1)} & a_1 \cdot b_1 < x \leq a_2 \cdot b_2 \\ \frac{(a_3 \cdot b_3) - x}{(a_3 \cdot b_3) - (a_2 \cdot b_2)} & a_2 \cdot b_2 \leq x < a_3 \cdot b_3 \\ 0 & a_3 \cdot b_3 \leq x \end{cases}$$

Por otro, en el caso de números borrosos trapezoidales, si se tienen dos tales que $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ y $B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ se define:

- Suma

$$A + B = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)$$

y de acuerdo con la función de pertenencia sería:

$$A(x) + B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 + b_1 \\ \frac{x - (a_1 + b_1)}{(a_2 + b_2) - (a_1 + b_1)} & a_1 + b_1 < x < a_2 + b_2 \\ 1 & a_2 + b_2 \leq x \leq a_3 + b_3 \\ \frac{(a_4 + b_4) - x}{(a_4 + b_4) - (a_3 + b_3)} & a_3 + b_3 < x < a_4 + b_4 \\ 0 & a_4 + b_4 \leq x \end{cases}$$

- Resta

$$A - B = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1)$$

y de acuerdo con la función de pertenencia sería:

$$A(x) - B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 - b_4 \\ \frac{x - (a_1 - b_4)}{(a_2 - b_3) - (a_1 - b_4)} & a_1 - b_4 < x < a_2 - b_3 \\ 1 & a_2 - b_3 \leq x \leq a_3 - b_2 \\ \frac{(a_4 - b_1) - x}{(a_4 - b_1) - (a_3 - b_2)} & a_3 - b_2 < x < a_4 - b_1 \\ 0 & a_4 - b_1 \leq x \end{cases}$$

- Multiplicación por un real

$$\forall k \in \mathfrak{R}$$

$$k \cdot A = (\min(ka_1, ka_4), \min(ka_2, ka_3), \max(ka_2, ka_3), \max(ka_1, ka_4))$$

- Multiplicación aproximada en $\mathfrak{R}^+ \cup 0$ [Dubois y Prade, 1980; Kaufmann y Gil-Aluja, 1986]

$$A \cdot B = (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3, a_4 \cdot b_4)$$

y de acuerdo con la función de pertenencia sería:

$$A(x) \cdot B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \cdot b_1 \\ \frac{x - (a_1 \cdot b_1)}{(a_2 \cdot b_2) - (a_1 \cdot b_1)} & a_1 \cdot b_1 < x < a_2 \cdot b_2 \\ 1 & a_2 \cdot b_2 \leq x \leq a_3 \cdot b_3 \\ \frac{(a_4 \cdot b_4) - x}{(a_4 \cdot b_4) - (a_3 \cdot b_3)} & a_3 \cdot b_3 < x < a_4 \cdot b_4 \\ 0 & a_4 \cdot b_4 \leq x \end{cases}$$

Aunque se podrían incluir más, las anteriores operaciones son, básicamente, las que se utilizarán en posteriores capítulos, siendo además las más significativas de la aritmética que caracteriza a los números borrosos.

II.3.2.4. DISTANCIA ENTRE NÚMEROS BORROSOS

Para aquellos problemas en los que se realizan estimaciones inciertas, es importante conocer las distancias que las separan para poder tomar decisiones y establecer prioridades o jerarquías.

En este sentido, para dos números borrosos A y B con respecto al referencial E se define la Distancia de Hamming que los separa como la suma de las distancias a izquierda y derecha a cada nivel de presunción α .

Las distancias a izquierda y derecha se definen como siguen:

$$\forall \alpha \in [0,1] \quad d_l(A, B) = \int_{\alpha=0}^1 |A_\alpha^l - B_\alpha^l| d\alpha$$

donde A_α^l es el primer elemento de E del que $A(A_\alpha^l) = \alpha$ y B^l es el respectivo para ese subconjunto borroso B , mostrándose su representación gráfica en la Figura II.24.

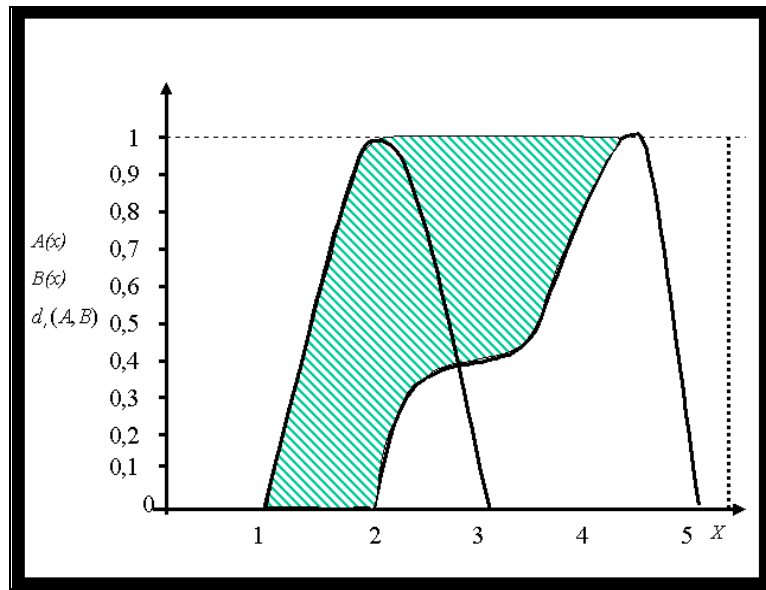


Figura II.24

Por su parte la distancia a derecha puede representarse como:

$$\forall \alpha \in [0,1] \quad d_d(A, B) = \int_{\alpha=0}^1 |A_\alpha^2 - B_\alpha^2| d\alpha$$

donde A_α^2 es el último elemento de E del que $A(A_\alpha^2) = \alpha$ y B_α^2 es el respectivo para ese subconjunto borroso B .

Gráficamente, la distancia a la derecha se representan tal como se muestra en la Figura II.25.

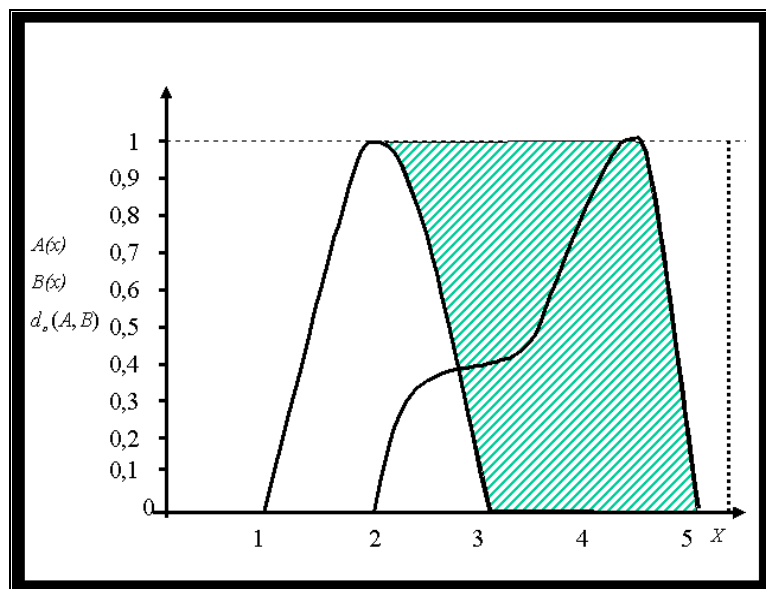


Figura II.25

De acuerdo con las dos distancias anteriores la distancia total que separa a dos números borrosos se define por la suma de la distancia a izquierda y a derecha de los mismos.

$$\begin{aligned}
 d(A, B) &= d_l(A, B) + d_d(A, B) = \\
 &= \int_{\alpha=0}^1 (|A_\alpha^1 - B_\alpha^1| + |A_\alpha^2 - B_\alpha^2|) d\alpha
 \end{aligned}$$

II.3.3. ETIQUETAS LINGÜÍSTICAS

En muchas aplicaciones se utilizan los subconjuntos borrosos para representar el significado de un concepto determinado. Por ejemplo, se puede definir la expresión “precio alto” como un subconjunto borroso del conjunto de precios. El concepto “competencia fuerte” se puede representar como un subconjunto borroso del conjunto de número de competidores, etc. Un empleo de esta capacidad de representación de los subconjuntos borrosos consiste en ayudar a definir valores lingüísticos. Si, por ejemplo, P es una variable que toma sus valores en el conjunto X , la manera normal a través de la cual se puede presentar la información de esta variable es por medio de expresiones como P es x , donde x es algún valor en el conjunto X .

En este sentido, Zadeh sugiere además que se puede extender la idea de que la variable P tome algún valor lingüístico. Con lo cual, si P define la variable precio de el artículo M se puede expresar el mismo de la forma:

P es alto

De este modo, la expresión anterior es un ejemplo de un valor lingüístico, siendo necesario cuando se utilizan las mismas establecer la relación de un subconjunto borroso con el valor de la variable, esto es, si por ejemplo los valores que el precio del artículo M puede tomar se encuentran entre 0 y 100 , una representación de los subconjuntos borrosos *precio bajo*, *precio medio* y *precio alto*, podría ser la que se muestra en la Figura II.26.

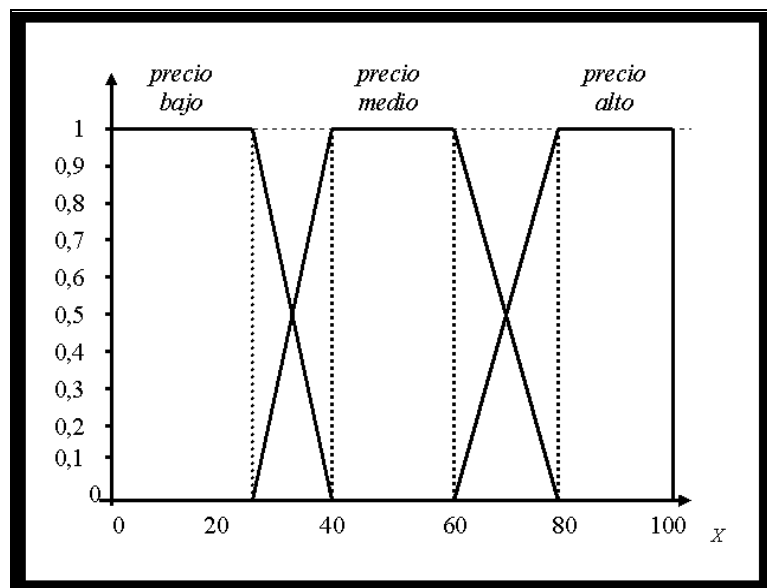


Figura II.26

Con la utilización de etiquetas lingüísticas, aparece un tipo de incertidumbre, denominada imprecisión, que surge de la inexactitud inherente al uso del lenguaje que, sin embargo, puede representar fielmente el razonamiento humano.

En este sentido, es normal que los individuos tengan serios inconvenientes para expresar con valores numéricos exactos sus apreciaciones sobre el comportamiento de determinadas variables. Bajo estas circunstancias, parece más adecuado expresar sus opiniones por medio de valores lingüísticos en vez de valores numéricos exactos, es decir, suponer que el dominio de las variables que intervienen en un problema es un conjunto de términos lingüísticos.

Así, en situaciones donde intervienen individuos, los cuales usan más bien expresiones lingüísticas que numéricas para dar sus opiniones, se consigue modelar de manera más directa gran cantidad de problemas reales con la utilización de etiquetas lingüísticas, ya que permite representar la información (casi siempre poco precisa) de manera muy aproximada a como se expresa inicialmente.

A este respecto, conviene señalar que el principal problema en el uso de variables lingüísticas se encuentra en la determinación del conjunto de etiquetas a utilizar para expresar las opiniones de los individuos.

Para ello, se ha de determinar el nivel de distinción al que se quiere expresar la incertidumbre, o lo que es lo mismo la *granularidad* de la incertidumbre del conjunto de etiquetas, y la *semántica* de las etiquetas, es decir, qué tipo de funciones de pertenencia utilizar para caracterizar los valores lingüísticos.

El número de etiquetas determinará la granularidad del conocimiento incierto que se pueda expresar. Diferentes estudios han llegado a conclusiones tanto sobre la *cardinalidad*, es decir, el número de etiquetas que se ha de establecer, recomendándose en número impar [Beyth-Marom, 1982]; como sobre el límite de granularidad, la cual algunos autores entienden que no debe ser mayor de 11 o 13 etiquetas [Bonissone y Decker, 1986].

Normalmente, la semántica de las etiquetas se da mediante números difusos definidos sobre el intervalo unidad $[0,1]$, los cuales se describen utilizando funciones de pertenencia. Dado que las etiquetas son aproximaciones de expresiones lingüísticas propias de los individuos, se considerará que las funciones de pertenencia trapezoidales lineales son suficientemente buenas para recoger la imprecisión de las expresiones humanas, ya que conseguir valores más exactos puede ser una tarea imposible e innecesaria.

Esta representación establece una cuatrupla $(a_i, b_i, \alpha_i, \beta_i)$, siendo los dos primeros parámetros el intervalo en el cual la función de pertenencia toma el valor 1, y el tercero y el cuarto la amplitud a la izquierda y la derecha, respectivamente.

Así, en el ejemplo anterior de los precios las cuatruplas que definen las tres etiquetas lingüísticas serían:

$$\begin{aligned} \textit{precio bajo} &= (0,28,0,12) \\ \textit{precio medio} &= (40,60,12,20) \\ \textit{precio alto} &= (80,100,20,0) \end{aligned}$$

II.3.4. APLICACIONES DE LOS SUBCONJUNTOS BORROSOS EN LA GESTIÓN DE EMPRESAS

Los números borrosos han sido creados para reflejar la vaguedad de la percepción humana y con ella la noción de presunción. De esta forma, la Teoría de los Subconjuntos Borrosos, como rama de la matemática que se ocupa del tratamiento tanto de lo subjetivo como de lo incierto, constituye un intento de recoger un fenómeno tal cual se presenta en la realidad y realizar su tratamiento sin intentar deformarlo para hacerlo preciso y cierto [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986]. Así, en la medida en que los responsables de la gestión de las organizaciones empresariales reconocen que su entorno y, en consecuencia, la información que manejan es difusa o incierta, parece evidente que prefieran representaciones realistas aunque imprecisas frente a modelos sólo supuestamente exactos.

Los desarrollos iniciales de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos estaban motivados por la percepción de que las técnicas tradicionales del análisis de sistemas no eran efectivas cuando trabajaban con problemas en los cuales las variables eran altamente dependientes unas de otras o que estaban definidos de una manera somera, siendo la mayoría de ellos de biología, economía, psicología, lingüística y muchos otros campos.

Una peculiaridad común de todos ellos era la falta de límites estrictos en la delimitación de variables y la imprecisión e incertidumbre inherentes a los mismos. El concepto de subconjunto borroso es un reflejo de esta realidad pues sirve como un punto de partida de teorías que tienen la habilidad de modelar la penetrante imprecisión e incertidumbre del mundo real.

En los intentos por formalizar los actuales comportamientos y actividades económicas de las empresas ha resultado cada vez más necesario incorporar hipótesis que aún cuando no sean medibles de forma exacta sí son susceptibles de estimación, comparación, relación, etc., ya que si una situación no puede ser precisada pero se puede afirmar que es mejor que otra se pasa a un estado superior de conocimiento, es decir, cuando se dice que un futuro acontecimiento es más posible que otro, se está abriendo un campo fundamental en las perspectivas del razonamiento y de la decisión, pues el conocimiento subjetivo puede ser sometido, prácticamente, a todos los mecanismos de la lógica.

Por consiguiente, si el conocimiento que se tiene del comportamiento de las variables de interés en el proceso de toma de decisiones es impreciso se debe incluir entonces la noción de nivel de presunción y, en consecuencia, se necesita un acercamiento a aquellas herramientas matemáticas que permitan procesar esa información y trabajar con valoraciones subjetivas.

Las aplicaciones en la gestión de esta teoría resultan relativamente recientes, pero su importancia presenta un elevado crecimiento debido a que las posibilidades que permite la utilización de los subconjuntos borrosos en la gestión de empresas suponen un nuevo planteamiento de problemas resueltos con herramientas tradicionales. En este sentido su aplicación ha recorrido, entre otros, los siguientes tópicos:

- Análisis de Proyectos de Inversión [López *et al.*, 1995]
- Análisis Económico-Financiero de Empresas [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986; Gil-Lafuente, 1993]
- Cálculo del Umbral de Rentabilidad [Mendaña-Cuervo, 1995]
- Competencia Oligopolística [Mansur, 1995]
- Contabilidad Directiva [López-González, 1992a]
- Decisiones de Hacer o Comprar [López-González, 1993b; López-González y Mendaña-Cuervo, 1994]
- Fijación de Precios [Mendaña-Cuervo, 1997]
- Gestión de Carteras [Ye y Gu, 1994]
- Gestión de Inventarios [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986]
- Gestión de Personal [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986; Gil-Aluja, 1996, 1998; Gil-Lafuente, 1997]
- Gestión de Proveedores [Bellandi *et al.*, 1997]
- Gestión de Proyectos [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986, 1987, 1992]
- Gestión de Tesorería [López-González, 1992b]
- Gestión Pública [López-González, 1993a]
- Logística y Distribución [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986; Gil-Lafuente, 1997].
- Marketing [Gil-Lafuente, 1997]
- Matemática Financiera [Terceño, 1995; Cassú, *et al.*, 1996]
- Planificación de Inversiones [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986; Gil-Lafuente, 1993]
- Presupuestación [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986; Gil-Lafuente, 1993]

- Previsiones a largo plazo [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986; Bojadziev y Bojadziev, 1997]
- Renovación de Equipos [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986]

Resumiendo, la Teoría de los Subconjuntos Borrosos es útil para resolver problemas de gestión cuando éstos incluyen variables ambiguas, relaciones, restricciones y objetivos donde una clasificación binaria sería poco realista, no se dispone de altos niveles de precisión, y el nivel de certeza requerido para las estimaciones no es fijo.

Finalmente, debe ponerse énfasis en que la Teoría de los Subconjuntos Borrosos no es una teoría de decisión, sino más bien una forma de operar donde los fenómenos vagos en sistemas humanos pueden manejarse sistemáticamente. Esta forma de operar puede utilizarse en la modelización de diferentes tipos de problemas, como la optimización con restricciones, la toma de decisiones multipersonales y el desarrollo de sistemas expertos de gestión que manejen la ambigüedad.

CAPÍTULO III. MÉTODOS MODERNOS DE OPTIMIZACIÓN: LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

III.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, se han desarrollado, con notable éxito, métodos que simulan los procesos de la naturaleza para resolver problemas, volviendo a ser ésta una fuente inagotable de ideas para el desarrollo técnico y científico. Entre estas técnicas, destacan por su importancia las *redes de neuronas artificiales*, los *autómatas celulares* y los *algoritmos de evolución*.

En términos generales, las redes de neuronas artificiales son sistemas de elementos simples interconectados masivamente en paralelo y con organización jerárquica, los cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico [Kohonen, 1988].

Por su parte, los autómatas celulares tratan de simular la cooperación entre diferentes células, es decir, realizan tareas no recibiendo estímulos como haría un autómata clásico, sino por medio de la influencia de los estados del comportamiento conjunto de las células.

Finalmente, los algoritmos evolutivos se inspiran en el proceso biológico de la evolución de las especies, es decir, en la selección natural, que determina que miembros de una población sobrevivirán; y en la reproducción, que asegura la mezcla y recombinación de la información genética entre la descendencia.

En el campo de la optimización funcional, los métodos de búsqueda de la mejor solución se pueden agrupar en tres tipos: basados en el cálculo o analíticos, enumerativos y probabilísticos [Iglesias-Otero, 1997].

En el primer grupo se puede distinguir aquellos que, generalmente, buscan puntos extremos resolviendo un conjunto de ecuaciones no lineales, en general resultantes del estudio de la función objetivo. Esto es, el estudio de las raíces de la derivada en una variable para obtener los puntos críticos de una función y su generalización al caso de varias variables.

Por otro lado, entre los métodos directos, destaca por su sencillez aquel que basa la búsqueda de la solución óptima en el encadenamiento de movimientos siempre en la dirección en la que el cambio de la función es más rápido. Esta técnica, que se conoce como *Hill Climbing*, es una sencilla regla de búsqueda que depende de la evaluación en ciertos puntos de la función a optimizar, siendo la misma para todas las funciones. Sin embargo, a la sencillez del método hay que contraponer dos dificultades relevantes: la primera de ellas es la facilidad con la que este algoritmo puede caer atrapado en un punto óptimo local; y la segunda, es el mal comportamiento del método en zonas constantes de la función.

Para tratar de salvar estas dificultades, la mayoría de las técnicas de optimización hacen uso de propiedades explícitas de la función con la que trabajan. Por ejemplo, la *Programación Lineal* exige que tanto la función como las condiciones adicionales sean lineales. Aunque pudiera parecer que estas limitaciones podrían reducir su utilización, existe un amplio espectro de áreas satisfactorias de aplicación. Por su parte, otras técnicas, como la de los *Multiplicadores de Lagrange*, además de presentar alguna restricción sobre el dominio de las funciones, exigen que éstas deban ser al menos derivables, siendo los óptimos encontrados únicamente locales.

Los métodos analíticos han sido estudiados extensamente, presentándose, a pesar de ello, unos por su carácter local, otros por su dependencia de ciertas condiciones funcionales u otras limitaciones, como no siempre aplicables en la práctica.

En problemas reales, muchas situaciones poco o nada tienen que ver con la noción de derivada y lo que ello implica. Una sencilla muestra se tiene en el gráfico de evolución de la cotización del valor de un activo financiero en el mercado a lo largo del tiempo.

En este sentido, se puede concluir que estas técnicas son insuficientemente robustas en ciertos dominios. Además, existen muy pocas técnicas para funciones no continuas, siendo preciso considerar otros métodos, a saber:

El *Método del Enrejado*, por su parte, basa su técnica en la construcción de una red rectangular, evaluando la función a optimizar en cada una de las intersecciones de la red. Desde un punto de vista práctico es válido, únicamente, para problemas de dimensiones pequeñas.

El enrejado es un ejemplo de método de tipo enumerativo, que son técnicas basadas en una idea simple y directa: en un espacio de búsqueda finito o infinito numerable, el algoritmo actúa evaluando la función en cada punto del espacio, un punto cada vez. Por su simplicidad este tipo de métodos parecen atractivos, sin embargo tales técnicas deben desecharse por su falta de eficiencia, ya que muchos espacios de búsqueda son demasiado grandes para efectuar un estudio punto a punto con costes aceptables desde el punto de vista práctico.

En cuanto a los algoritmos de búsqueda probabilística, éstos han incrementado ampliamente su notoriedad como resultado del reconocimiento de los defectos de los métodos analíticos y enumerativos. No obstante, estos algoritmos también pecan de falta de eficiencia.

Un método extensamente difundido es el denominado como *Simulated Annealing*. Generalmente, se expone como un algoritmo de minimización, siendo trivial su adaptación a un problema de maximización. La descripción de su funcionamiento es el siguiente:

Se determina un entorno dentro del espacio de búsqueda, y se escoge un punto α de forma aleatoria, en ese entorno. A continuación, se elige, aleatoriamente también, un punto β en ese entorno y se evalúa la función objetivo f en ambos puntos. Si $f(\beta) < f(\alpha)$, entonces β reemplaza a α . Si, por el contrario, β es peor que α en nuestro camino hacia el mínimo, entonces el nuevo elemento β se rechaza. La selección de nuevos elementos se repite hasta que el cambio en las evaluaciones de f no es significativo para los requisitos del problema.

III.2. EVOLUCIÓN NATURAL Y EVOLUCIÓN ARTIFICIAL

Las primeras descripciones técnicas y definiciones de evolución provienen de la biología. En este contexto, la evolución designa cualquier proceso en el cual una estructura va modificándose de forma progresiva para lograr el comportamiento óptimo en su entorno. Tales estructuras pueden ser desde una proteína hasta el cerebro humano. Una observación cuidadosa de la evolución sufrida por esas estructuras revela generalmente un conjunto básico de modificadores estructurales u operadores, cuyas acciones reiteradas conducen a las modificaciones observadas.

Durante el siglo pasado los científicos se plantearon el problema de nuestra existencia en relación con el origen de la vida. En 1858 Charles Darwin y Alfred Wallace, de forma independiente, plantearon sus ideas sobre la selección natural de las especies; una explicación científica, simple y elegante de la complejidad y variedad de los seres vivos de la naturaleza.

Darwin observó que, usualmente, los organismos generan muchos descendientes, sin embargo, sus poblaciones, de las que cabría esperar que crecieran exponencialmente, tienden a estabilizarse a un tamaño constante. Teniendo en cuenta que los organismos de cualquier población presentan características individuales, él concluyó que las “fuerzas” que actúan en la población, enfermedades, depredación, etc., determinan la supervivencia de los especímenes mejor relacionados con su entorno. Como tales supervivientes se pueden reproducir, las características que les ayudaron a sobrevivir pasarían a sus descendientes. Recíprocamente, sus defectos no pasarán y, al cabo del tiempo desaparecerán de la especie. En esencia, la evolución por la selección natural de las especies se basa en la acumulación de pequeños cambios positivos en la población.

Darwin, con sus estudios, desarrolló la teoría de la evolución natural en 1830; se centró en la postulación de Teorías sobre *Adaptación y Selección Natural*, defendiendo que la mayoría de los organismos a corto plazo tienen pocas variaciones de una generación a otra, pero no así a largo plazo; y también que la mortalidad juega un papel muy importante en la selección de los mejores individuos, denominando al proceso por el cual la naturaleza elimina a los individuos peor adaptados *Selección Natural* [Darwin, 1996].

“La Selección natural analiza día a día, hora a hora, en todo el mundo, las más ligeras variaciones; rechaza las malas, conserva y potencia las buenas; actúa silenciosa y discretamente para la mejora de cada ser orgánico en relación con sus condiciones de vida orgánicas e inorgánicas” [Darwin, 1859].

En el presente siglo, al final de los años cincuenta y principios de los sesenta algunos biólogos empezaron a experimentar con simulaciones en computador de los sistemas genéticos. Uno de esos pioneros fue John Holland, que trató de aplicar los principios en los que se basan los procesos de la evolución natural como patrones en el diseño de mecanismos artificiales para la resolución de problemas. Holland comenzó a desarrollar ideas y técnicas sobre los *sistemas adaptativos*, realizando diversos cursos en la universidad de Michigan sobre los mismos y comenzando a publicar trabajos, cuya culminación tendría lugar con la elaboración de “*Adaptation in Natural and Artificial Systems*”, publicado en 1975.

Paralelamente a los estudios de Holland, otros científicos investigaron la utilización de la evolución natural como procedimiento de búsqueda de soluciones. Así, Rechemberg [Rechemberg, 1973] introdujo las estrategias de evolución como métodos para optimizar parámetros. Su modelo consistía en generar un vector de parámetros iniciales, solución factible a un problema dado, y a partir de él se generaba otro mediante cambios aleatorios sobre el primero, seleccionándose el mejor de ellos para iterar de nuevo el proceso.

Por su parte, Fogel, Owens y Walsh [Fogel *et al.*, 1966] desarrollaron la programación evolutiva, una técnica en la que las soluciones candidatas para un problema dado se presentan como máquinas de estados finitos, las cuales evolucionan mediante las mutaciones aleatorias y la selección de los mejores.

Finalmente, Koza [Koza, 1991] propuso un modelo de algoritmo de evolución específico para obtener programas de computadora que resuelven problemas dados.

En este sentido, el término de evolución tiene una connotación de algo positivo, de una continua mejora, pero sin embargo trasluce la idea de que esta mejora es debida a una continua lucha por sobrevivir. Las técnicas de evolución artificial no llegan a desarrollar estos planteamientos y se reducen a la búsqueda de la mejor adaptación.

III.3. ALGORITMOS GENÉTICOS

Los Algoritmos Genéticos son procesos adaptativos para la búsqueda de soluciones en problemas complejos, inspirados en los procesos evolutivos de los organismos naturales. En este sentido, para que en la naturaleza los procesos evolutivos tengan lugar se han de satisfacer las siguientes condiciones:

- Una entidad o individuo tiene la capacidad de reproducirse.
- Hay una población de tales individuos que son capaces de reproducirse.
- Existe una variedad, diferencia, entre los individuos que se reproducen.
- Algunas diferencias en la habilidad para sobrevivir en el entorno están asociadas con esa variedad.

Esta diversidad se manifiesta en cambios en los *cromosomas* de los individuos de la población, y se traslada a la variación en la estructura y el comportamiento de los individuos en su entorno. Estos cambios en la estructura y comportamiento se reflejan en el grado de supervivencia, adaptación, y en el nivel de reproducción. Los individuos que mejor se adaptan a su entorno son los que más sobreviven y más se reproducen y, por tanto, en un período de tiempo con muchas generaciones, la población llega a contener más individuos cuyos comportamientos son más adecuados a su entorno, sobreviviendo y reproduciéndose en un alto índice, de forma que con el tiempo la estructura de individuos en la población cambia debido a la selección natural.

La rama de la genética que guarda una estrecha relación con los Algoritmos Genéticos es la *genética de poblaciones*, la cual estudia las relaciones evolutivas, la mezcla del material genético y los métodos de adaptación al entorno.

Los Algoritmos Genéticos son aplicaciones informáticas modelizadas mediante la genética y la evolución. Están diseñados para buscar soluciones interesantes y efectivas para problemas complejos. Su proceso de búsqueda, basado en la supervivencia por la adecuación, actúa manipulando la población de soluciones potenciales del problema en cuestión hasta que una de ellas, la supuestamente mejor, domine la población.

Los Algoritmos Genéticos se han añadido a los procedimientos de optimización. Sin embargo, la palabra optimización tiene unas connotaciones negativas, especialmente en economía, pues en muchos casos hablar de óptimo es algo que carece de significado. Óptimo es pues un concepto altamente abstracto y dada la complejidad del mundo real, soluciones óptimas en el pasado puede que no lo sean en el futuro. En mucha de la literatura de los Algoritmos Genéticos, se dice que son adecuados para llegar a soluciones próximas al óptimo en una multiplicidad grande de problemas. Es más apropiado decir que son capaces de obtener soluciones atractivas o interesantes.

III.3.1. ESTRUCTURA DE UN ALGORITMO GENÉTICO

El punto de partida para intentar utilizar un Algoritmo Genético en la resolución de problemas constituye la representación del problema de manera que sea posible que el Algoritmo Genético pueda trabajar con él.

En la formulación inicial, las soluciones del problema se representaban mediante cadenas binarias de longitud fija, debido, sobre todo, a la facilidad que presentaba el diseño de operadores para tal representación. Sin embargo, las buenas propiedades de los Algoritmos Genéticos no radican en el uso de cadenas binarias, por lo que se ha utilizado otro tipo de representaciones para resolver problemas concretos.

Con la representación binaria se pretende mantener el paralelismo con la biología, ya que la cadena de unos y ceros puede ser asimilada a una estructura de tipo cromosómico. Y así, igual que un cromosoma puede ser descodificado para revelar las características de un organismo vivo, también las cadenas de ceros y unos pueden ser descodificadas para revelar las soluciones potenciales de un problema.

Una vez resuelto el problema de la representación, el Algoritmo Genético comienza con la generación, de manera aleatoria, de una población de cadenas de soluciones.

A partir de esta primera población y gracias a la utilización de los operadores genéticos, los cuales están basados en los procesos biológicos que ocurren en la naturaleza, se consigue la evolución de la población buscando mejorar la adecuación de las soluciones al problema en cuestión.

Así, durante sucesivas iteraciones (generaciones), se evalúa la adecuación o bondad de las soluciones (adaptación), y sobre la base de esta evaluación, se forma una nueva población utilizando un proceso de selección y operadores genéticos específicos, tales como el *cruce* y la *mutación*.

De este modo, las fases de un Algoritmo Genético se pueden describir de una manera esquemática en:

- a) Creación de una población de soluciones potenciales al azar
- b) Cálculo de la adecuación de cada individuo o soluciones potenciales de la población. Se precisa que el cálculo que se haga esté estrechamente relacionado con el problema a resolver, es decir, que aquellas soluciones que sean mejores para el problema reciban una adecuación mayor, y las peores menor.
- c) Selección de los individuos que se van a convertir en los “padres” de la siguiente generación. Básicamente, los individuos mejor adaptados tendrán el privilegio de

ser los seleccionados para dar lugar a la siguiente generación. Se trata de simular el proceso de la selección natural y de la evolución de las especies, quizás de una forma más rápida de como se produce en la naturaleza.

- d) Creación de una segunda generación a partir de los “padres” previamente seleccionados.
- e) Volver al segundo paso y repetir desde ahí hasta el cuatro hasta que la población converja

A modo de resumen, en la Figura III.1 se muestra el diagrama de flujo del esquema anterior.

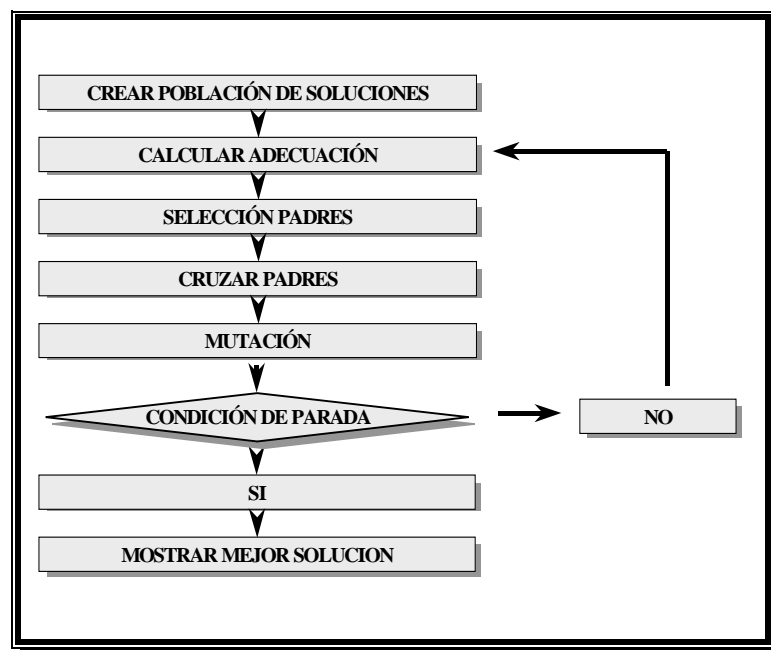


Figura III.1.

III.3.1.1. REPRESENTACIÓN DE LAS SOLUCIONES

La representación es una de las fases de mayor trascendencia en la operatividad de un Algoritmo Genético debido a que al trabajar con una representación codificada, ésta puede limitar en gran medida la capacidad de solucionar fielmente el problema real planteado.

La representación tradicional propuesta por Holland era la representación binaria, generándose aleatoriamente ceros ó unos para cada posición de las cadenas de manera que se consiga una población entera de individuos que constituirán la primera generación.

En muchos casos, se han utilizado representaciones no binarias más naturales para problemas particulares de aplicación, tales como el problema del viajante de comercio, asignación, transporte, etc.

En esta primera fase, se ha de fijar el tamaño de las poblaciones no habiendo reglas que delimiten *a priori* el tamaño que han de tener las mismas, siendo los tamaños de búsqueda de entre cien y doscientos individuos los más ampliamente utilizados.

III.3.1.2. CÁLCULO DE LA ADECUACIÓN

Un componente esencial en todo Algoritmo Genético es la *Función de Evaluación*, pues constituye el nexo que une el Algoritmo Genético con el problema a resolver. Una función de evaluación toma un cadena de solución como entrada y devuelve un número como indicador de la adecuación del mismo al problema que se esté analizando. La función de evaluación juega el mismo papel que el entorno en la evolución natural, ya que la interacción de un individuo con su entorno proporciona una medida de su adecuación y se supone que los mejores tienen mayor probabilidad de reproducción.

Así pues, una vez que se tiene la población de potenciales soluciones, se necesita comprobar cuán buenas son las mismas. Para ello, se calcula la adecuación de cada cadena. La ejecución resultará más rápida cuanto más sencillo sea el problema y, más lenta, cuanto más complejo y mayores requerimientos de tiempo y recursos precise.

III.3.1.3. PROCESO DE SELECCIÓN

Los Algoritmos Genéticos trabajan con cadenas de potenciales soluciones al problema, que gradualmente evolucionarán de generación en generación. La *supervivencia por la adecuación* significa que sólo los individuos que tengan un mejor comportamiento sobrevivirán a la larga. Así, en pocas generaciones, lo que suele ocurrir es que los individuos dispares son sustituidos por los mejores, mientras que cuando hayan pasado un gran número de ellas se habrán eliminado todos los de baja adecuación al problema.

Un ejemplo de proceso de selección podría ser como sigue.

Sea P una población de soluciones S_1, K, S_N . El proceso de selección produce una población intermedia, P' , con copias de soluciones en P . El número de copias recibidas por cada cadena depende de su función de evaluación: aquellas soluciones con evaluación alta tienen normalmente mayor probabilidad de contribuir con copias en la población P' . El proceso de selección se realiza siguiendo dos pasos:

1) Para cada solución S_i se calcula la probabilidad, $p_s(S_i)$, de incluir una copia suya en P' , siendo el modelo comúnmente utilizado el modelo proporcional, donde $p_s(S_i)$, $i = 1, K, N$ se calcula como:

$$p_s(S_i) = \frac{f(S_i)}{\sum_{j=1}^N f(S_j)}$$

2) Basándose en las probabilidades de selección obtenidas en el paso anterior se determina aleatoriamente para cada elemento de P el número de copias suyas que aparecerán en P' , de acuerdo con algún método de muestreo. El más sencillo sería el muestreo aleatorio simple, donde se simula el comportamiento de una ruleta en la que cada elemento de P posee una región proporcional a su probabilidad de selección, tal como se muestra en la Figura III.2. Cada vez que se hace girar la ruleta, se obtiene un elemento para la población intermedia, precisándose N impulsos para obtener el número total de individuos. De esta forma, las soluciones con una evaluación alta tienen más probabilidad de que la ruleta se detenga en las regiones que tienen asignadas, pasando el proceso de selección.

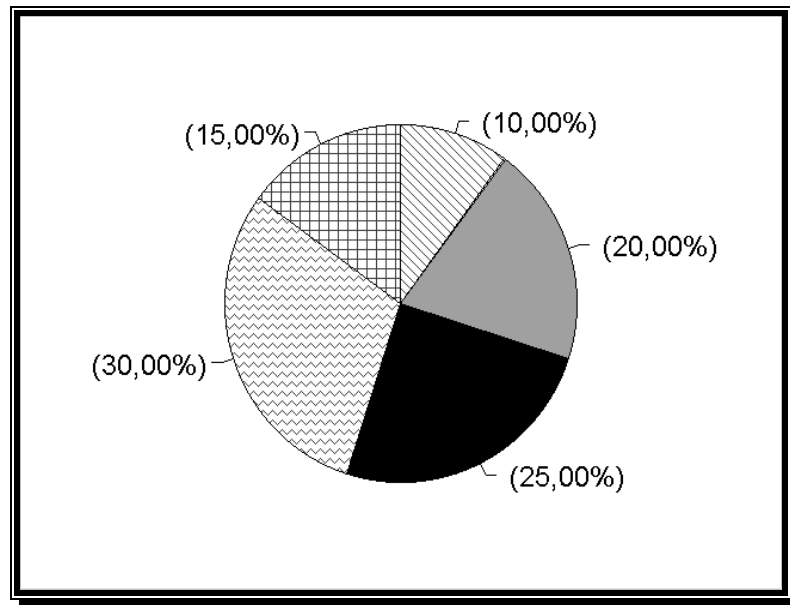


Figura III.2

III.3.1.4. OPERADOR DE CRUCE

El operador de cruce es un método para compartir información entre las cadenas que, en esencia, consiste en combinar las características (genes) de dos “padres” (soluciones) para generar dos “hijos”. El operador de cruce juega un papel crucial en los Algoritmos Genéticos, siendo una de las características que los definen y uno de los componentes a tener en cuenta para mejorar su eficiencia.

El modelo de operador de cruce depende de la representación que se haya elegido, entre ellas, el más sencillo, para representaciones binarias de las soluciones, es el *cruce en un punto*, Figura III.3, cuyo proceso se muestra en las tres fases siguientes:

1. Se seleccionan aleatoriamente dos cadenas de entre los “padres”.
2. Se elige al azar un punto en el que las dos cadenas van a ser cortadas quedando divididas cada una en una cabeza y una cola.

3. Se intercambian las colas de las cadenas “padre”, obteniéndose dos “hijos” que tendrán características de ambas cadenas iniciales.

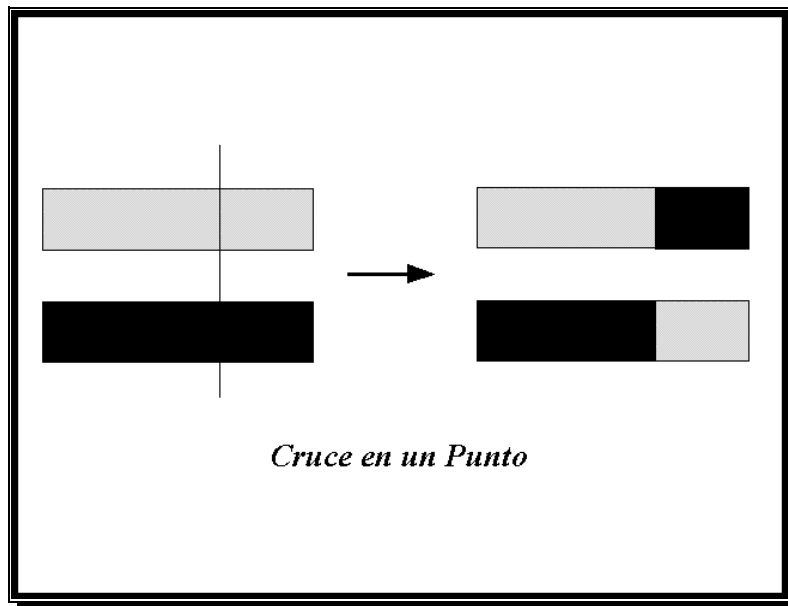


Figura III.3

El cruce es una herramienta poderosa que extiende la búsqueda en muchas direcciones, trabajando con el espacio de búsqueda de una manera altamente eficiente. Al obtener mediante la selección “padres” con alta adecuación, puede ser interesante probar qué efecto tienen las combinaciones de éstos, pues alguna de ellas puede que mejore a sus “progenitores”.

De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que el cruce constituye el “arma” más útil para conducir la búsqueda de un Algoritmo Genético, pues se orienta en encontrar combinaciones eficientes del espacio de búsqueda.

El cruce mejora su resultado con un buen sistema de selección. Si éste es lo suficientemente preciso para que los “padres” seleccionados sean los de mayor adecuación, entonces puede que mediante el cruce se consiga generar cadenas de soluciones que los mejoren.

Con el fin de determinar el grado mayor o menor de ejecución del operador de cruce, se establece un parámetro denominado probabilidad de cruce que permite en función de las necesidades del problema aumentar o disminuir el número de cadenas que se recombinan.

III.3.1.5. OPERADOR DE MUTACIÓN

El operador de mutación introduce variaciones aleatorias en la población, transformando, en representaciones binarias, los ceros en unos y viceversa, tal como se muestra en la Figura III.4, siendo de nuevo la biología la fuente de inspiración de su utilización. Con él, se consigue alterar arbitrariamente los elementos de la solución

Al igual que para el cruce, existe un parámetro que determina el grado mayor o menor en el que se realiza la mutación, siempre en una baja frecuencia, ya que de otro modo la distorsión que se produciría en la búsqueda limitaría la capacidad del Algoritmo Genético en encontrar una buena solución. El fin último de la mutación lo constituye el orientar la búsqueda en direcciones completamente distintas a las seguidas hasta ese momento, asegurándose que la probabilidad de alcanzar cualquier punto del espacio de búsqueda nunca es cero.

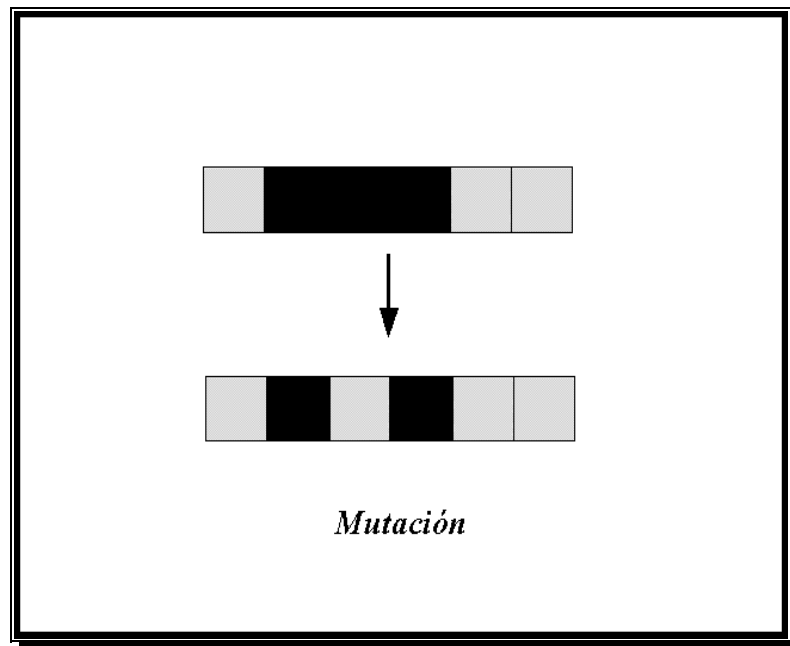


Figura III.4

El fin básico de los operadores genéticos (selección, cruce y mutación) es transformar la población tras sucesivas generaciones, de manera que se amplíe la búsqueda. En este sentido, permiten que aparezcan características que puede que no poseyeran los “padres”. En biología, estas variaciones de la herencia genética permiten mejorar la adaptación de los organismos al entorno. Si un organismo aprende un comportamiento que le permite adaptarse y sobrevivir mejor en el entorno, será bueno para él pero no constituye una variación genética y, por tanto, no se puede heredar.

Los individuos con cambios favorables en sus genes están en mejores condiciones para sobrevivir y reproducirse. Estas características hacen que un individuo se adapte mejor al entorno y tenga más posibilidades de sobrevivir de una generación a otra.

III.3.1.6. CONDICIONES DE CONVERGENCIA O PARADA

Para la determinación de la convergencia a menudo se usa el concepto de *sesgo*, pudiendo venir definido por la medida de la distancia o desviación entre la población. Así, para un elemento de la cadena en codificación binaria, el sesgo se puede medir como el tanto por ciento mayor de ceros o unos que hay en esa posición en las cadenas. En consecuencia, para

las cadenas en conjunto, el sesgo será el tanto por ciento de ellas que son iguales y de este modo, por ejemplo, si sólo hay dos cadenas iguales en una población de 100, el sesgo sería del 2%.

El factor de convergencia guarda una estrecha relación con el método de selección. Si éste es fuerte, la población convergerá rápidamente, lo que podría conllevar que sea de forma prematura y no deseable. En la mayoría de los Algoritmos Genéticos el tanto por ciento de convergencia va creciendo gradualmente a medida que aumentan las generaciones, aunque pueden producirse descensos coyunturales.

La convergencia se sitúa en cierta medida en el “ojo del huracán”. Una población con el 95% de sesgo es altamente uniforme. Sin embargo, debido a que la mutación distorsiona el orden existente, altos porcentajes en el valor de este parámetro pueden producir grandes dificultades para que la población converja completamente.

Una vez calculada la medida de la convergencia mediante el sesgo se pueden llevar a cabo dos acciones: una, parar el Algoritmo Genético y otra, volver a realizar la selección. Si se ha alcanzado la convergencia, se examina la población y se extrae la solución al problema. Si no se ha alcanzado, se deja que la población continúe evolucionando volviendo a iterar el proceso.

Para evitar que el Algoritmo Genético no converja debido a fallos en el establecimiento de los parámetros, comúnmente se establece *a priori* el número de generaciones que como máximo se van a iterar.

Los problemas de la convergencia prematura pueden dar lugar a que la solución obtenida esté lejos del óptimo. Por ello para problemas grandes y complejos se exige la toma de ciertas decisiones. Si se prefieren respuestas rápidas, se puede obtener una mala solución. Pero, por otro lado, si se desea una solución de alta calidad se ha de ser más paciente.

En la convergencia de los Algoritmos Genéticos influye de lleno una característica fundamental de los Algoritmos Genéticos, la aleatoriedad, ya que:

- Aleatoriamente se generan las soluciones de la población inicial.
- Aleatoriamente pero de acuerdo con su adecuación, se seleccionan los “padres”.
- Aleatoriamente se elige un par de individuos de la población de “padres”.
- Aleatoriamente se determina un punto en la cadena en el cual se van a cruzar los “padres” seleccionados.
- Aleatoriamente se decide en virtud de un parámetro si se va a ejecutar o no el cruce de las cadenas.

- Aleatoriamente se determina qué cadenas van a sufrir una mutación.
- Aleatoriamente se establece qué punto de cada cadena experimenta la mutación.

Los Algoritmos Genéticos están guiados pues, por procesos aleatorios que pueden producir resultados afortunados ó desafortunados. Algunas veces, la población puede tener una cadena altamente adecuada como solución del problema y perderla debido a la intervención del cruce o la mutación. Para evitar estas situaciones hay técnicas que afinan el comportamiento de los Algoritmos Genéticos, las cuales serán desarrolladas posteriormente en este capítulo.

Resulta de gran trascendencia establecer que la resolución de problemas mediante Algoritmos Genéticos conlleva la toma de decisiones. Si se desea una rápida convergencia del mismo, se puede conseguir, pero a un precio. Generalmente, hay que elegir entre velocidad de convergencia y calidad de la solución. En este punto el proceso de selección de los “padres” es crucial: si se sustituyen muchas cadenas malas por las buenas la convergencia será rápida, pero se puede haber provocado la pérdida de características necesarias para llegar al óptimo, que las soluciones malas poseían.

Si todo funciona correctamente en este proceso de evolución simulada, una población inicial será mejorada con las sucesivas y así, el individuo mejor adaptado de la última población puede ser una solución muy adecuada para el problema analizado.

Sin embargo, el comportamiento de los Algoritmos Genéticos depende en un alto grado del equilibrio entre explotar las cadenas que actualmente son mejores y explorar en busca de otras que podrían convertirse en las mejores. Además, la pérdida de cadenas debida a la presión del proceso de selección, el ruido del mismo, la ruptura de buenas soluciones debida al operador de cruce y un conjunto de parámetros de control (probabilidad de cruce, mutación, tamaño de la población, etc.) no adecuados pueden hacer que el equilibrio entre exploración y explotación se rompa produciendo la pérdida de diversidad en la población. En estas circunstancias es cuando se puede producir una convergencia prematura hacia zonas del espacio de búsqueda que no contienen el óptimo global.

III.3.2. TEOREMA FUNDAMENTAL DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

Holland observó que los mejores individuos guardaban entre sí ciertas similitudes y formalizó esta idea bajo la noción de esquema [Holland, 1975]. También analizó que, a medida que el proceso de búsqueda y selección avanza, las mejores cadenas persisten en mayor número en la población. Por su parte, las que se mantienen en la media estabilizan su presencia y, por último, las peores desaparecen. Así pues, los esquemas son patrones que permiten explotar esos “parecidos” entre las cadenas, con el fin de mejorar las direcciones de búsqueda del algoritmo [Iglesias-Otero *et al.*, 1996].

El teorema de los esquemas es la justificación teórica más importante del funcionamiento de los Algoritmos Genéticos. La importancia de los esquemas en los Algoritmos Genéticos radica en que las cadenas de soluciones no son importantes por sí mismas, sino la similitud entre las que poseen una alta adecuación. Esto es debido a que son estas cadenas las que pueden guiar la búsqueda de la solución óptima.

Por medio de los esquemas se consigue mostrar la similitud entre cadenas y para ello, se representan, en codificación binaria, con ceros, unos y asteriscos. El asterisco indica indiferencia en cuanto al elemento que ocupa ese lugar, así por ejemplo un esquema podría ser:

$$*101*0$$

En una cadena binaria, un esquema con n asteriscos puede describir 2^n cadenas diferentes. En nuestro ejemplo hay dos asteriscos, por tanto puede describir cuatro cadenas distintas:

$$\begin{array}{cc} 010100 & 010110 \\ 110100 & 110110 \end{array}$$

Por otro lado, el número total de esquemas de longitud n es $(2+1)^n$, debido a que en cada posición puede haber un 0, un 1 o un *, mientras que el espacio de búsqueda se reduce a 2^n ya que el asterisco no representa un valor de las cadenas reales, únicamente es una herramienta para describir semejanzas.

En función del número de cadenas que se procesan en cada generación se puede establecer una aproximación de los esquemas que contiene cada una de ellas. Así, si una generación contiene g cromosomas, el número aproximado de esquemas será de g^2 y esto se mantiene en cualquier momento del proceso de búsqueda. Holland denominó a este comportamiento de los Algoritmos Genéticos, *Paralelismo Implícito* y su observación es la principal explicación de la robustez de los mismos.

Si se supone que en una población existen dos esquemas, siendo la adecuación de los individuos que cumplen el primer esquema superior a la media, y los que cumplen el segundo esquema inferior a la media, entonces, uno de los teoremas matemáticamente demostrados por Holland [Holland, 1975] plantea que el primer esquema irá incrementando su prioridad o presencia exponencialmente en la población en sucesivas generaciones, de la misma manera que el segundo esquema irá reduciendo su presencia exponencialmente. La principal conclusión que subyace en este teorema es que la alta adecuación es recompensada y así, los individuos mejor adaptados tienen más posibilidades de ser seleccionados como “padres”.

Pero la adecuación no es lo único que influye, también afectan al curso de la búsqueda el cruce y la mutación.

El número de instancias de un esquema E o número de individuos que lo cumplen en la generación g , $f(E, g)$ cambiará en la generación $g+1$ proporcionalmente al valor medio de la función de evaluación de sus instancias presentes en la población. En este sentido se han de considerar tres fases:

III.3.2.1. LOS ESQUEMAS EN LA FASE DE SELECCIÓN

En ella se eligen de la generación g las cadenas que se van a convertir en los “padres” de la siguiente generación $g+1$. Si $f^p(E, g)$ es el número de instancias del esquema E entre los “padres” seleccionados, para producir la generación $g+1$ se podría poner en función del valor medio de la adecuación de esas instancias y del valor medio de la función de evaluación de la población en su conjunto, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$f^p(E, g) = \frac{f(E, g) \cdot a(E, g)}{\bar{a}(g)}$$

que indica simplemente que el número de cadenas que cumpliendo el esquema E se van a convertir en “padres” de la generación $g+1$, es igual al número de cadenas que lo cumplen en la generación g , $a(E, g)$, multiplicado por el grado de adecuación medio de las cadenas del esquema E con respecto a la adecuación media en esa generación, $\bar{a}(g)$.

Resulta claro, desde este análisis, que los esquemas adecuados, o Bloques Constructivos (*Building Blocks*), son más frecuentes en las últimas generaciones. De una forma similar, los esquemas inadecuados van desapareciendo.

III.3.2.2. LOS ESQUEMAS EN LA FASE DE CRUCE

En ausencia de cruce o mutación sería imposible incluir nuevos esquemas en la población, consiguiendo, únicamente, que al final del proceso toda la población converja en el mejor de los esquemas que al principio se generó. Por ello, el cruce es necesario para generar nuevos esquemas que posiblemente tengan una alta adecuación. Este operador pretende combinar dos buenos esquemas con el fin de encontrar otro mejor, pero puede ocurrir que en el proceso se destruyan buenos esquemas.

Se puede asumir que cuando un esquema E se cruza con otro esquema F , el esquema E no se destruye. Para ello se ha de considerar qué posibilidad hay de que el esquema F sea diferente del esquema E , y sólo en el caso de que el esquema F sea diferente del E hay posibilidad de que por medio del cruce se destruya dicho esquema. Así, se puede establecer la probabilidad de que una cadena del esquema E se cruce con una cadena que lo destruya, considerando la probabilidad de cruce, la probabilidad de que otra cadena de entre los “padres” no cumpla el esquema y la probabilidad de que el punto de cruce parta el esquema.

Si se denomina P_c la probabilidad de cruce y se define la *longitud del esquema* por $\delta(E)$, es decir, la distancia entre la primera y la última posición fija del esquema E , siendo L es la longitud total de las cadenas, entonces la probabilidad de que el esquema sea destruido por el cruce puede expresarse como:

$$P_d(E) \leq \frac{P_c \cdot \delta(E)}{L-1}$$

Por otro lado, la probabilidad de que una cadena con el esquema E se cruce con otra que no lo tenga es:

$$P_{NE} = 1 - \frac{f^p(E, g)}{c}$$

donde c es el número de cadenas en la población. Si se multiplican las probabilidades de que un esquema sea destruido por la probabilidad de que se cruce con una cadena que no contenga al esquema E , se tendrá la probabilidad de que el operador de cruce destruya al esquema E , siendo:

$$P_{xE}(E, g) = \left(\frac{1 - f^p(E, g)}{c} \right) \cdot P_c \cdot \left(\frac{\delta(E)}{L-1} \right)$$

Normalmente este porcentaje será bajo debido a que cada una de las probabilidades que forman la ecuación en su conjunto toma valores pequeños.

De acuerdo con la expresión anterior y, con el número de instancias de un esquema en una generación g , se podrá obtener el número de instancias de un esquema en la generación siguiente $g+1$, como sigue:

$$f^p(E, g+1) \geq (1 - P_{xE}(E, g)) \cdot \left(\frac{f(E, g) \cdot a(E, g)}{\bar{a}(g)} \right)$$

El motivo del signo mayor o igual se debe a que se ha sobrestimado el número total de esquemas que pueden ser destruidos, ya que es posible obtener nuevos esquemas E por medio del cruce de una cadena que lo contenga, con otra que no o gracias al cruce de dos cadenas que no lo contengan pero que sí incluyan partes del mismo. Debido a ello, y como $(1 - P_{xE}(E, g))$ va a tomar valores cerca de uno, el cruce no debe afectar al número de instancias, tras la selección, en un alto grado.

Por tanto, los buenos esquemas que hayan sido seleccionados por su adecuación, se mantendrán en las generaciones siguientes, mientras que los peores desaparecerán.

III.3.2.3. LOS ESQUEMAS EN LA FASE DE MUTACIÓN

El porcentaje de mutación es normalmente bajo, por lo que su influencia en el número de instancias de un esquema en ningún caso será significativa. Si se denota la probabilidad de mutación por P_M y el orden de un esquema E , por $o(E)$, el cual representa el número de posiciones fijas (en un esquema binario serían el número de ceros o unos) que contiene el esquema, entonces la probabilidad de que un esquema sea destruido por la mutación es:

$$P_{MXE} = o(E) \cdot P_M$$

Así, por ejemplo, si se utiliza una probabilidad de mutación de 0,001 y se tienen los dos esquemas siguientes:

$$E_1 : **0*1*$$

$$E_2 : 01*0*1$$

El orden del primer esquema es $o(E_1) = 2$, y el del segundo esquema es $o(E_2) = 4$. Por tanto, la probabilidad de destrucción del E_1 será:

$$P_{MXE_1} = o(E_1) \cdot P_M = 2 \cdot 0,001 = 0,002$$

mientras que la del E_2 es:

$$P_{MXE_2} = o(E_2) \cdot P_M = 4 \cdot 0,001 = 0,004$$

Se puede concluir, entonces, que los esquemas de orden bajo tienen más posibilidades de sobrevivir que los de orden alto.

Finalmente, la formula del número de instancias esperado de un esquema en la generación siguiente a una considerada quedaría como:

$$f^p(E, g+1) \geq (1 - P_{XE}(E, g)) \cdot (1 - o(E) \cdot P_M) \cdot \left(\frac{f(E, g) \cdot a(E, g)}{\bar{a}(g)} \right)$$

Así, tras la selección el efecto de los operadores de cruce y mutación en el número de instancias de los esquemas es relativamente bajo. En este sentido, se puede concluir que esquemas con alta adecuación, longitud corta y orden bajo serán fuertemente propagados de generación en generación. Esta propagación de buenos esquemas se dirige por medio del proceso estocástico de la selección que utiliza para tal fin la adecuación de las cadenas, con lo que se pueden cruzar y mutar cadenas sin temor a que su efecto sobre la población provoque algo distinto que la búsqueda de mejores esquemas. Ésta es una conclusión esencial para el buen funcionamiento de los Algoritmos Genéticos y recibe el nombre de: *Teorema de los Esquemas* o *Teorema Fundamental de los Algoritmos Genéticos*.

El Teorema de los Esquemas indica alguna de las condiciones necesarias para la utilización del paralelismo implícito, como es el hecho de que para una completa utilización de la información contenida en los esquemas se ha de minimizar el efecto de la destrucción de los que tengan una alta adecuación. Estos esquemas cortos, de alta adecuación y orden bajo reciben una denominación especial, Bloques Constructivos y son las piezas fundamentales en la búsqueda de soluciones en todo algoritmo genético.

Se puede concluir que los Algoritmos Genéticos utilizan este modo de actuar de una manera eficiente, ya que son precisamente los buenos esquemas, cortos y de orden bajo los que son explotados con mayor interés por parte de los mismos.

La discusión sobre la teoría de los esquemas de Holland demuestra que hay importantes pruebas matemáticas que determinan que el procedimiento de búsqueda de los Algoritmos Genéticos es eficiente.

III.3.3. MODIFICACIONES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

Gran parte de las investigaciones posteriores a la aparición de los Algoritmos Genéticos se han centrado en la introducción de modificaciones en los mismos, que les permiten no sólo mejorar su eficiencia sino también su eficacia en la resolución de problemas reales.

III.3.3.1. VARIACIONES EN LA REPRESENTACIÓN DE LAS SOLUCIONES

La representación binaria fue la introducida inicialmente por Holland, sin embargo, en muchos casos, representaciones más naturales permiten un acercamiento mejor al problema concreto. Ejemplos de estas situaciones son:

- Vectores de números reales para problemas de quimiometría [Lucasius y Kateman, 1989], optimización numérica de funciones [Davis, 1985], clasificación [Corcoran y Sen, 1994; Herrera *et al.*, 1996], etc.
- Vectores de números reales enteros para la optimización de funciones [Bramlette, 1991], diseño paramétrico de aviones [Davis, 1991], aprendizaje no supervisado de redes neuronales [Ichikawa y Ishii, 1993], etc.
- Lista ordenadas para problemas de planificación [Syswerda, 1991], problema del viajante de comercio [Withley *et al.*, 1989], problemas de asignación [Davis, 1991], problemas de secuenciación [Fox y McMahon, 1991], etc.
- Matrices de dos dimensiones para el problema del Transporte [Davis, 1991].

III.3.3.2. VARIACIONES EN EL PROCESO DE SELECCIÓN

Un componente determinante del funcionamiento de los Algoritmos Genéticos es el método usado para pasar de una generación a otra, resultando una decisión vital. Existen muchas posibles variaciones del método de selección de los “padres” potenciales y de obtención de los nuevos individuos, debiendo poner énfasis, en cualquier caso en la adecuación de las soluciones al problema a resolver. Las fortalezas y debilidades de cada uno han sido analizadas [Goldberg, 1989], destacando entre otros:

Ruleta de selección proporcional. Este método utiliza una selección mediante pesos, que a su vez se relacionan con la adecuación. Como un ejemplo simplificado, que puede servir también para describir el segundo y tercer método, se considera una población de 10 individuos que contiene 6 cadenas idénticas de tipo *A* y 4 cadenas idénticas de tipo *B*. Si se asume que los de tipo *A* tienen una adecuación de 12 y los de tipo *B* de solamente 7, la adecuación total del problema será:

$$6 \cdot 12 + 4 \cdot 7 = 100$$

Así, la adecuación de los individuos del tipo *A* será del 72% del total y la de los del *B* del 28% del total. Con la ruleta de selección proporcional se construye una rueda con el 72% etiquetado como *A* y el 28% como *B*. Aleatoriamente se toman 10 puntos entre 0 y 100 obteniéndose los 10 individuos seleccionados, tal como se muestra en la Figura III.5.

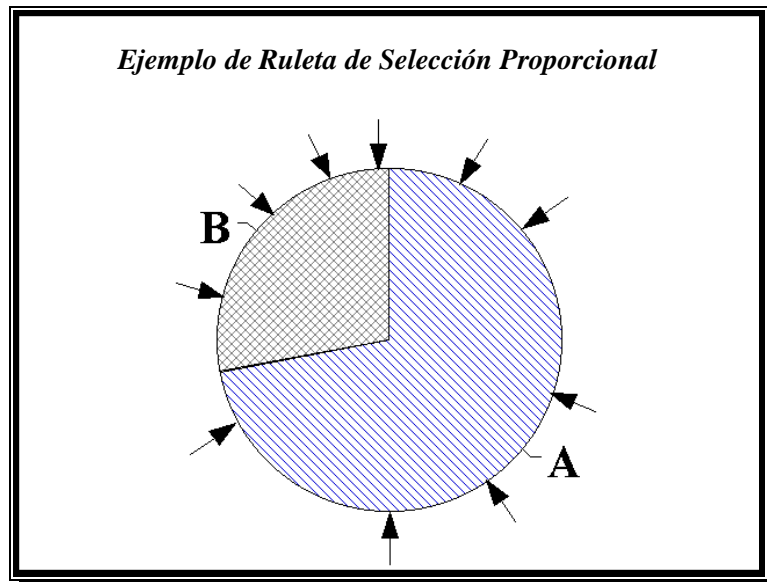


Figura III.5

Con este método es fácil comprobar que se respetan las probabilidades de selección en virtud de su mayor adecuación. Así pues, lo más probable es que se elijan aquellos individuos que son mejores soluciones del problema.

Selección Estocástica con Recuerdo. Siguiendo con el caso anterior, el número de copias esperadas de los individuos de tipo *A* son 7,2 y de los de tipo *B* 2,8. Con la selección estocástica con recuerdo, primero se separa la parte entera de esos valores (7 y 2), y se introduce en la nueva población 7 copias de los individuos de tipo *A* y 2 de tipo *B*.

Para el que queda se construye una ruleta de selección proporcional a la parte decimal de los valores anteriores. Con ello, el 80% de la ruleta será de tipo *B* y el 20% de *A*. Tomando un punto en la ruleta o dándole un impulso se obtiene el individuo que faltaba por ser seleccionado, tal como se muestra en la Figura III.6.

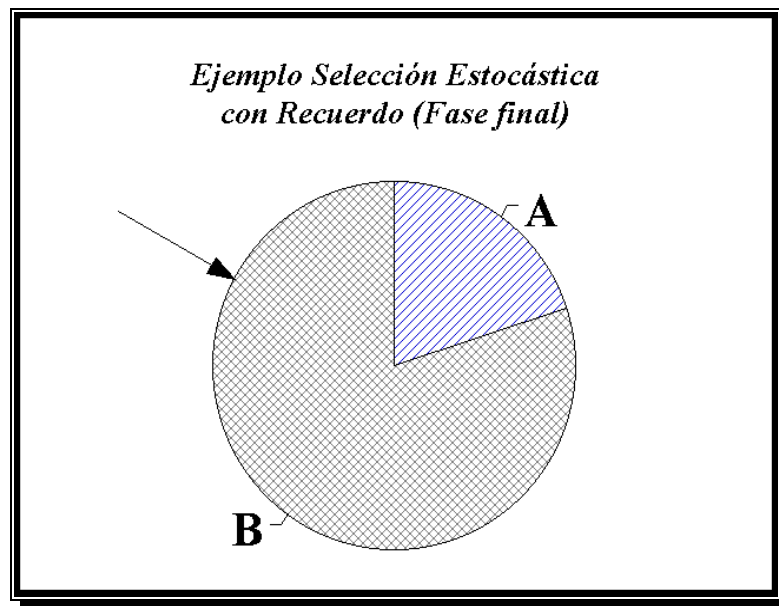


Figura III.6

Este método tiene la ventaja de mantener siempre la probabilidad de selección en una alta medida en el resultado final.

Selección Genitor. Esta variación de los Algoritmos Genéticos fue desarrollada recientemente. Es un procedimiento basado en el *ranking* u orden en el que quedan clasificados los individuos de una población, en virtud de su adecuación mayor o menor al problema en cuestión. El fin básico de este método es que los mejores individuos sustituyan a los peores. Un ejemplo del mismo se muestra en la Figura III.7.

Esquemáticamente sería como sigue:

1. Generar n “hijos” a través de la selección, cruce y mutación.
2. Borrar n miembros de la población para hacer espacio a los “hijos”.
3. Evaluar e insertar los “hijos” en la población final.

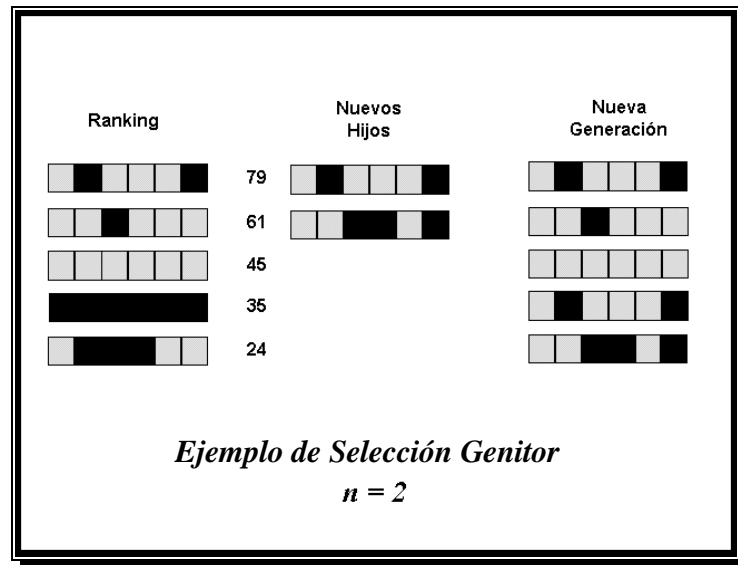


Figura III.7

Selección Genitor sin Duplicar. Es una variante del método anterior, diferenciándose de este en que sólo serán insertados los nuevos “hijos” en la población si no existen cadenas iguales a ellos en ella. El objetivo es que todos los miembros de la población sean distintos. Este método dificulta la convergencia pero ajusta mucho la búsqueda. Un ejemplo del mismo se presenta en la Figura III.8.

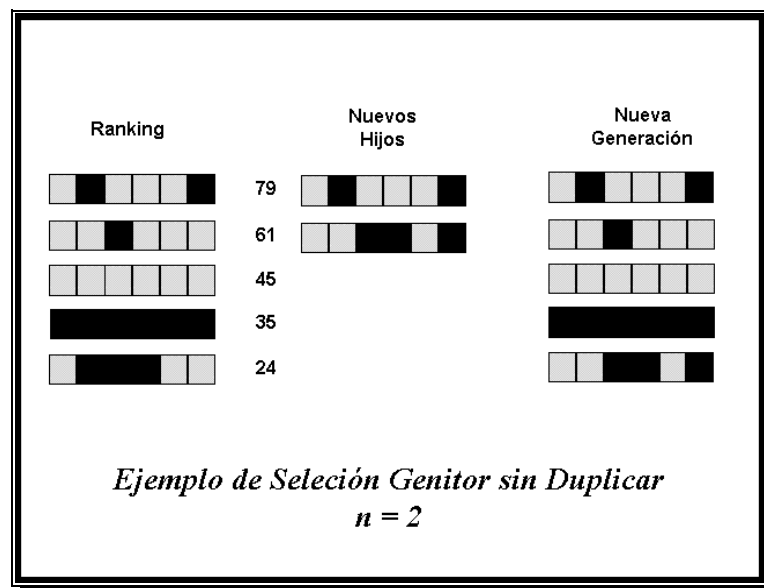


Figura III.8

Ranking de Selección con Ruleta. Este procedimiento comienza estableciendo un ranking, es decir, ordenando la población según la adecuación. Lo siguiente es determinar a través de una función de adecuación, la probabilidad que tiene cada individuo de ser incluido en la siguiente generación, siendo los individuos de la parte alta del ranking los que tienen una alta probabilidad de inclusión. Se construye después una ruleta de selección con las probabilidades obtenidas anteriormente, y la siguiente generación de tamaño n se construye dando n

impulsos a la ruleta y tomando las cadenas de los puntos donde se pare. Este procedimiento orienta la selección hacia los individuos de mejor adecuación pero no fuerza a ningún individuo a pasar a la siguiente generación.

Torneo de Selección. Son pequeñas “justas” o “luchas” entre los miembros de la población para ver quien consigue participar en la siguiente generación. Así, una manera de realizar la selección con este método, sería elegir aleatoriamente dos individuos de la población y después comparar los valores de adecuación de ambos. El mejor será elegido automáticamente para tomar parte en la siguiente generación, tal como puede observarse en la Figura III.9.

Otra forma sería crear una moneda ajustada en probabilidad de caras y cruces (un individuo u otro) en función de los valores de adecuación que tenga cada uno, y luego tirar la moneda y elegir el individuo que ella indique conforme a la asignación previa de valores.

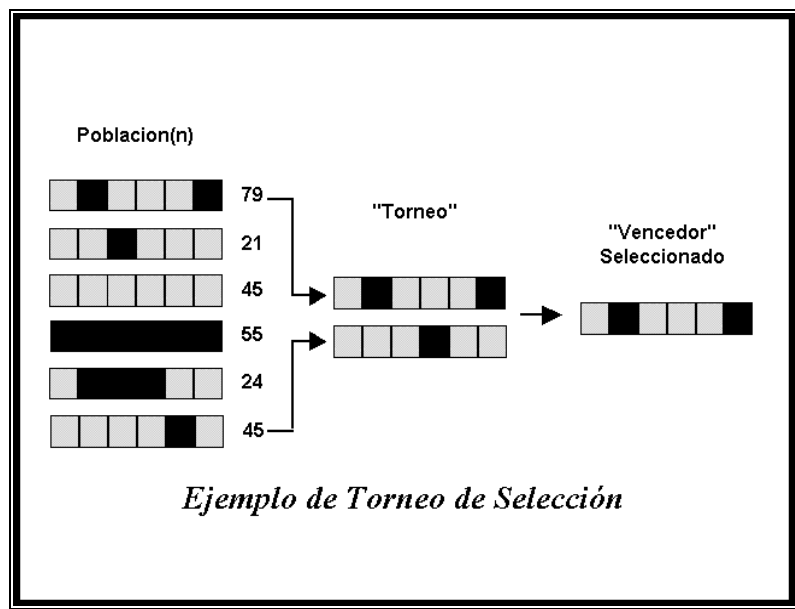


Figura III.9

Como se dijo anteriormente, en todo proceso de selección de los Algoritmos Genéticos existe un conflicto inherente entre explotar y explorar. Explotar se refiere en este caso a hacer uso de la información que aparece en el transcurso de la búsqueda. Así, puede que por motivos de rapidez y convergencia acelerada se pierdan cadenas que podían tener información necesaria para alcanzar el óptimo. Hay que buscar pues el equilibrio entre explorar y explotar, que dependerá, en la mayoría de los casos, del problema analizado. De este modo, para decisiones que no dependen del tiempo, una búsqueda lenta y de alta calidad será la más deseable y viceversa.

Una técnica que se le puede añadir a todo proceso de selección estocástico es el *Elitismo*. Antes se ha comentado que el mejor miembro de una población puede perderse al pasar

de una generación a otra, sin ser reemplazado por uno que lo supere en adecuación. Para evitar este hecho existe una estrategia, el elitismo. Con ella lo que se consigue es copiar el mejor individuo de una generación a la siguiente si ninguno de los individuos obtenidos tras selección, cruce y mutación lo ha superado.

Esta estrategia puede incrementar la velocidad de dominio de una población por un buen individuo, pero, en compensación, la mejora en el comportamiento del Algoritmo Genético es considerable. Un caso ilustrativo de este método se puede observar en la Figura III.10.

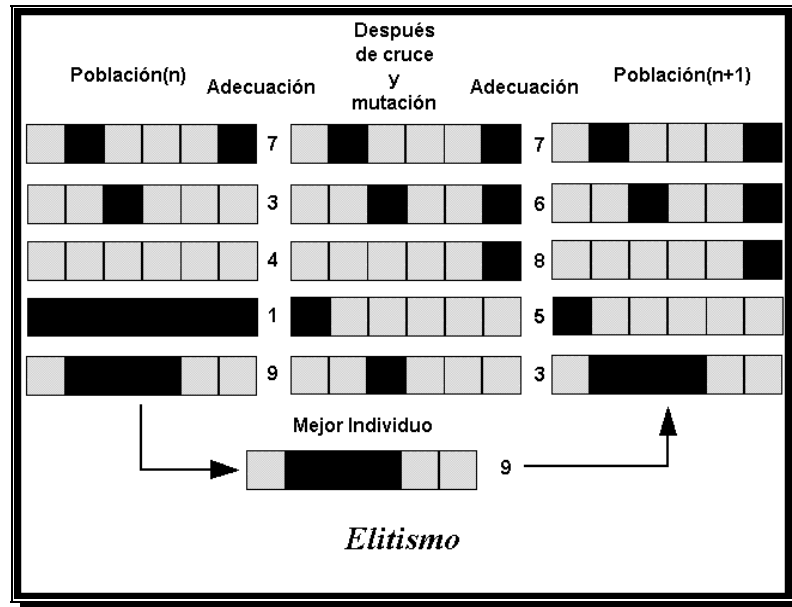


Figura III.10

III.3.3.3. VARIACIONES EN EL OPERADOR DE CRUCE

El operador de cruce es determinante en la búsqueda de las mejores soluciones, pues puede distorsionar la búsqueda ó hacerla caótica, si la probabilidad de que éste se lleve a efecto es demasiado alta.

Por otro lado, el cruce poco frecuente hace que la búsqueda se centre en ciertas regiones del espacio, provocando que los resultados que proporcione no sean tan buenos como se podría desear.

Hasta ahora se ha descrito un tipo de cruce conocido con el nombre de cruce en un punto. Existen otras alternativas, entre ellas:

- El cruce en dos puntos, tal como se muestra en la Figura III.11.

Como la mayoría de las variaciones de los Algoritmos Genéticos, el cruce en dos puntos posee ventajas e inconvenientes. Así, por ejemplo, si se tienen dos esquemas de alta adecuación.

$$E_1 : 1***01$$

$$E_2 : **00**$$

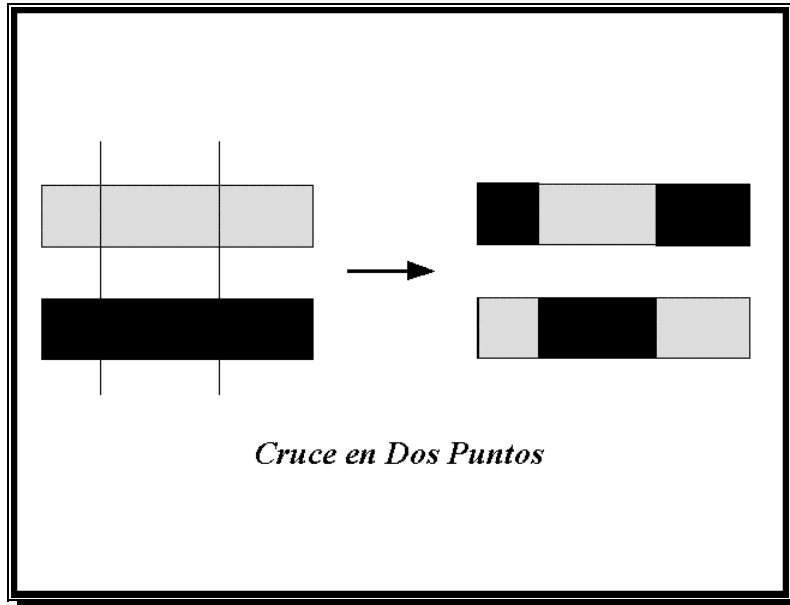


Figura III.11

Con el cruce en un punto no hay posibilidad de que el esquema E_1 se combine con el E_2 sin que se pierda información. Sin embargo mediante el cruce en dos puntos esto si es posible. De todas formas, a medida que aumenta el tamaño de las cadenas, puede darse el caso de que tampoco se puedan combinar esquemas con el cruce en dos puntos. Otra posibilidad es el denominado *cruce uniforme*. Éste fue desarrollado por G. Syswerda en 1989 [Syswerda, 1989], siendo el planteamiento del mismo el siguiente: a partir de dos cadenas de “padres” se decide aleatoriamente elemento a elemento cual se le asigna a un “hijo” o a otro. Un ejemplo de este cruce se muestra en la Figura III.12.

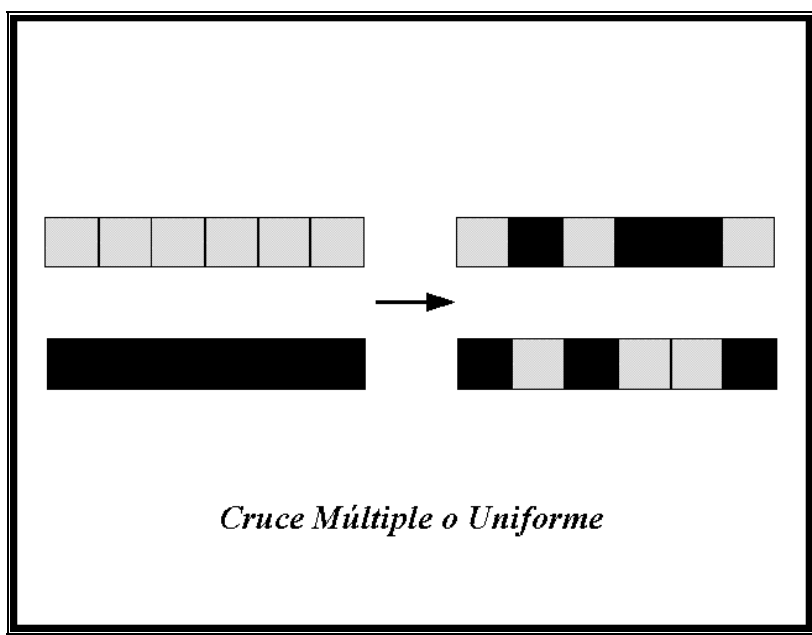


Figura III.12

El cruce uniforme presenta gran flexibilidad en la manera en que las cadenas son combinadas, lo que constituye una característica muy atractiva, aunque también pueda producir graves distorsiones en las soluciones. Todavía no existen respuestas definitivas sobre cuál de las diferentes variantes es la más aconsejable para el cruce, siendo dependiente del problema en particular y de cómo las cadenas son transformadas en una medida de adecuación.

III.3.3.4. INTERPOLACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS

Los parámetros fijos de un Algoritmo Genético son aquellos que no varían con el transcurso de las generaciones. Hasta ahora, tanto el parámetro del operador de cruce como el de mutación se han descrito como fijos, sin embargo, pueden obtenerse grandes mejoras en el comportamiento de los Algoritmos Genéticos si se hace que estos parámetros varíen a medida que se pasa de generación en generación.

El motivo de la obtención de estos buenos resultados radica en que en las primeras generaciones de un Algoritmo Genético puede resultar interesante incrementar el espacio de búsqueda, dando valores grandes a los parámetros de cruce ó mutación y a medida que se va avanzando y se llega a las últimas generaciones, se debe reducir su valor con el fin de afianzar la convergencia.

Es claro que este método, combinado con el elitismo y la no duplicidad, puede dar una gran eficiencia a la búsqueda, determinando con una alta precisión los valores óptimos en un gran número de problemas.

III.3.3.5. ALGORITMOS GENÉTICOS ADAPTATIVOS

Se puede necesitar distintos operadores de control a lo largo de la ejecución de un Algoritmo Genético para producir un equilibrio óptimo entre exploración y explotación. Por ello, uno de los caminos sugeridos por las investigaciones realizadas en este área radica en la adaptación de determinados componentes del Algoritmo Genético a lo largo de la ejecución en función de su estado o información disponible sobre el espacio de búsqueda.

Así, dentro de las técnicas que actúan sobre la función de evaluación tenemos:

Escalado de la Función de Evaluación. Este tipo de técnicas permite que en los inicios de la ejecución del algoritmo se atenúe la acción de los superindividuos (cromosomas con un valor de la función de evaluación muy por encima de la media) para evitar que dominen al resto, y al final, cuando la población ha convergido, se resalten las diferencias entre los distintos individuos para que se tienda al dominio de los mejores [Goldberg, 1989].

Funciones de Evaluación Filtradas. Con esta técnica se pretende que la población quede concentrada en una región particular del espacio de búsqueda. Cuando se considera que

se ha llegado a un óptimo local, se modifica la función de evaluación con el fin de saltar de esa zona del espacio de búsqueda [Sakanashi *et al.*, 1994].

Por otro lado, entre las técnicas que afectan al operador de cruce tenemos:

Cruce interrumpido. Con este método, se pretende añadir a cada individuo de la población un trozo extra de cadena donde se recogen la forma en la que se producirá el cruce sobre él, aplicándose posteriormente la selección, cruce y mutación con el fin de dividir la búsqueda en dos espacios: uno el del problema y otro el de los operadores de cruce [Bäck y Hoffmeister, 1991].

Cruce restringido. Esta técnica persigue que no se pierdan oportunidades de realización del cruce y así, cuando mediante el cruce de dos cadenas el resultado quede igual que al principio, se repetirá hasta que se produzca variación, siempre que sea posible [Booker, 1987].

Finalmente, las técnicas que permiten que el operador de mutación se vaya adaptando son:

Mutación adaptativa en codificación real. Según esta técnica, en las primeras generaciones los cambios producidos sobre las cadenas son grandes, favoreciendo la exploración. Sin embargo, al final del proceso se busca un ajuste local eficaz [Michalewicz, 1992b].

Mutación con probabilidad según diversidad. De acuerdo con este método, la posibilidad de cambio en cada posición de las cadenas depende de la diversidad que exista en la población respecto a ese punto. Así, para posiciones con baja diversidad, la probabilidad de cambio será grande, mientras que para posiciones poco homogéneas será pequeña [Ichikawa e Ishii, 1993].

III.3.3.6. OTROS OPERADORES

Se han desarrollado otros operadores genéticos con funciones muy específicas, destacando entre otros: el Operador de Inversión, Operador Diploide, Operador de Dominancia, Operador Diferenciador Sexual, Operador de Ubicación y un gran conjunto de Microoperadores [Goldberg, 1989], que pretenden mejorar el comportamiento de los Algoritmos Genéticos en problemas concretos.

En esta subsección se han descrito sólo algunas de las técnicas que permiten la mejora en la eficacia de los Algoritmos Genéticos quedando muchas otras sin incluir. Este campo está en una expansión continua con lo que cualquier intento de enumeración exhaustiva quedaría pronto obsoleto.

III.4. APLICACIONES DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

A lo largo del presente capítulo se han descrito los operadores y características de los Algoritmos Genéticos, poniendo énfasis en su rapidez de ejecución, capacidad para evitar óptimos locales, eficiencia en la mejora de métodos enumerativos y robustez en el trabajo con conocimiento imperfecto.

Sin embargo, una manera de contrastar las cualidades de los Algoritmos Genéticos para resolver problemas complejos de optimización puede ser mediante la descripción de aquellas aplicaciones más sobresalientes que se hayan hecho de los mismos. En este sentido se pueden resaltar las siguientes:

- Problemas de Ingeniería [Davis, 1991; Winter *et al.*, 1995]
- Problemas de Investigación Operativa [Biethahn y Nissen, 1995; Fang, 1992; Herrera *et al.*, 1998a]
- Redes neuronales [Withley y Schaffer, 1992]
- Robótica [Davidor, 1991]
- Sistemas borrosos [Herrera y Verdegay, 1996]
- Sistemas de clasificación, aprendizaje y reconocimiento de patrones [Grefenstette, 1995; Pal y Wang, 1996]
- Visión artificial [Pal y Wang, 1996]

Por su parte, en el plano de la Gestión de Empresas las aplicaciones son bastante recientes, destacando:

- Distribución [Broekmeulen, 1995]
- Elección de Estrategias de Inversión [Bauer, 1994]
- Gestión de Carteras [López-González *et al.*, 1998a]
- Gestión de Inventarios [López-González y Rodríguez-Fernández, 1995; Rixen *et al.*, 1995; Nissen y Biethahn, 1995; López-González *et al.*, 1998b]
- Gestión de Proveedores [López-González *et al.*, 1997b; Herrera *et al.*, 1997b]
- Gestión de Recursos [Filipic, 1995]
- Marketing Mix [Herrera *et al.*, 1998b]

- Selección de Personal [López González *et al.*, 1997a; Herrera *et al.*, 1997a]

En resumen, los Algoritmos Genéticos representan una nueva herramienta de resolución de problemas complejos de optimización que, aunque no asegura el alcance de la solución óptima, sí que permite obtener, al menos, una cercana a ésta.

De ahí que, como en muchas decisiones del ámbito empresarial y, más concretamente, en las de carácter presupuestario se buscan soluciones buenas mediante planteamientos veraces, más que perfectas, simplificando la realidad, en los siguientes capítulos se utilizará esta técnica como herramienta de optimización en la toma de decisiones en situaciones de complejidad.

CAPÍTULO IV. PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN

IV.1. INTRODUCCIÓN

La presupuestación es una etapa que precede al desarrollo de la actividad y engloba todas las previsiones inherentes a la elaboración de planes de acción eficaces. La orientación de la misma suele ser tanto a largo plazo como a medio o a corto, así como hacia diferentes niveles del sistema de producción. Cada tipo de presupuestación responde a cierta necesidad de información y de control de la organización. Así, la presupuestación global define, para un periodo determinado, las orientaciones de la empresa en materia de producción de bienes y servicios.

La finalidad de la presupuestación global es evaluar el conjunto de recursos materiales, humanos y financieros necesarios para las operaciones de producción de un período dado. El principal objetivo es satisfacer, al más bajo coste posible, las previsiones de demanda de este período.

La realización de este objetivo está sujeta a restricciones internas y externas. La política de la empresa en materia de mano de obra, horas suplementarias, almacenamiento y nivel de servicio a la clientela constituyen las restricciones internas. Las restricciones externas, por su parte, provienen de las condiciones tecnológicas, las cuales limitan la capacidad técnica de producción, y de la situación sociológica, económica y de la competencia, las cuales condicionan las variaciones en la demanda.

Dentro de los presupuestos a los que se enfrenta la empresa, destaca por su estrecha relación con la actividad de la misma el Presupuesto de Producción. El fin último del mismo consiste en establecer el número de unidades a producir de acuerdo con las necesidades de la demanda, suponiendo su articulación de forma acertada, una ventaja que se materializará de manera monetaria en el resultado de la unidad económica.

En este sentido, como todo presupuesto, implica la necesidad de una etapa previa de previsión que persigue decidir por adelantado lo que se ha de hacer, lo que equivale a pro-

yectar un curso de actuación a consecuencia de reconocer la necesidad de producir, analizar los datos disponibles, proponer actuaciones alternativas y tomar decisiones.

Al tener en cuenta una fase inicial de estimación del comportamiento de variables en el futuro, se puede considerar oportuno utilizar la Teoría de los Subconjuntos Borrosos con el fin de manejar la incertidumbre propia de cualquier previsión. De este modo, se consigue que las decisiones tomadas con arreglo a este planteamiento puedan ser más próximas a la realidad.

Además, en la práctica cotidiana de las empresas, se dan con gran asiduidad procesos productivos que obtienen varios “outputs” o salidas del mismo. Por ello, a la hora de realizar un Presupuesto de Producción se ha de especificar el nivel previsto para cada uno de ellos, siendo necesario tener en cuenta la diferencia entre costes autónomos y comunes, así como sus implicaciones en el resultado de la empresa. De este modo, cuando se planifica la actividad de una empresa, se ha de conseguir que el número de unidades producidas de cada artículo de la misma haga que el resultado de la unidad económica sea el mejor posible.

IV.2. FUNDAMENTOS DEL PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN

El Presupuesto de Producción, que es uno de los principales resultados de la presupuestación global, se elabora a partir de las previsiones de la demanda para el conjunto de productos ofrecidos por la empresa y define las cantidades por producir, los niveles de inventario y la composición de la mano de obra para el período.

En la Figura IV.1 [Tawfik y Chauvel, 1984] se muestra la lista de los elementos de información necesarios para elaborar un Presupuesto de Producción. A fin de recoger esta información, se requiere, ante todo, elaborar los documentos de registro para los datos de cada departamento.

Así, por ejemplo, el departamento de investigación de mercado se ocupará de realizar las previsiones de la demanda. El departamento de contabilidad analizará los costes de producción. El departamento de presupuestación y control de la producción determinará la capacidad de producción y los niveles apropiados de inventario. Este último departamento también deberá, dependiendo de los cambios en la información básica, rectificar los planes de producción.

IV.2.1. PREVISIONES DE LA DEMANDA

En una empresa que fabrique un solo producto, el Presupuesto de Producción puede elaborarse a partir de las previsiones de la demanda para el mismo. Sin embargo, si se trata de una empresa que fabrica varios productos, primero se debe encontrar una unidad de medida común, que homogeneice todos los valores de los diferentes productos.

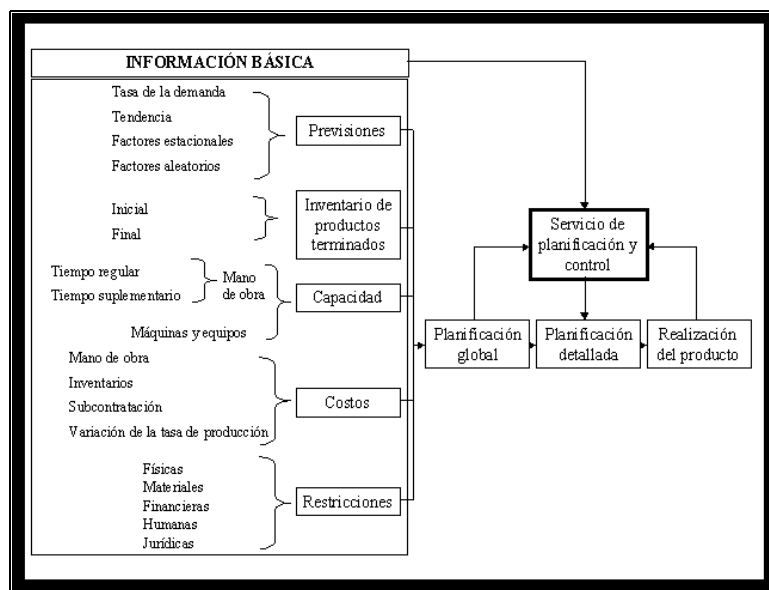


Figura IV.1

IV.2.2. NIVELES DE INVENTARIO

Debe determinarse el nivel de inventario deseado de productos terminados al final del período en estudio. Por su parte, el nivel al principio del período de presupuestación vendrá facilitado por la información del período anterior. Según estos niveles, la cantidad a producir durante este período será más o menos elevada. La determinación de los niveles depende principalmente de la estabilidad de la demanda. Consecuentemente, cuando la demanda del período debe ser satisfecha al principio del mismo y la producción no se hace disponible sino al final de dicho período, es necesario prever un inventario final. De tal modo, si se planifica la producción para diciembre de 1998, deberá preverse un inventario final equivalente a la demanda de enero de 1999.

IV.2.3. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Los informes relativos a la capacidad de producción pueden dividirse en dos categorías: mano de obra en tiempo regular y suplementario, y maquinaria. Es a partir de esta información como se evaluarán los medios de responder a la demanda. Se trata pues, de ajustar las variaciones de la demanda en el transcurso del período de estudio. Este ajuste debe hacerse al menor coste posible, respetando ciertas restricciones físicas, financieras, humanas, jurídicas, etc.

IV.2.4. COSTES DE PRODUCCIÓN

Una vez que el Presupuesto de Producción se ha juzgado técnicamente realizable, se calculan sus costes diferenciales al nivel de la mano de obra, los inventarios, la amortización

de los equipos y la variación de la tasa de producción, para elegir, posteriormente, el más económico y el menos restrictivo. Los elementos que deberá proporcionar el departamento de contabilidad para evaluar el coste de producción son [Tawfik y Chauvel, 1984]:

Coste de la mano de obra. Este es el salario por hora de los empleados en tiempo regular y suplementario. Debe añadirse el coste de adiestramiento y de la falta de productividad, debido a la contratación de nuevos empleados, así como las compensaciones salariales que se pagan en el momento del despido.

Costes de almacenamiento. Los diferentes costes de mantenimiento de un inventario (lanzamiento, almacenamiento, ruptura, depreciación, etc.) forman parte integrante del coste diferencial de producción y afectan a las decisiones referentes a los niveles de inventario del Presupuesto de Producción.

Coste de la subcontratación. Es el precio establecido por un subcontratista. Ciertas empresas se ven obligadas a mandar fabricar a otras una parte o la totalidad de su producción. Las razones para ello pueden ser que la demanda rebase la capacidad máxima de la fábrica durante ciertos períodos, que la demanda del producto sea incierta, que las ventajas económicas de esta fórmula sean importantes, que la empresa carezca de espacio para almacenar sus productos, etc.

Coste de la variación de la tasa de producción. Algunas veces la empresa debe aumentar o reducir su capacidad productiva. La modificación de esta capacidad siempre ocasiona ciertos costes. Por ejemplo, un aumento de capacidad ocasiona gastos administrativos suplementarios, así como costes de contratación y adiestramiento; una reducción de la capacidad propicia costes por despido o costes de mano de obra improductiva.

IV.2.5. RESTRICCIONES

Cuando se habla de un Presupuesto de Producción técnicamente realizable, se entiende un programa que respeta las restricciones del sistema de producción. Algunas de estas restricciones son propias del sistema, como el espacio de producción y almacenamiento, el número de máquinas, equipos y herramientas, los límites de tiempo suplementario, las reglas de contrato colectivo y las disponibilidades financieras. Otras restricciones provienen del exterior, como el salario mínimo, las leyes laborales, la tecnología y la competencia, etc.

IV.3. MÉTODOS TRADICIONALES DE ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN

Existen varios métodos que se utilizan para elaborar un Presupuesto de Producción, destacando entre ellos el método gráfico, el método del transporte (programación lineal), re-

glas de decisión lineal y de investigación de una decisión óptima (programación dinámica) y métodos heurísticos.

Se contemplarán aquí los métodos gráficos y del transporte, los cuales se caracterizan por su alto grado de utilización.

IV.3.1. MÉTODO GRÁFICO

Este método permite analizar las variaciones de la demanda con ayuda de una curva acumulativa (ojiva) a fin de encontrar la mejor forma de satisfacer la misma. Según la política de la empresa y a partir de un criterio económico se definirá la mejor estrategia de producción, es decir, el programa general de producción más eficiente.

Las etapas del método gráfico pueden resumirse en:

1. Primeramente, debe construirse la curva acumulativa de la demanda, teniendo en cuenta los inventarios inicial y final.

2. Después, debe analizarse la curva acumulativa de la demanda y tratar de encontrar diferentes soluciones para responder a la demanda.

3. Posteriormente, deben definirse las hipótesis de trabajo necesarias para el cálculo de los niveles de inventario al inicio y al final de un período. Estas hipótesis se refieren al momento de la disponibilidad de la producción y de la satisfacción de la demanda. Así, por ejemplo, una hipótesis podría ser que la producción de un mes esté disponible al final del mismo, y que la demanda del dicho mes quede normalmente cubierta por la producción del mes anterior. Se necesita, por tanto, un inventario inicial y final. Esta hipótesis es principalmente aplicable a los productos de consumo popular. Para los productos cuyo modelo se renueva al final de cada año y cuando no se pretenda almacenar estos productos en el inventario al final, la hipótesis será que la producción estará disponible al final del mes y la demanda será satisfecha al final del mismo mes.

4. A continuación, deben calcularse las cantidades por producir y los niveles de inventario al principio y final del periodo para los planes.

5. Deben calcularse también, los costes diferenciales de cada plan, y debe elaborarse una tabla sintética de estos costes.

6. Finalmente, deben analizarse las ventajas y desventajas de cada plan, y elegirse el plan que responda mejor a las exigencias y objetivos de la empresa.

IV.3.2. MÉTODO DEL TRANSPORTE

Esta es una técnica de la investigación de operaciones que se aplica a datos cuantitativos. Se utiliza cuando una empresa que posee varias fábricas (o sucursales) y almacenes, piensa aumentar su capacidad de producción o extender su territorio. Por tanto, mediante esta técnica se busca el mejor sitio para construir las nuevas instalaciones.

En este método, se consideran únicamente elementos cuantificables cuyos costes sean variables, tales como los costes de transporte, de materia prima y de mano de obra.

Realizando pequeñas modificaciones en el modelo, este método puede emplearse para elaborar un programa general de producción. La demanda de un producto se considera la restricción referente al destino y la capacidad de producción se considera la restricción de la “fuente”.

IV.4. ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN

En la Figura IV.2 se muestran los elementos constitutivos de un sistema de presupuestación global cuya función es la de elaborar un Presupuesto de Producción [Tawfik y Chauvel, 1984].

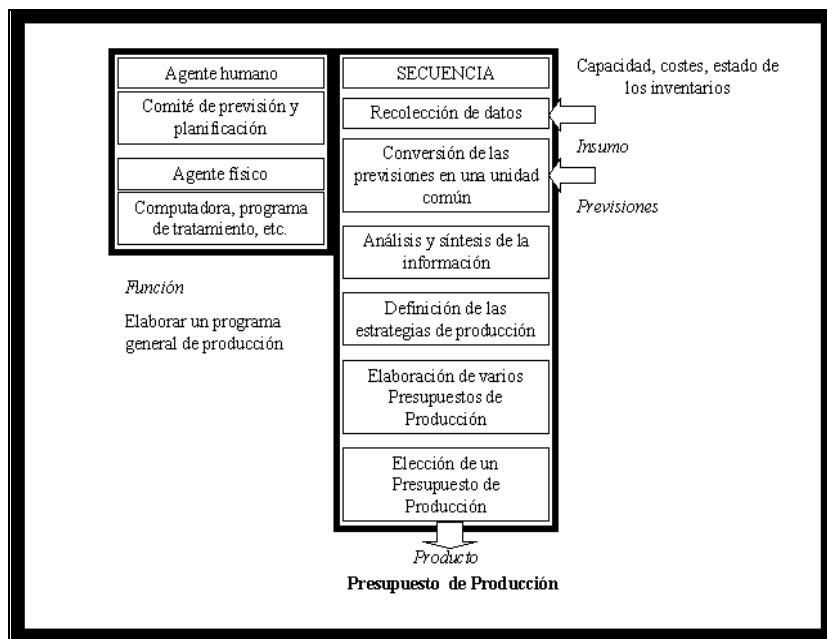


Figura IV.2

El insumo o entrada es el conjunto de los informes básicos, mientras que el producto es un Presupuesto de Producción que, además de presentar ventajas económicas, debe respetar las restricciones y la política de la empresa. Ciertas empresas confían la elaboración del Presupuesto de Producción a compañías especializadas; otras forman un comité integrado por los responsables de producción, planificación, ventas y aprovisionamiento. La secuencia se re-

sume en las siguientes cinco etapas: recolección de los datos, conversión de las previsiones en una unidad de medida común, análisis y síntesis de la información, definición de una estrategia de producción, elaboración de varios presupuestos de producción y elección de un Presupuesto de Producción para el período analizado.

IV.4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS: DEMANDA Y COSTES

De entre los factores a tener en cuenta en el establecimiento del nivel de producción para un período determinado, se ha de partir de las ventas, es decir, estimar cuál va a ser el comportamiento de la demanda que delimitará en gran medida las posibles combinaciones de productos que se pueden contemplar. En este sentido, con el fin de representar fielmente la información, se ha de realizar un planteamiento diferente al tradicional, abandonando la idea de una previsión de ventas que determina la producción a llevar a cabo de acuerdo con el volumen de existencias al principio y final del período analizado. Se plantea, por su parte, estudiar con detenimiento el comportamiento de la demanda en las diferentes situaciones que puedan acontecer en el futuro, realizando su plasmación numérica mediante la representación con subconjuntos borrosos. Así, se ha de considerar las posibles variaciones en los precios de los diferentes productos de la empresa, con las implicaciones que cada uno de estos tendría en la demanda de los mismos y en la de los demás [Horngren, 1980].

Por otro lado, algunos de los datos más importantes en relación con la elaboración de un Presupuesto de Producción se encuentran en los costes de producción que se estima incurrir en el período de estudio.

En este sentido y de acuerdo con H. W. Pedersen el coste se puede definir como “el consumo de bienes y servicios necesarios para la producción que constituye el objetivo de la empresa, entendiéndose por el término *producción* en sentido amplio, como proceso generador de valores añadidos” [Pedersen, 1958].

De este modo, en un intento por recoger todos los costes implicados en el establecimiento de un nivel de producción, se ha de considerar todas las cargas necesarias para que estos sean obtenidos con independencia de su origen o comportamiento. Para ello, se ha de profundizar en el análisis del comportamiento de los costes según el nivel de actividad, pues determinará en gran medida las decisiones óptimas de producción de la empresa [Heizer y Render, 1996].

Una clasificación simple de los costes en función del nivel de actividad de la empresa se suele realizar entre fijos y variables [Rapín y Poly, 1961], estableciendo previamente tres elementos [López-Díaz y Menéndez-Menéndez, 1989]:

1. Un punto de referencia.

2. Unos límites apropiados.

3. Un período de estudio.

Punto de referencia. Consiste en establecer una variable independiente de la función de costes sobre la base de la cual se establezca la variabilidad del coste. Ésta suele ser el nivel de actividad y representa una variable independiente de la función de costes con respecto a la cual no existe unanimidad sobre cuál es la forma para determinar el punto de referencia. Este problema ha sido estudiado en la doctrina alemana pudiéndose observar tres tendencias:

- Definición en función de la ocupación o actividad de la empresa. Para algunos autores, estos términos se utilizan como sinónimos. En particular Schmalenbach define el grado de ocupación como la cantidad de productos obtenidos cada vez [Schmalenbach, 1934].
- Definición en función del volumen de producción. Schneider defiende que ésta es la única variable independiente objetiva y claramente determinante: “De entre estas variables independientes, sólo la producción es un término de contornos claros y fijos (cantidad de producto, volumen de producción)” [Schneider, 1960].
- Definición en función de la productividad. Definida como cantidad de producto obtenida en una unidad de tiempo determinada.

Se puede entender que, al tratarse de un problema interno de la empresa, no pueden darse definiciones restrictivas. En efecto, en algunas será de sencilla aplicación la medición de los costes en función del volumen de producción (en la mayoría de las empresas industriales); sin embargo, en otros casos, se tendrá que definir el nivel de actividad en otros términos. Ahora bien, es necesario delimitar claramente lo que en cada caso se entiende por nivel de actividad y la forma de medir el mismo para poder juzgar la validez de los estudios realizados.

Límites de separación adecuados. Será necesario fijar los límites de dicho nivel de actividad, dentro de los cuales serán válidas las conclusiones obtenidas.

Período de estudio. La empresa sigue un proceso dinámico que implica variaciones de período a período, de ahí que el período de estudio también se deba fijar. Si cambia el período de estudio, la función de costes cambia debido a varias razones, entre ellas, la variación del índice de precios que da lugar a la variación de la función de costes.

IV.4.1.1. COSTES FIJOS

También conocidos como cargas de estructura, son aquellos que no fluctúan frente a una variación del nivel de actividad de la empresa fijado dentro de los límites adecuados y

para un período de estudio. Son cargas de estructura o de capacidad, es decir, son los costes necesarios para desarrollar el nivel de actividad delimitado, caracterizándose por:

1. Ser controlables.
2. No estar en relación directa con la actividad productiva (son decisiones a largo plazo).
3. En general, estar relacionados con un cierto nivel de producción y difícilmente mantenerse fijos si se sobrepasa dicho límite.

Normalmente, es un hecho poco frecuente en un período determinado, que la empresa quede fuera de los límites fijados para el nivel de actividad. Sin embargo, el reconocimiento de la variabilidad de los costes fijos fuera de dichos límites es importante a efectos de presupuesto.

Por otro lado, dentro de los costes fijos se pueden distinguir las siguientes categorías [Mallo, 1986]:

Costes de estado parado o inactividad. Son aquellos costes que ha de soportar la empresa cuando su volumen de producción es nulo y el ciclo técnico de explotación se encuentra parado (empresa cerrada), es decir, todos los que soporta la empresa tanto si realiza producción, como si no. La evolución de los mismos según el nivel de actividad se muestra en la Figura IV.3.

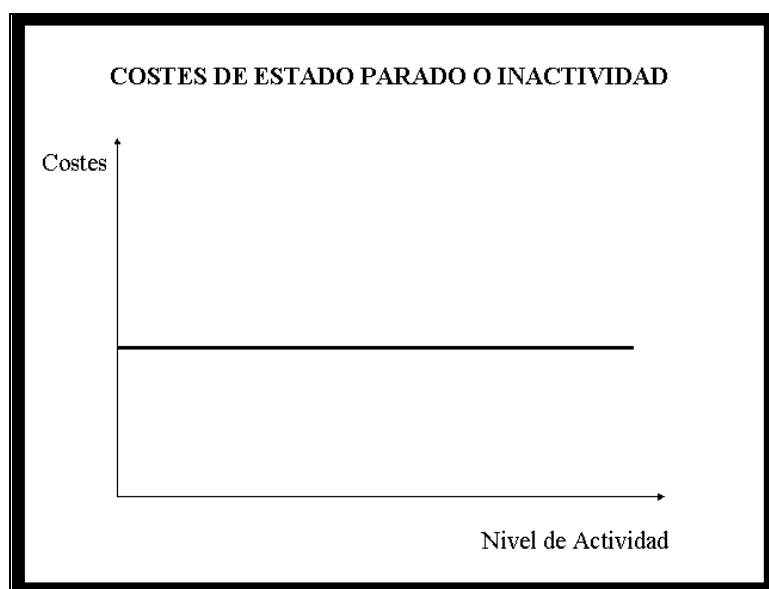


Figura IV.3

La expresión funcional del coste de estado parado o inactividad podría ser como:

$$f(x) = cik \quad \forall x \geq 0 \quad \forall cik \in \mathfrak{R}^+$$

Costes de preparación de la producción. Aquellos costes que han de añadirse a los de estado parado para poner a la empresa en condiciones de producir una unidad. Deberían llamarse “costes fijos condicionados por la explotación para producir una unidad”, siendo su representación gráfica la que se muestra en la Figura IV.4.

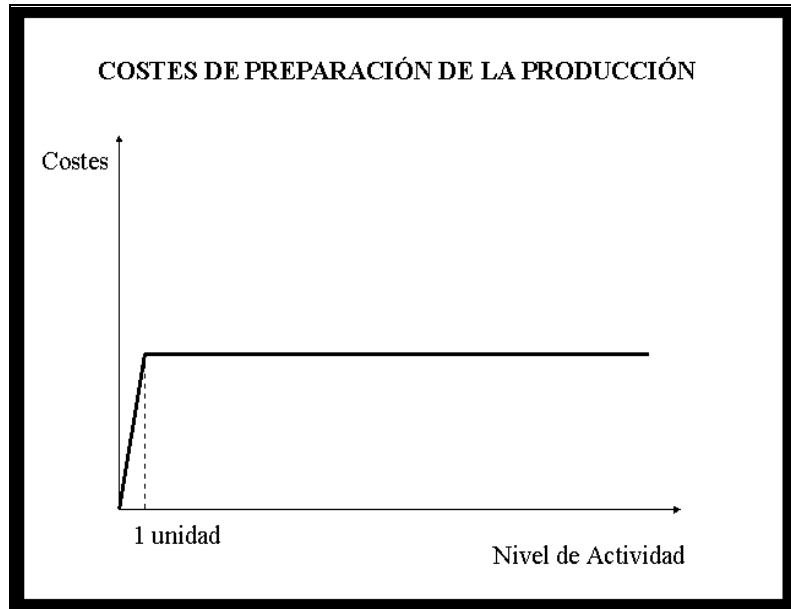


Figura IV.4

La expresión funcional del coste de preparación de la producción podría ser como:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{cpk}{x} & \text{si } 0 \leq x < 1 \\ cpk & \text{si } x \geq 1 \end{cases} \quad \forall cpk > 0$$

Costes Semifijos. Aquellos que dentro de un cierto intervalo de producción o de actividad se manifiestan como costes fijos, pero que experimentan variaciones si la producción pasa de ese intervalo.

Los costes semifijos son independientes del nivel de producción, pero sólo dentro de los límites apropiados y sólo con algunos factores de coste. Así, por ejemplo, es muy relativo establecer que los sueldos son fijos, pues lo son a intervalos y este hecho hace que existan costes semifijos, siendo su representación gráfica la que se muestra en la Figura IV.5.

La expresión funcional de los costes semifijos podría ser como:

$$f(x) = \begin{cases} csk_1 & \text{si } 0 \leq x < A \\ csk_2 & \text{si } A \leq x < B \\ csk_3 & \text{si } B \leq x < C \\ K & \text{si } x \geq C \end{cases} \quad \forall csk_i \in \mathfrak{R}^+$$

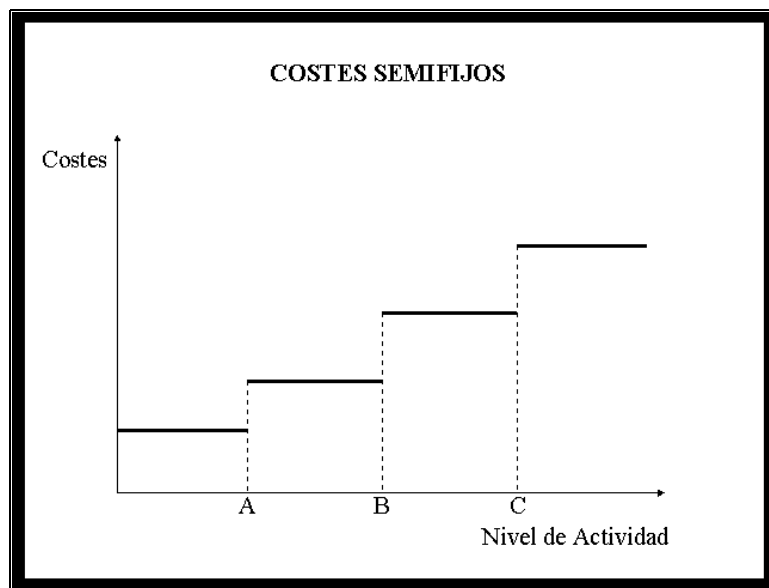


Figura IV.6

A estos costes se les puede estudiar como costes variables, pues varían con el nivel de actividad, teniendo en cuenta que pueden ser:

- Reversibles, varían de escalón tanto al aumentar como al disminuir la producción.
- Irreversibles, varían al aumentar la producción pero no se reducen cuando ésta disminuye.

Asimismo, puede resultar interesante crear una estructura de costes que permita pasar al estado anterior (sean reversibles). Esta estructura de costes puede establecerse teniendo en cuenta que existen una serie de costes reversibles.

IV.4.1.2. COSTES VARIABLES

Se trata de aquellos costes que fluctúan con el nivel de actividad, cuando ésta se mueve dentro de límites apropiados y en un determinado período.

Se caracterizan por ser controlables a corto plazo y por variar con la actividad productiva más que con el tiempo.

En la terminología tradicional de la contabilidad analítica se los denomina *costes operacionales*, pues están de acuerdo con el grado de utilización de la capacidad instalada.

Se pueden diferenciar las siguientes clases según su comportamiento en relación con la actividad [Mallo, 1986]:

Costes proporcionales. Son aquellos que, ante un incremento del nivel de actividad, se produce un incremento proporcional de estos costes, siendo su representación gráfica la que se muestra en la Figura IV.7.

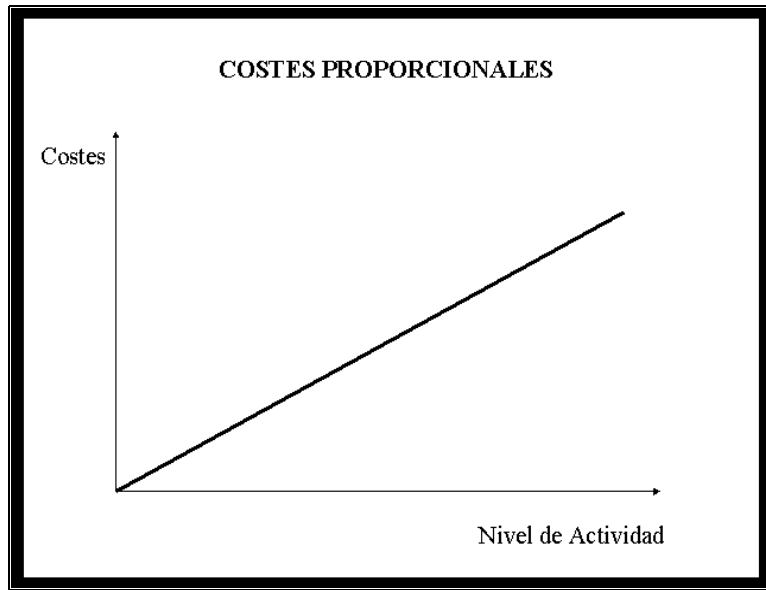


Figura IV.7

La expresión funcional de los costes proporcionales podría ser como:

$$f(x) = c_{ppk} \cdot x \quad \forall x \geq 0 \quad \forall c_{ppk} > 1$$

Costes progresivos. Son aquellos que ante un incremento del nivel de actividad se produce un incremento más que proporcional de los mismos, tal como se muestra en la Figura IV.8.

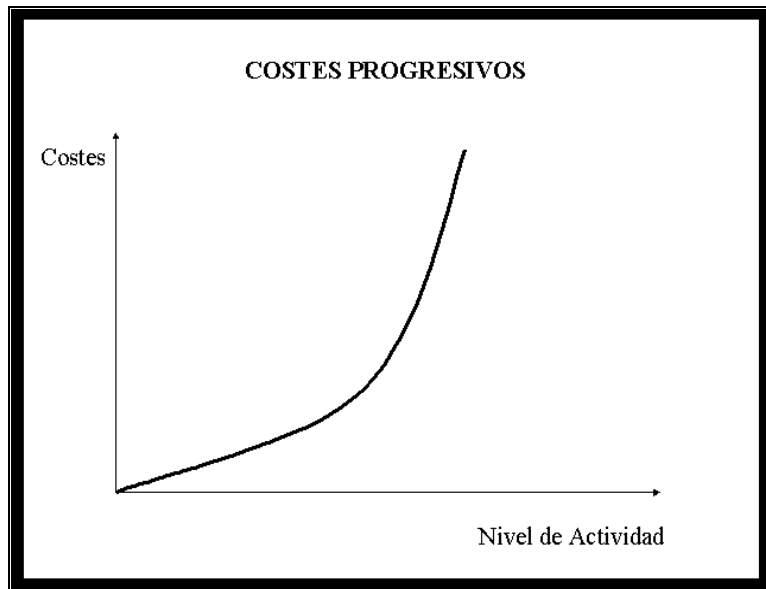


Figura IV.8

La expresión funcional de los costes progresivos podría ser como:

$$f(x) = x^{c_{prk}} \quad \forall x \geq 0 \quad \forall c_{prk} > 1$$

Costes degresivos. Aquellos que ante, un incremento del nivel de actividad, se produce un incremento menos que proporcional de dichos costes, siendo su representación gráfica la que se muestra en la Figura IV.9.

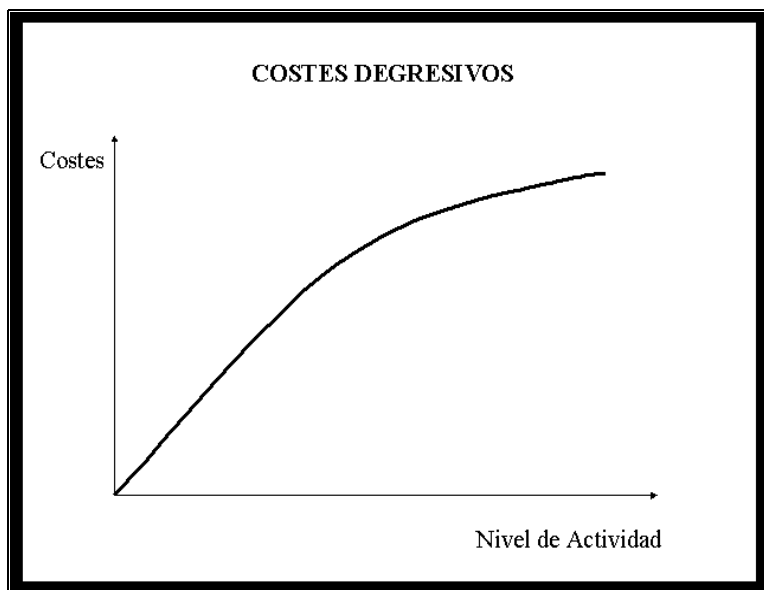


Figura IV.9

La expresión funcional de los costes degresivos podría ser como:

$$f(x) = x^{cdk} \quad \forall x \geq 0 \quad 0 < cdk < 1$$

Costes regresivos. Son aquellos que, ante un incremento del nivel de actividad, se produce un decremento de estos costes, tal como se muestra en la Figura IV.10.

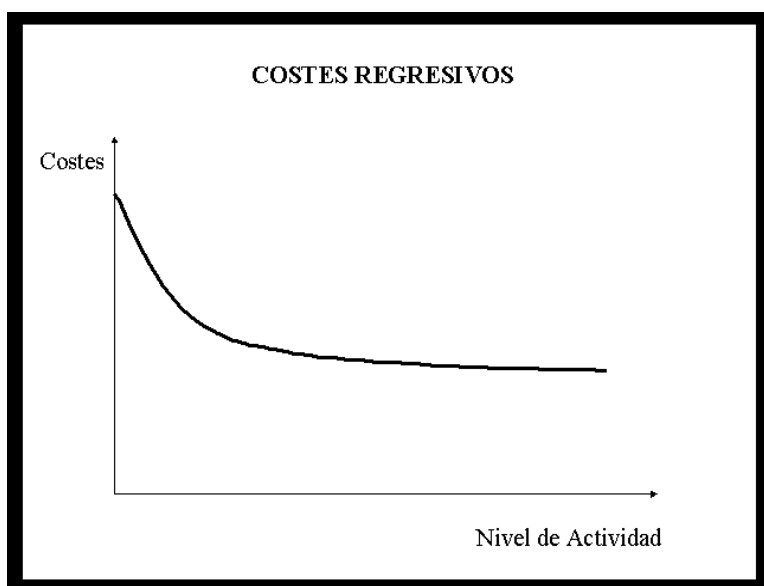


Figura IV.10

La expresión funcional de los costes regresivos podría ser como:

$$f(x) = crk_1 + \frac{crk_2}{x+1} \quad \forall x \geq 0 \quad \forall crk_i \in \mathfrak{R}^+$$

Costes semivariantes. Costes variables que fluctúan por escalones, tratándose en general de aplicaciones al proceso productivo de bienes no almacenables o servicios cuya adquisición viene en paquetes individuales y cuya necesidad es difícil de calcular.

IV.4.2. CONVERSIÓN DE LAS PREVISIONES A UNA UNIDAD DE MEDIDA COMÚN

Esta etapa en la secuencia de elaboración de un Presupuesto de Producción supone, respecto a los costes, la valoración en términos monetarios de aquellos que estén asociados con la producción, tal como se recoge en la definición de Pedersen. De este modo, el coste se convierte en una magnitud relativa, ya que en su determinación intervienen los criterios fijados para valorar y medir este consumo.

Por otro lado, con respecto a la demanda, se tendrán que convertir las estimaciones en términos de ventas en su consiguiente valor económico, uniformemente con los costes.

Con la transformación de las estimaciones de la demanda y de los costes a unidades monetarias, se pretende que la información que se maneje para el establecimiento de la estrategia óptima de producción sea homogénea, con lo que se conseguirá que la toma de decisiones resultante sea acertada.

IV.4.3. ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

A la hora de establecer un Presupuesto de Producción sobre la base de la información disponible, mucha de ella materializada en costes y estimaciones de las ventas, la dirección de la empresa ha de discernir que datos del futuro son relevantes ante tal decisión [Lynch y Williamson, 1885].

Para que un coste sea relevante ha de cumplir dos condiciones: debe ser futuro y debe ser diferente en cada alternativa. De lo anterior se desprende que todos los costes pasados son irrelevantes, puesto que no importan los efectos que hayan podido tener en períodos anteriores. Sin embargo, no todos los costes futuros tienen que ser por fuerza relevantes en esta decisión. Solamente lo serán aquellos que se espera sean diferentes entre las alternativas de producción de la empresa [Backer *et al.*, 1983].

Así, como en toda toma de decisiones, a la hora de establecer el Presupuesto de Producción se ha de realizar una selección de la información pertinente.

En este sentido, se debe tomar en consideración todos aquellos datos que puedan tener influencia en el establecimiento de la estrategia de producción óptima, eliminando aquellos otros que resulten irrelevantes.

IV.4.4. DEFINICIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN

Por estrategia de producción se entiende el arte de combinar racional y económicamente las variables del sistema productivo, dentro de un plan de acción que tenga como finalidad satisfacer la demanda.

Entre las posibles alternativas que pueden servir a la empresa según la naturaleza de sus recursos, se encuentran:

1. Variar el nivel de la mano de obra según la demanda (lo cual genera costes de contratación de personal, de despido y de variación de la producción).
2. Emplear mano de obra en el tiempo suplementario y suprimir el tiempo improductivo.
3. Aumentar los niveles de inventarios (lo cual genera costes de almacenamiento).
4. Aceptar los costes de ruptura.
5. Recurrir a la subcontratación.
6. Utilizar técnicas de comercialización (lo cual genera costes de promoción y publicidad).

Una empresa que desee variar su capacidad de producción en función de la demanda recurrirá a la primera estrategia. Si decide mantener un nivel constante de mano de obra, se servirá de una o varias de las otras estrategias.

La elección de una estrategia determinará los presupuestos alternativos de producción que la empresa puede establecer. Sin embargo, en un intento por reflejar la toma de decisiones de la manera más acertada posible, se deberían realizar planteamientos poco restrictivos, ya que en el entorno económico actual la mayoría de las limitaciones pueden ser superadas.

IV.4.4.1. PROBLEMÁTICA DE LA PRODUCCIÓN MÚLTIPLE

Por producción múltiple se puede entender aquellas situaciones en las que una empresa obtiene varios productos, no existiendo una separación absoluta entre las actividades necesarias para la consecución de cada uno de ellos.

Cuando acontecen estas situaciones y, desde una óptica lucrativa, los factores productivos pueden planearse de diferente manera en la medida que se pueda o quiera influir en la proporción en que se obtienen los diversos productos. Esto es así, por cuanto la empresa pretende maximizar su beneficio con independencia de la combinación de los diversos productos fabricados que se precise para tal fin.

Por otro lado, para la obtención de los diferentes productos la empresa debe incurrir en gran número de costes, autónomos algunos de ellos y comunes a varios productos otros, estando sujetos además en muchos casos a las fluctuaciones del nivel de producción. En este punto del análisis de factores surge el problema de contemplar las sinergias en los costes por la existencia de actividades compartidas. Estas sinergias positivas o negativas se deben a un aumento o disminución en el coste que se le asigna a cada producto obtenido por la empresa si se obtienen también productos con los que comparte dicha actividad.

Con ello el análisis de los factores productivos se completa y complica, ajustándose más a la realidad, que conjugado con el comportamiento estimado de la demanda facilitará una visión realista de la situación futura de la empresa.

IV.4.5. ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS DE PRODUCCIÓN ALTERNATIVOS

Para elaborar el Presupuesto de Producción en empresas con un gran número de productos diferentes, conviene partir de una información fidedigna representada en las estimaciones de la demanda y de los costes. Evidentemente, los valores que estas variables diferirán de una alternativa de producción a otra, pretendiéndose, ante todo, que el Presupuesto de Producción elegido cumpla las siguientes condiciones [Dupuy y Rolland, 1992]:

- Minimice la suma de los costes globales (optimización del criterio coste).
- Respete eventuales restricciones a la capacidad de producción.
- Asegure que se satisfacen los imperativos comerciales (cantidades, plazos, calidad, etc.).

De este modo, cada posible alternativa de mezcla de producción que la empresa puede llevar a la práctica posee unos ingresos y unos costes diferentes. Por lo tanto, a la hora de elegir el Presupuesto de Producción óptimo se han de evaluar ambos con objeto de tomar la decisión más acertada posible.

IV.4.6. ELECCIÓN DE UN PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN

En casos simples y bien descritos, las soluciones se obtienen por técnicas analíticas como la programación lineal. Sin embargo, tales soluciones suelen completarse por medio de enfoques heurísticos.

La lógica de estos planteamientos se ajustaría a sistemas de producción perfectamente identificados y estables, en especial desde el punto de vista de su rendimiento y su coste. Para ello se deben conocer con absoluta certeza:

- Los productos fabricados y distribuidos en el período analizado.
- La cantidad de factores necesarios para fabricar dichos productos.
- Los costes por unidad correspondientes.
- Los límites de utilización de dichos factores y los relativos a la comercialización de los productos.

De esta manera, si los rendimientos y los costes por unidad son constantes, la búsqueda de un presupuesto óptimo de producción para el período en estudio se limitaría a resolver un programa lineal, es decir, a la extremalización de una función en un sistema de ecuaciones de primer grado.

En este sentido, la programación lineal proporciona un ejemplo de lo que se llama un modelo de toma de decisiones restringidas, también denominada optimización restringida, siendo la forma más común de referirse a ese modelo como el problema de asignar recursos limitados de modo que se optimice un objetivo de interés [Domínguez *et al.*, 1990].

Aunque existen diversos tipos de modelos de toma de decisiones restringidas, en las aplicaciones, la programación lineal es la más ampliamente empleada, habiendo sido utilizada en multitud de tipos diferentes de problemas de toma de decisiones restringida. Sin embargo, su empleo real no llega a ser todo lo extendido que teóricamente podría esperarse, debido, fundamentalmente, a la exigencia de que todas las funciones involucradas en el problema tengan que ser lineales.

En la práctica de las actividades de previsión y control, los problemas suelen superar las exigencias de la programación lineal. Por ello, se suelen adoptar enfoques heurísticos en la búsqueda del presupuesto óptimo de producción.

Al definirse las restricciones como condiciones matemáticas estrictas que descartan ciertas combinaciones de valores de las variables de decisión, se puede estar realizando un planteamiento incompleto de la realidad, por cuanto las restricciones no suelen ser lineales ni los valores que las delimitan estrictos sino más bien imprecisos.

Con ello, la complejidad del problema se aleja del planteamiento tradicional del cálculo de la elección del Presupuesto de Producción de empresas con varios productos resuelto con programación lineal, ya que, como suele ocurrir en la práctica cotidiana de las empresas, ni las restricciones ni la función a optimizar se ajustan a las hipótesis de partida del modelo lineal.

De acuerdo con lo anterior, cabe plantearse cómo se podría representar un problema del establecimiento de la producción prevista de acuerdo con la estimación del comporta-

miento de la demanda, con los costes de las combinaciones de producción para los artículos de la empresa y con los ingresos esperados de cada una de ellas, sin restringir el comportamiento de ninguna variable al ámbito lineal.

IV.5. ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

En esta sección, se pretende introducir un modelo de elaboración y selección del Presupuesto de Producción, cuando la información disponible posee ciertas dosis de imprecisión y el comportamiento de las variables no es lineal.

IV.5.1. PLANTEAMIENTO EXTENSIVO DEL PROBLEMA

Como anteriormente se puso de manifiesto, los planteamientos que tradicionalmente se han utilizado en la resolución de este problema no dejan de ser simplistas y se alejan de lo que sucede en la práctica cotidiana de las empresas. Por este motivo, en aras a presentar un Presupuesto de Producción que englobe la mayor cantidad de situaciones, se ha de realizar un planteamiento extensivo del problema.

IV.5.1.1. ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA CON SUBCONJUNTOS BORROSOS

Tradicionalmente, la demanda de los diferentes productos de la empresa se suele estimar mediante técnicas estadísticas (modelos autorregresivos, econométricos, etc.).

Sin embargo, estas técnicas fundamentan sus predicciones en que el comportamiento pasado de la empresa y su entorno se mantiene en el futuro, no siendo esta hipótesis sostenible en todos los casos. Así, puede existir otro tipo de información que influye en la estimación de la demanda y que no es recogida por los métodos estadísticos. Por ello, con el fin de agregar y representar de la manera más fidedigna posible la información disponible, se sugiere utilizar números borrosos trapezoidales para tal fin.

En consecuencia, si una empresa fabrica n productos diferentes la estimación de la demanda de cada uno de ellos puede representarse de una manera borrosa por:

$$\tilde{D} = \{ \tilde{D}_1, \tilde{D}_2, K, \tilde{D}_n \}$$

Si además se intenta ser exhaustivo, en el análisis de la demanda de los productos, habría que tener en consideración la posible existencia de productos sustitutos o complementarios dentro de los que obtiene la empresa. Por ello, las estimaciones anteriores se pueden

completar con las posibles variaciones que pueden surgir en la demanda de cada producto, por la producción y venta de cualquier otro que elabore la empresa. Este grado de relación entre los productos se puede recoger en una matriz de variaciones borrosas de la demanda como la siguiente:

$$V\tilde{D} = \left\{ \begin{array}{cccc} - , V\tilde{D}_{12}, V\tilde{D}_{13}, K , V\tilde{D}_{1n} \\ V\tilde{D}_{21}, - , V\tilde{D}_{23}, K , V\tilde{D}_{2n} \\ M & & & M \\ V\tilde{D}_{n1}, V\tilde{D}_{n2}, K , V\tilde{D}_{n-1}, - \end{array} \right\}$$

IV.5.1.2. ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES COSTES CON SUBCONJUNTOS BORROSOS

Los costes de cada uno de los artículos elaborados por la empresa pueden presentar cualquiera de los comportamientos comentados en la sección cuarta del presente capítulo. Además, el conocimiento disponible sobre su comportamiento futuro puede llevar aparejado cierta dosis de incertidumbre.

Así, si los costes de un producto i fabricado por la empresa se pueden diferenciar en m categorías, su representación vendrá dada por:

$$C_{ii} = \{C_{i1}, C_{i2}, K, C_{im}\}$$

En un intento por profundizar del comportamiento de los costes, se han de diferenciar varios pasos tendentes a mostrar una visión realista de la evolución que los mismos presentan ante variaciones de la actividad de la empresa.

Identificar el comportamiento de cada uno de los costes de los diferentes productos. Con ello se pretende establecer cual de los tipos de comportamientos de costes anteriormente mencionados (de estado parado, de preparación de la producción, semifijos, proporcionales, progresivos, degresivos, regresivos, etc.), se ajusta en mayor medida a cada uno de los incurridos para fabricar cada producto.

Estimar los valores de las variables determinantes en el comportamiento de cada coste. Aparejadas con las funciones de cada uno de los costes, se han de estimar las variables que las determinan, siendo además posible que el conocimiento que sobre ellas se tiene no sea del todo preciso. Por ello, se sugiere utilizar números borrosos trapezoidales para su representación.

Análisis de las posibles sinergias de producción. Cuando una empresa fabrica varios productos, puede suceder que las actividades de obtención de los mismos no sean independientes de unos a otros, es decir, que una misma actividad participe en la fabricación de dos o más productos. De ahí que puedan surgir aumentos o disminuciones en los costes de obtención de los productos, cuando su elaboración se lleva a cabo de una manera acompasada. Así, la matriz de variaciones en los costes unitarios de cada producto por la obtención de otro cualquiera de la empresa (simétrica por definición) puede representarse por:

$$S\tilde{C} = \begin{Bmatrix} - , S\tilde{C}_{12} , S\tilde{C}_{13} , K , S\tilde{C}_{1n} \\ S\tilde{C}_{21} , - , S\tilde{C}_{23} , K , S\tilde{C}_{2n} \\ M & & & M \\ S\tilde{C}_{n1} , S\tilde{C}_{n2} , K , S\tilde{C}_{n(n-1)} , - \end{Bmatrix}$$

Con las etapas anteriormente descritas, se ha conseguido reflejar de una manera más profunda las situaciones de complejidad que pueden acontecer a la hora de elaborar un Presupuesto de Producción.

IV.5.2. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA DE PRODUCCIÓN CON ALGORITMOS GENÉTICOS

Como ya se ha puesto de manifiesto en la presente Memoria, los Algoritmos Genéticos son herramientas de optimización heurística que permiten obtener soluciones a problemas combinatorialmente complejos.

Tal como se ha planteado en la sección anterior, la elaboración de un Presupuesto de Producción se incluye dentro de estos problemas de difícil solución. Por ello, en este trabajo, se ha planteado la posibilidad de emplear Algoritmos Genéticos en la selección de las alternativas de producción, justificándose que, al comportarse las variables de manera no lineal, otras técnicas más precisas se encuentren fuera de aplicabilidad.

IV.5.2.1. EVALUACIÓN BORROSA DE LAS ALTERNATIVAS

Las distintas alternativas que posee la empresa de organizar su proceso productivo en un período concreto han de compararse de acuerdo con criterios que determinen cuál es la mejor de ellas.

Para tal fin, lo generalmente admitido, será evaluar o clasificar las diferentes alternativas según los posibles beneficios que propician. En consecuencia, el método a utilizar ha de comparar los ingresos con los gastos previstos de cada alternativa. Por ello, se entenderá que una alternativa de producción es mejor que otra si los beneficios que se obtienen con ella son superiores.

Por otro lado, al manejar números borrosos trapezoidales para evaluar las ventas y los costes, el beneficio vendrá determinado, a su vez, por un número borroso trapezoidal. Con el fin de obtener una medida de la bondad de una alternativa que pueda ser comparada con la de las demás, se sugiere utilizar la distancia borrosa con respecto al *singleton* 0 (número borroso trapezoidal $[0,0,0,0]$) [Kaufmann y Gil-Aluja, 1987].

IV.5.2.2. UN ALGORITMO GENÉTICO PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA DE PRODUCCIÓN

El Algoritmo Genético que se propone para resolver la selección de la alternativa óptima de producción, tiene las siguientes características:

Codificación de las soluciones. Las cadenas de soluciones que van a constituir los individuos de las poblaciones tendrán una longitud igual al número de productos elaborados por la empresa. Cada elemento de la cadena representará el número de unidades que se fabricarían, generándose números aleatorios entre cero y el máximo de producción de cada artículo para determinarlos. De este modo, cada cadena representa una posible estrategia de producción de la empresa.

Función de adecuación o adaptación. Para establecer la adecuación de las soluciones, se utiliza el modelo de evaluación borrosa planteado en la sección anterior. Con él, se obtendrá un número como indicador de la bondad de cada solución.

Proceso de selección. De acuerdo con la evaluación propuesta, el siguiente paso de selección de los “padres” de la siguiente generación se sugiere realizarlo a través de un *Ranking de Selección con Ruleta* [Davis, 1991]. Así, aquellos individuos más aptos tendrán más probabilidad de ser los “padres” de la siguiente generación. Figura IV.11.

	Adecuación	Adecuación acumulada	Números aleatorios entre 1 y 24											
<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	7	7	13	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	3	2	1	4	5
1	2	3	4	5										
3	2	1	4	5										
<table border="1"><tr><td>1</td><td>3</td><td>5</td><td>2</td><td>4</td></tr></table>	1	3	5	2	4	3	10	20	<table border="1"><tr><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	5	4	3	2	1
1	3	5	2	4										
5	4	3	2	1										
<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	3	2	1	4	5	4	14	17	<table border="1"><tr><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	5	4	3	2	1
3	2	1	4	5										
5	4	3	2	1										
<table border="1"><tr><td>4</td><td>1</td><td>5</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	4	1	5	2	3	1	15	6	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5
4	1	5	2	3										
1	2	3	4	5										
<table border="1"><tr><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	5	4	3	2	1	9	24	23	<table border="1"><tr><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	5	4	3	2	1
5	4	3	2	1										
5	4	3	2	1										

Ranking de Selección con Ruleta

Figura IV.11

Cruce. Para la realización del cruce de los “padres”, se sugiere utilizar un cruce uniforme que asigne aleatoriamente la producción de cada artículo de la empresa, contenidos en las cadenas de los “padres”, aleatoriamente de uno a otro hijo [Syswerda, 1989].

Así, si por ejemplo, tras el proceso de selección se tiene dos “padres”:

$$S_1 = \{10, 40, 50, 30, 20\}$$

$$S_2 = \{30, 20, 10, 50, 40\}$$

Un resultado del proceso de cruce de tipo uniforme podrían ser los siguientes “hijos”:

$$S'_1 = \{10, 20, 50, 30, 40\}$$

$$S'_2 = \{30, 40, 10, 50, 20\}$$

Mutación. Para la realización de esta fase del Algoritmo Genético, se propone utilizar una mutación que introduzca nuevas cantidades a producir en las soluciones del algoritmo genético. Para ello, se elige una posición de la cadena al azar, generándose posteriormente, un número aleatorio entre cero y la demanda máxima estimada para ese producto.

Condición de Parada de la búsqueda de la mejor solución. Se propone que el algoritmo ejecute un número de generaciones, a elección del usuario, hasta mostrar la mejor solución alcanzada. Además, con el fin de no perder buenas soluciones se ha introducido la característica denominada *Elitismo* [Goldberg, 1989], proceso consistente en mantener el mejor individuo de una generación en las siguientes hasta que otro no lo supere en adecuación al problema. Este procedimiento evita que se pierda la mejor solución de una generación hasta que no sea sobrepasada por otra superior en adecuación al problema.

De acuerdo con lo anterior, el Algoritmo Genético con estas características permite llevar a cabo un proceso de elaboración de presupuestos de producción en ambientes inciertos y cuando existe no linealidad en el comportamiento de las variables implicadas.

A modo de resumen, en la Figura IV.12 se muestra una recopilación de todos los pasos descritos anteriormente.

IV.6. EJEMPLO DE EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA

Para el contraste del modelo de elaboración del Presupuesto de Producción, se introdujeron diversos ejemplos. Entre ellos el que se muestra a continuación que hace referencia al proceso de producción de una fábrica de muebles. Con él, se pretende demostrar las posibilidades que se abren con la utilización de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y los Algoritmos Genéticos en la elaboración de un Presupuesto de Producción óptimo.

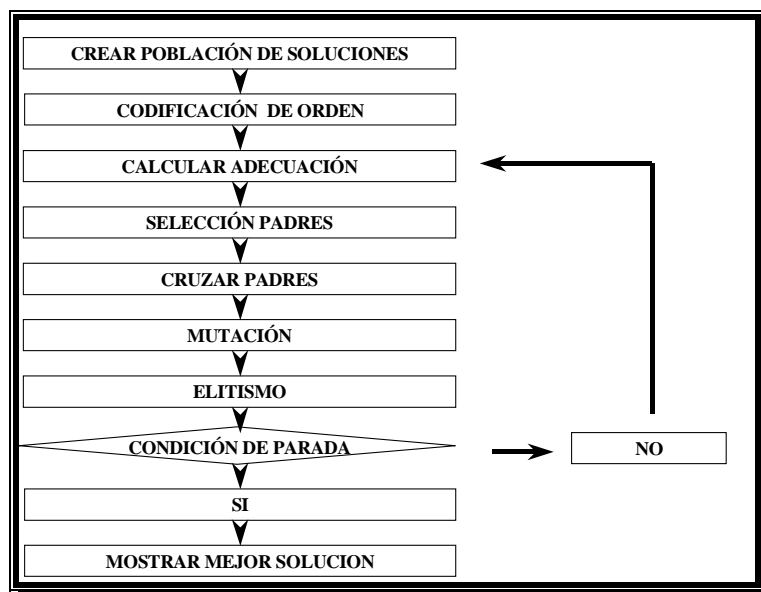


Figura IV.12

IV.6.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una fábrica de muebles obtiene cinco productos diferentes a través de su proceso productivo: mesas, sillas, armarios, camas y mesillas. En la elaboración de cada uno precisa incurrir en diferentes costes de producción cuyo comportamiento no conoce con absoluta certeza.

Además, las estimaciones de los precios de venta y la demanda que de cada uno se espera obtener en el período de estudio no se conocen con precisión, con lo que la empresa prefiere utilizar números borrosos trapezoidales para establecer su previsión.

Así, las ventas máximas a realizar y los precios de venta previstos para cada uno de los artículos se muestran en el Cuadro IV.1.

Producto	Ventas previstas	Precio de venta previsto
Mesas	(400, 400, 400, 400)	(1600, 1700, 1800, 1900)
Sillas	(300, 350, 350, 380)	(700, 700, 700, 700)
Armarios	(500, 600, 700, 800)	(4000, 5000, 5000, 7000)
Camas	(200, 300, 350, 450)	(4000, 4000, 5000, 5000)
Mesillas	(430, 430, 430, 430)	(2000, 2100, 2200, 2300)

Cuadro IV.1

Por otro lado, los costes de producción necesarios para la obtención de cada uno de los productos se comportan de diferente forma, siendo, además, el conocimiento que se tiene de su evolución impreciso, por lo que se han utilizado números borrosos trapezoidales para su estimación. Los tipos de costes y los valores previstos para los mismos se muestran en el Cuadro IV.2.

Productos	Costes	Parámetros
Mesas	<i>Coste de estado parado o inactividad</i>	Cik=(9000, 9000, 9000, 9000)
	<i>Coste de preparación de la producción</i>	Cpk=(700, 700, 700, 700)
	<i>Coste semifijo (3 tramos)</i>	Csk1=(1000, 1000, 1000, 1000)
		Csk2=(2000, 2000, 2100, 2100)
		Csk3=(3000, 3000, 3200, 3300)
		A=(500, 550, 550, 600)
		B=(1000, 1050, 1100, 1110)
Sillas	<i>Coste proporcional</i>	Cppk=(5, 5.5, 5.5, 5.8)
	<i>Coste regresivo</i>	Cdk=(0.6, 0.6, 0.6, 0.6)
Armarios	<i>Coste de preparación de la producción</i>	Cpk=(7000, 7000, 7000, 7000)
	<i>Coste regresivo</i>	Crk1=(5000, 5000, 5000, 5000)
		Crk2=(2000, 2500, 3000, 3500)
Camas	<i>Coste proporcional</i>	Cppk=(6, 6.2, 6.3, 6.5)
	<i>Coste progresivo</i>	Cprk=(2, 2, 2, 2)
Mesillas	<i>Coste de preparación de la producción</i>	Cpk=(1000, 1000, 1000, 1000)
	<i>Coste proporcional</i>	Cppk=(25, 25, 25, 25)

Cuadro IV.2

Además, al tratarse de un proceso productivo donde se obtienen diversos artículos, se han de tener en cuenta las posibles sinergias en costes comunes, como consecuencia de la obtención compaginada de productos relacionados.

En el caso en concreto de esta empresa de fabricación de muebles, las estimaciones borrosas de las sinergias de costes se muestran en el Cuadro IV.3.

$S\tilde{C}_{ij}$	Mesas	Sillas	Armarios	Camas	Mesillas
Mesas	-	(2, 3, 3, 4)	-	(6, 6, 6, 6)	(3, 4, 5, 6)
Sillas	(1, 1, 1, 1)	-	-	(5, 6, 6, 7)	-
Armarios	-	-	-	-	-
Camas	(4, 4, 4, 4)	(5, 6, 6, 7)	-	-	-
Mesillas	(3, 3, 4, 5)	-	-	-	-

Cuadro IV.3

Una vez conocida la demanda y los costes previstos para el período de estudio, la empresa se plantea determinar cual es el Presupuesto de Producción que le permite maximizar sus beneficios.

La dificultad de la decisión radica, primero, en el tipo de información disponible; y, segundo, en la no linealidad de las funciones involucradas en la misma.

IV.6.2. APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO BORROSO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN

Los valores de los parámetros utilizados en la resolución del anterior caso práctico con Algoritmos Genéticos fueron los siguientes:

- Probabilidad de cruce: 50%
- Probabilidad de mutación: 10%
- Número de generaciones: 100
- Número de individuos: 50

De acuerdo con los anteriores valores para los parámetros del Algoritmo Genético utilizado y con la información de la demanda y de los costes comentado anteriormente, el resultado obtenido con el modelo propuesto fue:

Presupuesto de Producción	Mesas	Sillas	Armarios	Camas	Mesillas
<i>Unidades</i>	337	295	765	443	405

Para este presupuesto el beneficio que se espera obtener en período analizado es:

Beneficio borroso (NBTrap.) = (6.219.579, 6.220.794, 6.221.199, 6.221.604)

Finalmente, como contraste de la efectividad del modelo planteado, en la Figura IV.13 se muestra la evolución que experimentó el beneficio esperado en cada generación.

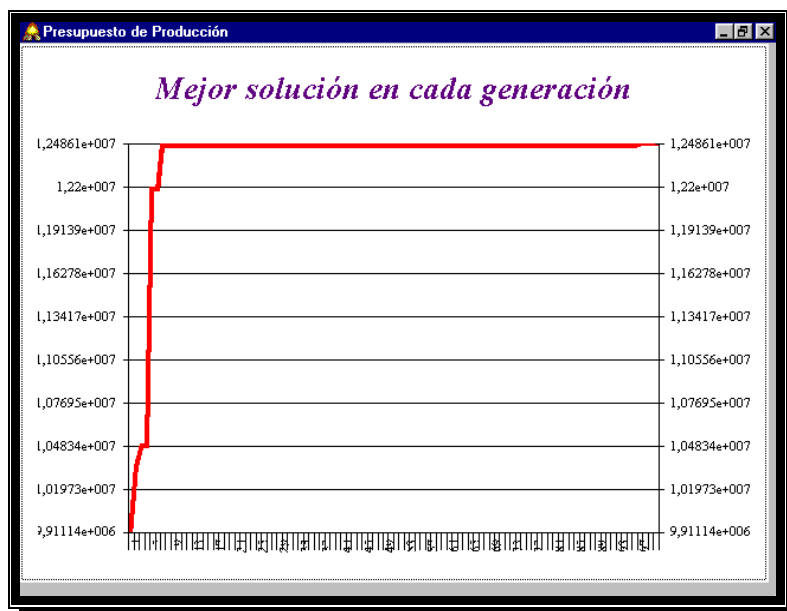


Figura IV.13

Con este ejemplo, se ha tratado de demostrar que, aunque los sistemas reales de producción sean más complejos que el aquí presentado, la aplicación de los Algoritmos Genéticos en combinación con la Teoría de los Subconjuntos Borrosos puede ayudar a obtener buenas soluciones en la elaboración de los Presupuestos de Producción operativos.

CAPÍTULO V. PRESUPUESTO DE MATERIALES

V.1. INTRODUCCIÓN

Cuando una empresa ha llegado a establecer un presupuesto de producción, ha de prever los medios necesarios para alcanzar el mismo. Esto comprende, en primer término, la estimación previsional en cantidades y en valor de los elementos utilizados en la fabricación: materias primas y mano de obra, fundamentalmente. La primera consideración será tratada en el presente capítulo, mientras que la segunda será objeto de estudio en el siguiente.

Existen multitud de fases entre la extracción de materiales y el consumidor final de cualquier producto, generándose en cada una de ellas valor añadido. Las empresas transformadoras representan, en el mercado de las materias primas, lo mismo que los consumidores, en el mercado de los productos terminados y, por tanto, sus problemas tienden a ser comunes.

En todo proceso productivo hay que gestionar operaciones para obtener productos más económicamente. Gestionar las operaciones significa planificar y gestionar los recursos utilizados en el proceso: mano de obra, capital y materiales. Aunque en principio son todos importantes, sin embargo, el mejor camino a través del cual la empresa puede planificar y controlar, es por medio del flujo de materiales, ya que con él, se determina el éxito de los procesos. Si los productos adecuados en la cantidad adecuada no están disponibles en el momento adecuado, el proceso productivo no puede llevar a cabo lo que se le requiere y la mano de obra y maquinaria estarán infrautilizadas.

V.2. EL SISTEMA DE SUMINISTRO-PRODUCCIÓN-DISTRIBUCIÓN

Hay tres fases esenciales en el flujo de materiales. En la primera, las materias primas llegan a la empresa de transformación procedentes de la empresa suministradora, posteriormente, son procesadas en la fase de fabricación y, finalmente, los productos terminados son enviados a los consumidores finales a través del sistema de distribución [Narasimhan *et al.*, 1996]. En la Figura V.1 se muestra gráficamente estas relaciones, donde es importante obser-

var que lo que ocurra en cualquiera de las fases puede afectar a las otras al estar estrechamente relacionadas.

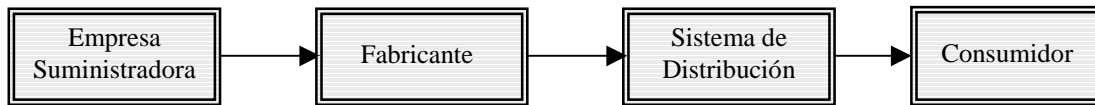


Figura V.1

Aunque los diferentes sistemas varían de empresa a empresa y de sector a sector, los elementos básicos son los mismos: suministro, producción y distribución. La importancia relativa de cada uno depende de los costes de los tres elementos.

En el pasado, las funciones de aprovisionamiento, producción y distribución estaban organizadas en manera separada, afectando a diferentes departamentos de la empresa. Por este motivo, a menudo las políticas y prácticas de los diferentes departamentos, aún tratando de maximizar sus objetivos, no consideraban los efectos que podrían generar en otras partes del sistema. La razón de la incompatibilidad de objetivos reside en la existencia de interrelación entre los tres sistemas, con lo que pueden surgir conflictos de intereses. Mientras que cada sistema tome decisiones independientemente de los demás, puede que éstas repercutan negativamente en los objetivos generales de la empresa.

En consecuencia, la empresa en la búsqueda del máximo beneficio debe cumplir al menos los siguientes cuatro objetivos:

- dar el mejor servicio a los clientes,
- obtener los menores costes de producción,
- realizar las menores inversiones en existencias y
- obtener los menores costes de distribución.

Asimismo, ha de evitar los conflictos de intereses entre los departamentos de marketing, producción y finanzas, ya que cada uno tiene diferentes responsabilidades en estas áreas.

Por un lado, los objetivos del marketing son mantener e incrementar los ingresos por ventas; por tanto, se debe suministrar el mejor servicio posible a los clientes y para ello hay distintas formas de llevarlo a la práctica:

- Mantener altos inventarios para que existan siempre productos disponibles para los clientes.
- Interrumpir otros ciclos de producción de forma que aquellos productos no inventariados sean rápidamente fabricados.

- Crear un sistema de distribución costoso y extensivo para que los productos puedan ser distribuidos a los consumidores rápidamente.

Por su parte el departamento de finanzas debe mantener los inventarios a un bajo coste, a través de los siguientes medios:

- Reducir los inventarios de forma que las inversiones en inventarios se mantengan al mínimo.
- Reducir el número de plantas y almacenes.
- Producir en grandes cantidades y en grandes volúmenes de ciclos de producción.
- Fabricar sólo cuando hay órdenes de producción.

Finalmente, producción debe mantener los costes de sus operaciones al más bajo nivel posible. Para ello, dispone de las siguientes vías:

- Fabricar grandes cantidades de productos poco diferenciados. Así, se tendrán que realizar pocos cambios y se podrán utilizar equipos especializados que reduzcan el coste del proceso productivo.
- Mantener altos niveles de inventarios de materias primas y mano de obra para que el proceso productivo no se pare por falta de suministro.

Estos conflictos entre marketing, finanzas y producción afectan al servicio a los clientes, al proceso productivo y a los niveles de inventarios.

En la actualidad, ha adquirido cierta importancia el concepto del *Justo a Tiempo* (Just in Time, JIT) cuya filosofía persigue suministrar los productos a los clientes cuando ellos quieran y mantener los inventarios en un nivel mínimo. La puesta en práctica de tales modelos afecta directamente a las relaciones entre producción, marketing y finanzas.

Un camino expedito para intentar solventar los conflictos que surgen en las empresas consiste en proporcionar una coordinación a las funciones de aprovisionamiento, fabricación y distribución. Para lograrlo, el problema reside en equilibrar los objetivos conflictivos, minimizando el importe de todos los costes involucrados y maximizando el servicio a los clientes, dentro de los objetivos de la organización.

Se precisa de algún tipo de gestión integrada de los materiales u organización logística que sea responsable del suministro, producción y distribución. Así, mejor que tener funciones independientes de marketing, fabricación y distribución, resulta más recomendable juntarlas en un área de responsabilidad.

V.3. LA GESTIÓN PRESUPUESTARIA DE LOS MATERIALES

El concepto de la existencia de un departamento responsable del flujo de materiales, desde los proveedores a través de producción hasta los consumidores, es relativamente nuevo. Aunque muchas compañías han adoptado este tipo de organización, hay todavía un número de ellas que no lo han puesto en práctica. En todo caso, si las empresas desean minimizar los costes totales de este área y suministrar un mejor nivel de servicio a los clientes, deben actuar en esta dirección [Arnold, 1996].

El nombre que normalmente se da a esta función es *Gestión Presupuestaria de los Materiales*. Otros nombres pueden ser Planificación y Control de la Distribución y Gestión Logística, pero el que va a ser utilizado será el primero de ellos.

La Gestión Presupuestaria de los Materiales es una función de coordinación responsable de planificar y gestionar el flujo de materiales. Sus dos objetivos son:

- Maximizar el uso de los recursos de la empresa.
- Suministrar el nivel requerido de servicio a los clientes.

La Gestión Presupuestaria de los Materiales puede hacer mucho para mejorar el rendimiento de la compañía. Por un lado, reduciendo los costes puede contribuir directamente a incrementar el beneficio. Sin embargo, incrementando las ventas se aumentan los costes directos de mano de obra y materiales reduciendo el beneficio. Con la Gestión de Materiales se pueden reducir los costes, asegurando que los materiales adecuados están en lugar correcto en el momento adecuado y, además, se conseguirá que los recursos de la empresa sean utilizados de una manera óptima.

V.4. FUNDAMENTOS DE LOS INVENTARIOS

Los inventarios son materiales y suministros que una unidad económica o institución posee, ya sea para vender o para abastecer al proceso productivo. Todas las empresas o instituciones precisan de inventarios y, a menudo, constituyen una parte importante del activo total de las mismas [Horngren, 1980].

Financieramente, los inventarios tienen una alta trascendencia sobre todo en empresas de transformación. Patrimonialmente suelen representar desde un 20% hasta un 60% de los activos totales y a medida que son utilizados se van convirtiendo en liquidez, que mejora el flujo de caja y la rentabilidad de la inversión. Existe un coste por mantener los inventarios, conocido como de posesión, que incrementa los costes de las operaciones y disminuye los beneficios y, por ello, una buena gestión de inventarios es esencial, en la medida que es responsable de planificar y controlar distintas fases del proceso productivo en las que se pueden

encontrar artículos almacenados desde las materias primas hasta el consumidor final. Por ello, los inventarios tanto soportan como son el fin del proceso productivo. No se puede pues, gestionar de manera separada estos dos niveles de existencias y, por tanto, la misma debe estar coordinada.

Los inventarios deben tenerse en cuenta en cada nivel de planificación y así, forman parte del plan de producción, del programa de planificación de la fabricación y del plan de requerimientos de materiales. De este modo, la planificación de la producción está relacionada con todos los tipos de inventarios, el programa de fabricación con los de productos terminados y la planificación de los requisitos de material con los componentes y las materias primas.

V.4.1. FUNCIONES DE LOS INVENTARIOS

En la fabricación en serie, los fines que se persiguen con los inventarios son compaginar oferta con demanda, sirviendo como paso intermedio entre:

- Suministro y demanda.
- Demanda de los consumidores y productos terminados.
- Productos terminados y disponibilidad de componentes.
- Requerimientos para una operación y la salida de la operación precedente.
- Partes y materias primas para comenzar la producción y los suministradores de las mismas.

En este sentido, los inventarios pueden clasificarse de acuerdo con las funciones que llevan a cabo como sigue:

Inventarios anticipados. Se forman para anticipar la demanda futura. Los motivos pueden ser muy variados: estacionalidad en la demanda, retrasos en el suministro, posibles huelgas, programas de promoción, vacaciones, etc. Se construyen para ayudar a la función de producción y, también, para reducir los costes de cambio en los volúmenes de producción.

Inventarios de fluctuación. Sirven para cubrir fluctuaciones aleatorias e impredecibles en el suministro, en la demanda o en los tiempos de entrega. Si la demanda o el plazo de entrega es mayor de lo previsto, se puede producir una ruptura. Para ello, el stock de seguridad debe servir de protección contra la posibilidad de falta de materiales o productos. Su propósito es, por tanto, prevenir irregularidades en la fabricación o en el servicio a los clientes.

Inventarios por el tamaño del lote. Si se compran materiales en cantidades mayores de las que se necesitan inmediatamente, se crean inventarios debidos al tamaño del lote. Su apa-

rición esta motivada a que puede resultar interesante obtener descuentos por volumen, reducir el coste de transporte, minorar los costes de emisión de las órdenes o cuando no es posible comprar los materiales al mismo ritmo en el que son vendidos o utilizados.

Inventarios de transporte. Estos inventarios existen porque se precisa de un determinado período de tiempo para trasladar los productos de un lugar a otro, como por ejemplo, desde una planta a un centro de distribución, desde la fábrica a un cliente, etc. Tradicionalmente, han recibido la denominación de inventarios en movimiento y su porcentaje se obtiene normalmente con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{tA}{365},$$

donde I es el porcentaje anual de inventarios en tránsito, t es el tiempo de tránsito en días y A es la demanda anual. Así, se puede advertir que el inventario en tránsito no depende del volumen del transporte, pero sí del tiempo del transporte y de la demanda anual. Por ello, la única manera de reducir el coste de los inventarios en transporte es reduciendo el tiempo durante el cual las mercancías se encuentran en tránsito.

Inventarios de expectativa. Algunos productos como los minerales, animales, cereales, se comercian en mercados globales y el precio de los mismos fluctúa de acuerdo con la demanda y oferta mundial. Si los compradores esperan que los precios suban, deberán comprar inventarios de expectativa cuando los precios son bajos, pero realizar estimaciones es complejo.

V.4.2. PREVISIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

La elaboración de una previsión de materias primas presentan dos tipos de problemas [Meyer, 1989]:

- establecimiento de las previsiones,
- interés de las previsiones.

V.4.2.1. ESTABLECIMIENTO DE LAS PREVISIONES

El prever las materias necesarias para la elaboración de un producto supone prever:

Las cantidades a consumir. Estos consumos se obtienen a base de la concepción de los productos que ha realizado la empresa, de las especificaciones relativas a la naturaleza y de la calidad de los materiales a emplear, de los desperdicios y de los productos defectuosos normales de la fabricación.

La previsión será más o menos exacta según la naturaleza de la actividad de la empresa y el tipo de materiales utilizados.

A este respecto, se pueden distinguir cuatro clases de industrias:

a) Las industrias que tienen un proceso de producción continuo y elaboran productos cuya composición puede traducirse en una fórmula en la que entran materiales concretos en proporciones claramente definidas: industrias químicas, materias plásticas, productos textiles, etc.

Este tipo de industria, cuando la producción ha conseguido estabilizarse en un nivel, no presenta ninguna dificultad en la determinación de las cantidades a consumir. El principal problema está en la determinación de los defectuosos y mermas que pueden considerarse como normales, y en la fijación de los puntos del proceso de fabricación en que deben realizarse los controles de consumo.

b) Las industrias de transformación que operan con productos naturales de origen animal, vegetal o mineral: industria del calzado o industrias de productos alimenticios.

En ellas se encuentran dificultades en lo que se refiere a la naturaleza y calidad variable de los materiales y, a la falta de homogeneidad en los productos fabricados.

Al no poder realizar previsiones técnicas, se recurre a la estadística para determinar los consumos estándar, teniendo en cuenta, además, las diversas variables relativas a las materias primas utilizadas y a los productos fabricados.

c) Las industrias de transformación que trabajan en serie, produciendo artículos compuestos por piezas y subconjuntos, que fabrican a partir de materias primas con especificaciones bien definidas.

El establecimiento de previsiones de consumo no debería, en principio, presentar ningún problema. Sin embargo, la dificultad reside, lo mismo que las industrias del primer grupo, en la determinación de los porcentajes de rechazos y defectuosos, que, en este caso, está agravada por el hecho de que se trata de productos que suponen operaciones de transformación numerosas: fabricación de piezas, operaciones de mecanizado, de montaje, etc. Es preciso, en ocasiones, determinar los porcentajes de defectuosos en cada fase.

d) Las industrias que tienen fabricaciones complejas realizadas sobre pedido en pequeñas series: mecánica pesada, fundición, construcción, obras públicas, etc. Al no estar la producción normalizada, salvo en los elementos comunes a diversas fabricaciones, las previsiones de consumo se fijarán, por regla general, basándose en estimaciones de la propia empresa. Por ello, habrá que esperar desviaciones importantes en las que será difícil determinar la parte que es error de estimación y la que corresponde a las condiciones de ejecución de la misma.

Previsiones de los precios unitarios. La previsión de los precios unitarios presenta menos dificultades que la de los consumos, si bien es mucho más estimativa. Mientras que los consumos dependen esencialmente de las condiciones técnicas de producción y pueden medirse con precisión, los precios son función del mercado y no pueden ser objeto más que de estimaciones.

Si el mercado es estable, estas estimaciones serán satisfactorias y se podrán valorar los *stocks* de primeras materias y de productos acabados con relativa facilidad.

Si por el contrario, se trata de materiales que tienen importantes fluctuaciones de cotización: metales no férricos, algodón, etc., los precios previsionales no ofrecerán las mismas ventajas. Si en el curso del período se producen desviaciones importantes, se verá en la necesidad de tener en cuenta su influencia en los *stocks*, para la determinación de los resultados.

Desde el punto de vista de la fabricación, las variaciones de precio de las primeras materias no suelen tener gran importancia, pues la previsión y el control, en la fase de fabricación, se realizan principalmente sobre cantidades consumidas.

V.4.2.2. INTERÉS DE LAS PREVISIONES

El interés que presentan las previsiones tanto de precios como de consumos de materiales tiene una doble naturaleza:

1. *Al servicio de la función de aprovisionamiento.* Se pretenden establecer las previsiones unitarias de consumo y el programa de fabricación subsiguiente. Con ello, se pueden conocer las necesidades de cada taller por el tipo de material y así, el servicio de aprovisionamiento puede establecer sus presupuestos de compra y de inventarios.

2. *Al servicio del taller o sección usuaria.* A través del conocimiento de las cantidades a utilizar, debe colaborar, estrechamente, en el desarrollo del objetivo.

El número de materiales utilizados por un taller o una sección puede ser grande, por lo que conviene reducir el análisis a aquellos más importantes.

En este sentido, fijar una prima por economía de materiales puede contribuir a que el personal cumpla los objetivos fijados.

Hay que señalar que existen opiniones contrapuestas acerca de la conveniencia de informar al personal sobre el valor de las materiales que utiliza, con vistas a no despertar su interés.

Un resumen de la problemática del establecimiento de previsiones de primeras materias se muestra en el Cuadro V.1.

Medios	Servicio interesado	Decisión derivada de la previsión	Decisión derivada del control
Primeras Materias	Taller o sección	Objetivos de consumo de materiales.	Lucha contra el despilfarro, rechazos, etc.
	Servicio de aprovisionamiento	Presupuesto de compras y almacenamiento	Modificaciones eventuales del presupuesto

Cuadro V.1

V.4.3. OBJETIVOS DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS

Todas las empresas desean maximizar sus beneficios, teniendo al menos los siguientes objetivos:

- Maximizar el servicio a los clientes.
- Minimizar los costes de las operaciones.

V.4.3.1. SERVICIO A LOS CLIENTES

En sentido estricto, el servicio a los clientes es la habilidad de una compañía para satisfacer las necesidades de los clientes. En la gestión de inventarios, el término es utilizado para describir la disponibilidad de productos que una empresa posea cuando son necesitados, sirviendo de medida de la efectividad de la gestión de inventarios. Si se considera que el cliente puede ser un comprador, un distribuidor, otra planta en la organización, o la estación de trabajo donde se va a procesar la siguiente operación del proceso productivo se generaliza, amplía y completa el concepto de servicio a los clientes.

Existen diferentes alternativas para medir el servicio a los clientes, cada una con sus fuerzas y sus debilidades, sin que se pueda considerar ninguna mejor o peor que otra. Algunas de las más utilizadas son el porcentaje de órdenes transportadas, el porcentaje de líneas de productos transportadas y el número de días de las órdenes sin *stock*.

Como antes se explicitó, los inventarios ayudan a maximizar el servicio a los clientes protegiendo a la empresa contra acontecimientos inciertos. Así, si se puede prever exactamente cuántos materiales quieren los clientes y cuándo, se puede planificar la demanda sin error. De cualquier modo, la demanda y el tiempo de entrega para suministrar un material son

incierto en muchos casos, pudiendo provocar la insatisfacción del cliente en sus necesidades de servicio. Por estas razones puede ser necesario tener inventario extra para protegerse contra situaciones impredecibles. Este tipo de inventarios recibe el nombre de *stock de seguridad* y será objeto de un estudio posterior a lo largo del presente capítulo.

V.4.3.2. EFICIENCIA EN LAS OPERACIONES

Los inventarios ayudan a conseguir unas operaciones de fabricación más efectivas de cuatro maneras diferentes:

1. Los inventarios permiten llevar a cabo operaciones con diferentes ritmos de producción y que su procesamiento se realice separadamente y de la manera más económica posible. Si dos o más operaciones en una secuencia tienen diferentes ritmos de salida, debiéndose procesar eficientemente, este objetivo se puede conseguir introduciendo inventarios entre ellas.

2. Los inventarios consiguen equilibrar la producción y, además, la construcción de inventarios anticipados para la venta en períodos de irregularidad puede permitir:

- Menores costes de sobretiempo.
- Menores costes de entrenamiento.
- Menores costes de subcontratación.
- Menores requerimientos de capacidad.

Por medio de la nivelación de la producción, la fabricación puede producir continuamente una cantidad igual a la demanda. La ventaja de esta estrategia es que se evitan los costes de cambio en los niveles de producción.

3. Los inventarios permiten fabricar en grandes lotes de producción, que se materializan en las siguientes ventajas:

Menores costes de puesta a punto por producto. Los costes de fabricar un lote o una serie dependen tanto de la puesta a punto como del coste de la serie. Los costes de puesta a punto son fijos, pero el coste del lote varía en función del número de unidades producidas. Así, si se fabrica en grandes lotes, el coste de puesta a punto es absorbido por un gran número de unidades, siendo el importe unitario menor.

Un incremento en la capacidad de producción propicia un aumento de los recursos de producción utilizados, pero reduce el porcentaje de tiempo de puesta a punto. El motivo viene determinado porque el tiempo en un centro de trabajo se emplea en la puesta a punto y en el procesamiento propiamente dicho. Sin embargo, los productos se obtienen únicamente en el

tiempo de proceso y no en el de preparación. Por ello, si los tamaños de las series de producción son grandes, los tiempos de puesta a punto disminuyen y se dispone de más tiempo para obtener unidades, cobrando especial importancia cuando se trate de recursos “cuello de botella”, debido a que el tiempo perdido en la puesta a punto en estos recursos se desaprovecha y se pierde, por tanto, capacidad.

4. Los inventarios permiten al proceso productivo comprar en grandes cantidades, las cuales propician, tanto unos menores costes de emisión por unidad, como la concesión de descuentos por volumen.

A pesar de que pueda parecer que con la tenencia de inventarios todo son ventajas, la consecución de las mismas exige un precio. El problema reside en equilibrar las inversiones en existencias con:

El servicio al cliente. Cuanto mayor sea el volumen de inventario mayor será el servicio al cliente, pues no tendrá nunca que esperar por mercancías ni se encontrará con la insatisfacción de no ser atendido.

Los costes asociados con el cambio de niveles de producción. Si se fluctúa con la demanda tratando de buscar la minimización de los *stocks*, se producen excesos de capacidad de los equipos, sobrepaso de tiempos, altos costes de entrenamiento y de puesta a punto de las máquinas.

El coste de emitir pedidos. Los pequeños niveles de inventarios pueden ser manejados con un menor esfuerzo, pero esta práctica implica un aumento elevado de los costes de los pedidos.

Costes de transporte. El traslado de productos en pequeñas cantidades tiene un coste por unidad mayor que en grandes cantidades. Sin embargo, los grandes pedidos implican grandes inventarios.

Si se posee un inventario, se ha de conseguir que el beneficio que se obtiene con el mismo exceda de los costes que hay que soportar. Normalmente, se admite como la única buena razón para tener inventarios más allá de las necesidades corrientes, el que los costes de tenencia sean menores que de no tenencia. Por ello, en la siguiente sección, se prestará atención a los costes relacionados con los inventarios.

V.4.4. COSTES DE LOS INVENTARIOS

Los siguientes costes son los considerados tradicionalmente para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de inventarios [López-Díaz y Menéndez-Menéndez, 1989]:

- Costes de los artículos o importe neto de compra.

- Costes de posesión o mantenimiento en almacén.
- Costes de lanzamiento o emisión de una orden de pedido.
- Costes de ruptura.
- Costes relacionados con la capacidad.

V.4.4.1. COSTE DE COMPRA DE LOS ARTÍCULOS

Este coste representa el precio pagado por la adquisición de un artículo comprado y se compone del coste del material y cualquier otro coste directo que haya sido necesario para conseguir que dicho material se encuentre en la empresa. Puede incluir costes de transporte, aduanas, seguros, etc., y en cuyo caso recibe el nombre de coste de adquisición. Si se tratara de un producto fabricado en la empresa, los componentes del coste de los productos serían las materias primas, la mano de obra directa y los gastos generales de fabricación. La información relativa al valor de estos costes se ha de requerir, o bien de la sección de compras, o bien de la de contabilidad.

V.4.4.2. COSTES DE POSESIÓN O DE MANTENIMIENTO EN ALMACÉN

Estos costes se refieren a los gastos en los que incurre la empresa y que son proporcionales al volumen de inventarios que se mantenga en sus almacenes. Así, a medida que los inventarios aumentan, también lo hacen los costes de este tipo. Los mismos pueden dividirse en tres categorías:

Costes de capital. Debido a la existencia de inventarios el dinero que los constituye no está disponible para otros usos y, por tanto, representa un coste de oportunidad. El coste mínimo será el interés perdido por no invertir el dinero al interés del mercado, pudiendo ser tan alto como la mejor oportunidad de inversión que tenga la empresa.

Coste de almacenamiento. El mantenimiento de inventarios requiere espacio, trabajadores y equipos. A medida que aumenta el *stock* almacenado también lo hacen estos costes.

Costes de riesgo. Los riesgos inherentes al mantenimiento de artículos almacenados son:

Obsolescencia: pérdida de valor de los productos debido a cambios en modas, estilos o a desarrollos tecnológicos.

Deterioro: los materiales se pueden dañar o estropear mientras se mantienen en el almacén o se desplazan.

Pérdida: artículos robados, desaparecidos o simplemente perdidos.

Depreciación: los productos de carácter perecedero, a medida que pasan tiempo almacenados, presentan peores condiciones de utilización o consumo.

La importancia que cada uno de estos costes tiene en la gestión de existencias difiere de sector a sector y de empresa a empresa. Así, por ejemplo, los costes de capital dependen de los tipos de interés de los créditos de la empresa y de las distintas oportunidades que pueda tener de invertir su dinero. Los costes de almacenamiento varían con la localización y el tipo de ubicación necesaria. Los costes de riesgo pueden ser muy bajos o muy altos dependiendo del tipo de material; por ejemplo, para los artículos de moda serían muy altos y no tanto para los edificios.

V.4.4.3. COSTES DE LANZAMIENTO O EMISIÓN DE UNA ORDEN DE PEDIDO

Los costes de lanzamiento de los pedidos están relacionados con la empresa y con el suministrador. El coste de emitir un pedido no depende, únicamente, de la cantidad solicitada, sino que hay ciertos costes que son independientes de dicha cantidad. Por ello, el coste anual de lanzamiento de los pedidos depende del número de órdenes emitidas al año, siendo los siguientes los componentes del mismo:

Costes de control de la producción. El esfuerzo empleado en controlar la producción depende del número de órdenes emitidas, no de la cantidad pedida. Cuanto menores sean las ordenes pedidas al año, menores serán los costes de control de la producción. Este tipo de costes incluye la recepción y despacho de materiales, establecimiento de tiempos y órdenes de proceso de los mismos, etc.

Costes de puesta a punto y parada. Cada vez que una orden llega al almacén, se incurren en costes de preparación de los trabajadores y equipos encargados de su recepción. Además, cuando se termina esta tarea, se incurren en unos costes de finalización de la misma. Ambos son independientes del volumen del pedido, pero aumentan a medida que se incrementa el número de los mismos.

Costes de capacidad perdida. Cada vez que un pedido llega a la empresa, se pierde tiempo en la recepción del mismo que se podría emplear en el proceso productivo. Esto representa una pérdida de capacidad y está directamente relacionado con el número de órdenes emitidas.

Costes administrativos del pedido. Cada vez que se realiza un pedido, se incurren en unos costes para solicitarlo. Éstos incluyen petición remitida al proveedor, seguimiento, recepción, autorización del pago y contabilización de la operación. El volumen anual de los

mismos dependerá del número de pedidos y no del número de artículos que se adquiriera en cada uno.

El coste anual de lanzamiento o emisión de órdenes es proporcional al número de las mismas que se solicitan en un período de tiempo determinado. Su importe puede reducirse realizando pedidos en grandes cantidades, con lo que el número de órdenes será menor. Sin embargo, esto producirá que el nivel de inventario sea mayor y, a su vez, el coste de posesión o de mantenimiento de los artículos en el almacén.

V.4.4.4. COSTES DE RUPTURA

Si la demanda excede de lo previsto, se producirá una *ruptura* en el *stock*, es decir, no habrá suficientes artículos para satisfacer la demanda de los clientes o del proceso productivo. Los costes que esta situación acarrea pueden ser elevados en ciertas ocasiones e incluirán: costes de ventas no realizadas, de devolución del pedido, de pérdidas de clientes, etc. Las rupturas pueden evitarse manteniendo niveles extra de inventarios para proteger a la empresa contra situaciones en las que la demanda real sea mayor que la previsión de la misma. Sin embargo, esta práctica supone mayores costes de posesión de los artículos almacenados.

V.4.4.5. COSTES ASOCIADOS CON LA CAPACIDAD

Cuando los volúmenes de capacidad varían por motivo de las necesidades se incurre en costes de alquiler, entrenamiento, horas extra, paradas, etc., fuera de lo previsto. Este tipo de costes se puede evitar nivelando la producción, con el fin de obtener productos en épocas de demanda baja para ser vendidos en períodos de aumento de la misma lo que, por otro lado, producirá un incremento en los costes de posesión.

V.5. GESTIÓN PRESUPUESTARIA DE INVENTARIOS POR EL MODELO ABC

La gestión presupuestaria de inventarios se ha de llevar a cabo de manera individual para cada material. Por ello, se han de tener en cuenta cuatro cuestiones importantes [Narasimhan *et al.*, 1996]:

- *¿Cuál es la importancia de cada material?*
- *¿Cómo debe controlarse cada uno?*
- *¿Cuánta cantidad se debe pedir cada vez?*
- *¿Cuándo se tiene que solicitar cada orden?*

El modelo ABC de clasificación de las existencias responde a las dos primeras cuestiones determinando la importancia de los materiales y estableciendo diferentes niveles de gestión, dependiendo de la importancia relativa que tiene cada uno en la empresa.

La mayoría de las empresas mantienen un gran número de materiales en almacén. Para tener una mejor gestión presupuestaria a un coste razonable, puede ser útil clasificar los materiales de acuerdo con su trascendencia en la empresa, la cual puede estimarse en función de la inversión anual que se realiza en cada uno de ellos.

El principio del modelo ABC está basado en la idea de que un pequeño número de elementos dominan el comportamiento de un conjunto. El primero en observar esta situación fue un economista italiano, Vilfredo Pareto, y por ello este comportamiento de ciertos conjuntos es denominado la *Ley de Pareto*. Su aplicación a la gestión de inventarios ha dado lugar a una relación entre el porcentaje de materiales y el del valor monetario de los mismos que se puede expresar como sigue:

A. Alrededor del 20% de los artículos suponen en torno al 80% del valor monetario del almacén.

B. Alrededor del 30% de los artículos suponen en torno al 15% del valor monetario del almacén.

C. Alrededor del 50% de los artículos suponen en torno al 5% del valor monetario del almacén.

Estos porcentajes son aproximados y no deben ser tenidos en cuenta como absolutos. Sin embargo, este tipo de distribución puede ser utilizado para ayudar a gestionar las existencias.

V.5.1. PASOS PARA LA REALIZACIÓN DE UN ANÁLISIS ABC

El primer paso consistiría en establecer la característica que influye de manera determinante en los resultados de la gestión de inventarios.

Tradicionalmente, se utilizan las necesidades de inversión en valor monetario de cada material, pero podría ser cualquier otro criterio.

En segundo lugar habría que clasificar los materiales en grupos, basándose en el criterio establecido.

Por último, se tendría que aplicar un grado de control en proporción a la importancia que cada uno de los grupos tiene en la empresa.

Los factores que afectan a la importancia de un elemento son variados, aunque, para simplificar, el importe anual invertido en cada material será el criterio utilizado en este texto.

Así, el procedimiento de clasificación a través de las inversiones en valores monetarios es como sigue:

1. Determinar la inversión anual de cada artículo.
2. Multiplicar la inversión anual de cada artículo por su coste para obtener el importe anual invertido en el mismo.
3. Ordenar los artículos de acuerdo a su nivel de inversión en términos monetarios.
4. Calcular la inversión acumulada en valores totales y en porcentaje siguiendo el orden anteriormente establecido.
5. Examinar la utilización anual obtenida en la última fase con el fin de poder agrupar los elementos en las clases A, B y C de acuerdo con los porcentajes de utilización.

La representación gráfica de la agrupación de los materiales siguiendo el modelo ABC se muestra en la Figura V.2.

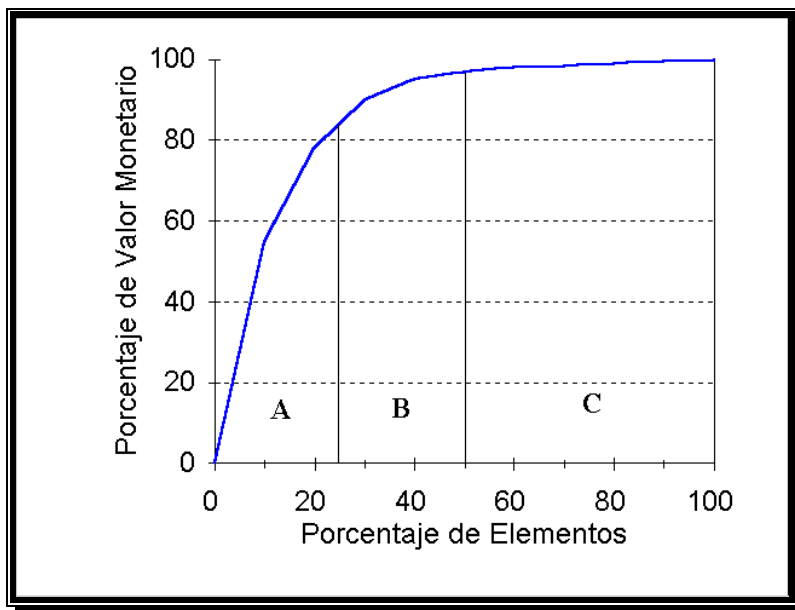


Figura V.2

V.5.2. GESTIÓN PRESUPUESTARIA DE LOS MATERIALES BASADA EN LA CLASIFICACIÓN ABC

La utilización del modelo ABC facilita dos reglas a seguir:

Tener gran cantidad de los materiales poco valiosos. Los artículos incluidos en el grupo C representan el 50% de los materiales pero su coste es alrededor del 5%, únicamente. Por ello, mantener cantidades de más de este tipo de *stocks* supone poco valor en términos

monetarios y, sin embargo, evitará que se produzcan rupturas en los artículos almacenados, lo que podría suponer grandes perjuicios. Una solución sería realizar un pedido al año para satisfacer todas las necesidades y mantener un nivel adecuado en el *stock* de seguridad.

Emplear todos los esfuerzos en reducir la cantidad almacenada de artículos de alto valor. Los artículos pertenecientes al grupo A representan alrededor del 20% de todos los elementos, sin embargo, monetariamente llegan al 80% del valor de las existencias. Son los más importantes y precisan de una gestión estrecha y revisiones frecuentes del volumen almacenado.

Los diferentes tipos de gestión presupuestaria utilizados para diferentes clasificaciones podrían ser los siguientes:

Grupo A: alta prioridad. Se deben practicar un elevado número de controles, incluyendo revisiones continuas, registro adecuado de las variaciones, revisiones frecuentes de la demanda prevista y seguimiento estrecho de los cambios para reducir los costes y los tiempos de entrega.

Grupo B: prioridad media. Se deben practicar controles normales con buenos registros de las variaciones.

Grupo C: baja prioridad. Se deben practicar los controles más simples posibles que aseguren un suministro pleno. El registro de las variaciones ha de ser simple o inexistente y los pedidos se han de realizar en grandes cantidades.

V.6. PRESUPUESTO DE LA CANTIDAD A PEDIR

Como anteriormente se dejó patente, los objetivos de la gestión de inventarios son suministrar el nivel requerido de servicio a los clientes y reducir la suma de todos los costes implicados. Para conseguir ambos objetivos, se ha de responder a dos cuestiones básicas [Curwin y Slater, 1996]:

1. *¿Cuánto se debe pedir cada vez?*
2. *¿Cuándo se debe emitir una orden?*

La empresa debe establecer las reglas de decisión que le permitan responder a estas cuestiones, buscando que el personal encargado de la gestión de inventarios sepa en todo momento cuánto y cuándo pedir.

En muchos casos, a falta de un conocimiento más profundo, las reglas de decisión se basan en lo que es razonable y no siempre dan lugar a los mejores resultados.

V.6.1. REGLAS DE DECISIÓN PARA EL TAMAÑO DE LOS PEDIDOS

A continuación, se muestran algunas reglas de decisión utilizadas en la práctica para establecer cuánto pedir cada vez.

Lote a lote. Esta regla establece que hay que pedir u ordenar exactamente lo que es necesario cada vez, ni más ni menos. Así, el tamaño del pedido cambia a medida que lo hacen los requerimientos de material y, para llevar esta regla a la práctica, se requiere un plan o presupuesto maestro de producción. Como los materiales se piden cuando se necesitan, se provoca que no exista *stock* de los mismos, siendo lo más recomendable para artículos de alto valor.

Cantidad fija a pedir. Este tipo de regla de decisión especifica un número fijo de unidades a pedir cada vez. La principal ventaja es que se aprenden fácilmente, pero la desventaja es que no minimiza los costes involucrados en la gestión de existencias. Una variante de este tipo de reglas es el *Sistema Min-Max*. En él se emiten órdenes cuando la cantidad almacenada desciende de cierto nivel y el tamaño del pedido será igual a la diferencia entre la cantidad disponible en ese momento y el máximo del almacén. Otra variación de este tipo de reglas muy utilizada es la *Cantidad Óptima de Pedido* que será objeto de estudio en la siguiente sección.

Pedir las necesidades para un período “n”. En vez de pedir una cantidad fija, los encargados de la gestión de los inventarios pueden realizar pedidos lo suficientemente grandes como para satisfacer las necesidades de un período de tiempo determinado. La pregunta sería: ¿cuántos períodos se deben cubrir con el pedido?. La respuesta la dan los modelos de cantidad a pedir para períodos de tiempo.

V.6.2. MODELO DE LA CANTIDAD ECONÓMICA DE PEDIDO

El modelo de la cantidad económica de pedido (Economic Order Quantity, EOQ) es una representación matemática de los costes involucrados en la gestión de *stocks*. Aunque es uno de los más simples, ha proporcionado soluciones razonables a una gran cantidad de problemas prácticos.

Las derivaciones de este modelo se fundamentan en cinco hipótesis de partida de carácter restrictivo [Harris, 1915]:

1. La demanda es constante y conocida.
2. El tiempo de entrega es nulo, es decir, no existe retraso entre realizar el pedido y recibir los artículos.
3. Los artículos se producen o compran por lotes y no continuamente.

4. Los costes de pedido y de mantenimiento de los artículos en el almacén son conocidos y constantes en el tiempo.

5. Los artículos llegan todos a la vez.

El modelo de la cantidad económica de pedido se ha desarrollado suponiendo que sólo hay dos tipos de costes que están asociados con la gestión de *stocks* y que son:

- coste de emitir una orden o coste de lanzamiento,
- coste de mantener los materiales en el almacén.

Estas hipótesis son válidas cuando se trata de productos terminados cuya demanda es independiente y bastante uniforme. Sin embargo, hay múltiples situaciones en las cuales no se cumplen las suposiciones del modelo de la Cantidad Óptima de Pedido.

En los casos en los que se ajusta, los costes de emitir una orden aparecerán cada vez que se realiza un pedido a los proveedores e incluirán, generalmente, trabajos administrativos, llamadas telefónicas, envíos postales, viajes, etc., o una combinación de los anteriores.

Por otro lado, los costes de mantenimiento de los materiales en el almacén estarán compuestos por costes de operarios encargados del manejo de los materiales, seguros, impuestos, depreciación, deterioro, obsolescencia, etc.

V.6.2.1. MODELO MATEMÁTICO

Si se denomina por Q a la cantidad que se pide en cada ocasión y D a la demanda anual constante, considerando el año como período de estudio, entonces el nivel de *stock* en función del tiempo aparece como en la Figura V.3.

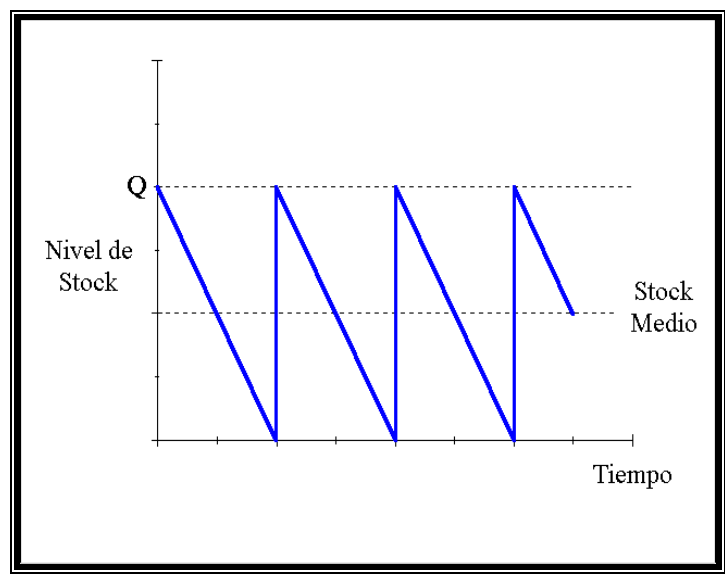


Figura V.3

Si se comienza pidiendo Q , al no haber retraso entre la emisión y la recepción de materiales, automáticamente se tendrá Q en el almacén. Cono además la demanda es constante en el tiempo, es decir, D unidades al año, el tiempo que se tardaría en agotar el pedido sería Q/D años y el número de pedidos por año D/Q .

Así, para un coste de realizar cada pedido, C_o , el coste anual de emisión de pedidos será:

$$\text{Coste anual de emisión} = C_o \cdot \frac{D}{Q}$$

y para un coste unitario de mantenimiento de los materiales en el almacén, C_{ua} , el coste anual de mantenimiento sería:

$$\text{Coste anual de mantenimiento} = C_{ua} \cdot \frac{Q}{2}$$

ya que al ser los pedidos iguales y la demanda constante, la cantidad amacendada por término medio será $Q/2$.

Además, para calcular el coste anual de abastecimiento de un material se tendría que considerar el coste de compra, C_c , es decir la cantidad monetaria desembolsada por una unidad de material. En una primera aproximación, se considerará constante en el tiempo e independiente del volumen de adquisición. Así, el coste total anual vendrá determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Coste anual del stock} = CAS = C_o \cdot \frac{D}{Q} + C_{ua} \cdot \frac{Q}{2} + C_c \cdot D$$

y su representación gráfica en función de la cantidad pedida sería la que muestra la Figura V.4.

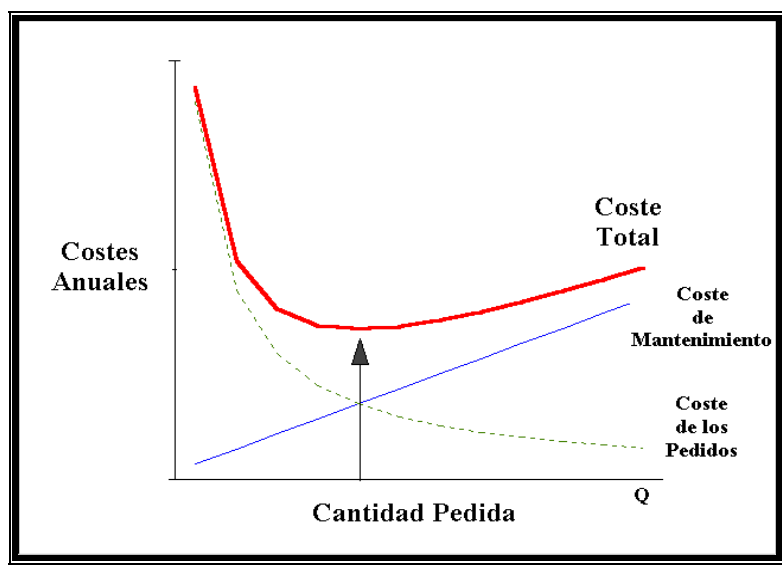


Figura V.4

Si se pretende calcular la cantidad a pedir que minimice el coste total del *stock* de acuerdo con las hipótesis de partida, se deriva la ecuación de costes totales con respecto a la cantidad Q para obtener el punto o los puntos óptimos de la función:

$$\frac{d(CAS)}{dQ} = -C_o \cdot \frac{D}{Q^2} + \frac{C_{ua}}{2}$$

e igualando la derivada a 0 se tiene que:

$$-C_o \cdot \frac{D}{Q^2} + \frac{C_{ua}}{2} = 0$$

y despejando Q se obtiene:

$$\frac{C_{ua}}{2} = C_o \cdot \frac{D}{Q^2}$$

$$Q^2 = \frac{2C_o D}{C_{ua}}$$

$$Q = \pm \sqrt{\frac{2C_o D}{C_{ua}}}$$

Para diferenciar entre un máximo y un mínimo, se deriva una segunda vez la ecuación de costes totales del *stock* y se obtiene:

$$\frac{d^2(CAS)}{dQ} = \frac{2C_o D}{Q^3}$$

Para que se trate de un mínimo, la segunda derivada ha de ser positiva y en este caso, será positiva cuando Q sea positivo, por tanto se puede concluir que el mínimo será para:

$$Q = + \sqrt{\frac{2C_o D}{C_{ua}}}$$

V.6.2.2. PROBLEMÁTICA DE LOS DESCUENTOS

En la práctica, es común que los proveedores ofrezcan descuentos en los materiales que se les adquieren, cuando el volumen de compra es elevado. Debido a ello, se incumple una de las hipótesis del modelo anterior, que planteaba que el coste de compra era independiente del volumen de adquisición. Por tanto, la fórmula de la cantidad económica de pedido obtenida anteriormente no puede ser utilizada directamente en este caso [Curwin y Slater, 1996].

Así, para el caso de un único descuento por volumen, podrían darse las tres situaciones siguientes:

Si la cantidad a partir de la cual se obtiene un descuento es menor que la Cantidad Óptima de Pedido matemáticamente calculada, será esta última la que tenga menor coste de todas las posibles, tal como se muestra en la Figura V.5.

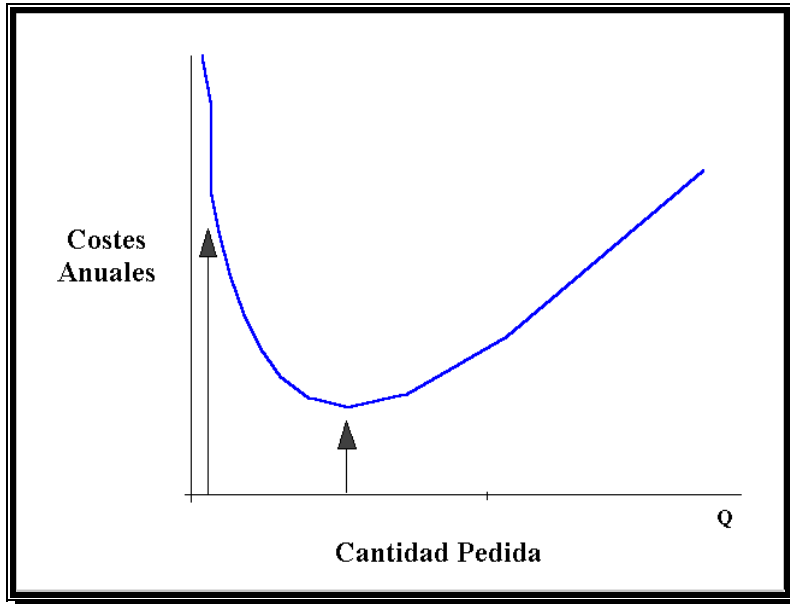


Figura V.5

Si la cantidad a partir de la cual conceden el descuento por volumen es mayor que la Cantidad Óptima de Pedido, se pueden dar las dos situaciones siguientes:

Si se piden cantidades superiores al punto de descuento, el coste total del *stock* no sea inferior al calculado matemáticamente, como se muestra en la Figura V.6.

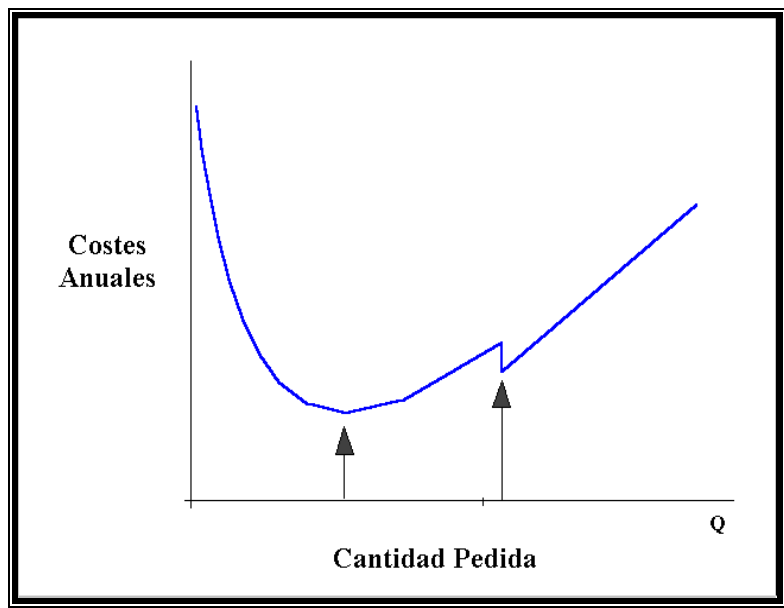


Figura V.6

Si se piden cantidades superiores al punto de descuento, el coste total del *stock* sea inferior al calculado matemáticamente, como muestra la Figura V.7.

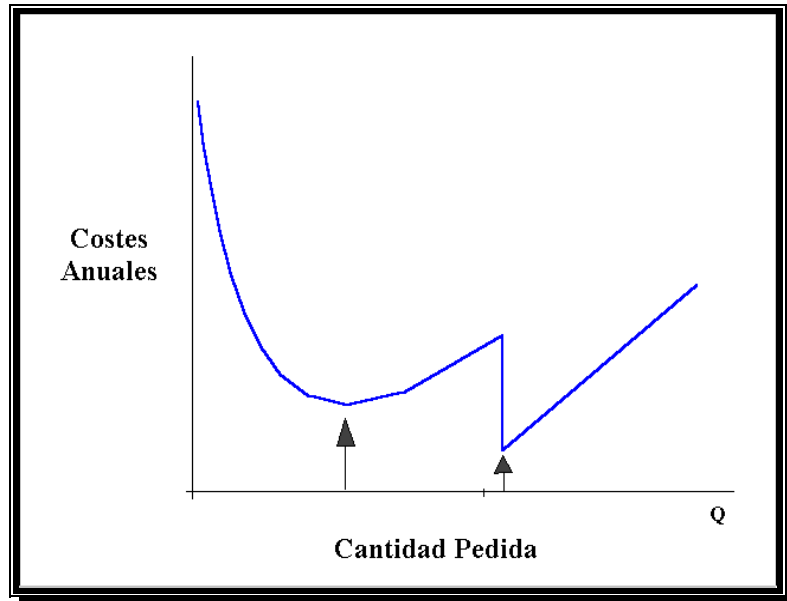


Figura V.7

Por tanto, para conocer cual es la cantidad de pedido con menor coste, será necesario comparar el coste de la cantidad matemáticamente calculada con el coste de la cantidad a partir de la cual conceden el descuento por volumen y así, el menor de los dos informará sobre cual es la más económica.

En este sentido, cuando se planteen situaciones de varios descuentos por volumen de pedido, se puede generalizar el razonamiento anterior y concluir que hay que comparar la cantidad de económica de pedido calculada matemáticamente con cada una de las cantidades de pedido a partir de las cuales practican los descuentos.

V.6.2.3. PROBLEMÁTICA DEL TIEMPO DE ENTREGA

Una de las suposiciones del modelo de la cantidad económica de pedido es la inexistencia de tiempo entre la solicitud de los materiales y la entrega de los mismos. Sin embargo, el modelo resulta más realista si se considera la existencia de un tiempo de entrega. En este caso, el cálculo de la cantidad económica de pedido no cambia, pero sí el momento en que se deben realizar los pedidos [Turban y Meredith, 1991].

Así, en función del consumo en unidad de tiempo y del tiempo que tarda el proveedor en entregar los materiales, se podrá calcular el punto de repedido, es decir, el nivel de *stocks* suficiente para el tiempo de entrega. Este punto indicará el momento en el que se debe realizar un nuevo pedido, como muestra la Figura V.8.

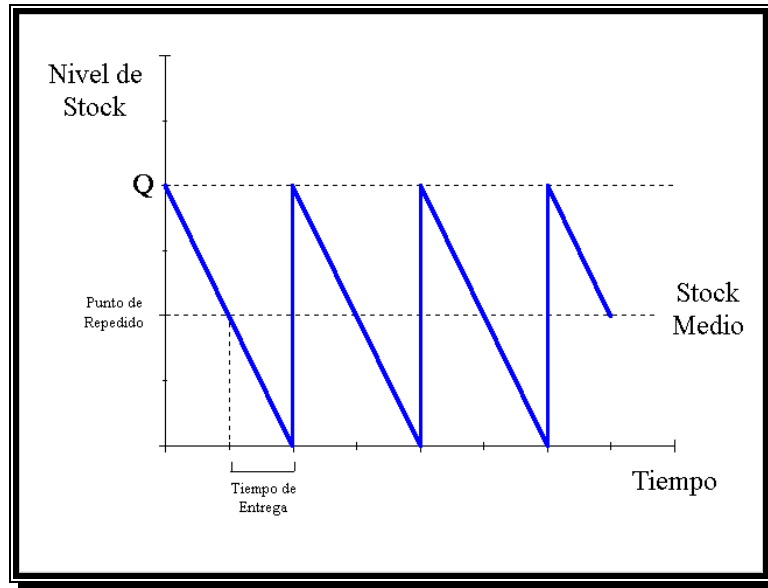


Figura V.8

V.6.2.4. PROBLEMÁTICA DE LA ENTREGA

Una de las hipótesis de partida del modelo de la Cantidad Óptima de Pedido era que los materiales se recibían todos de una vez. Sin embargo, en muchos casos puede ocurrir que se reciban de manera escalonada a medida que el proveedor los vaya terminando, por lo que se requiere un modelo algo diferente. Este planteamiento se aplica cuando los inventarios aumentan continuamente durante un período de tiempo tras haberse realizado el pedido. Bajo estas circunstancias, se ha de tener en cuenta el porcentaje diario de entrada de artículos en el almacén y el de salida de los mismos hacia el proceso productivo o la venta, pues éstas serán las variables determinantes en el establecimiento del punto de repedido. En la Figura V.9 se representa el nivel de inventario en función del tiempo para estas situaciones.

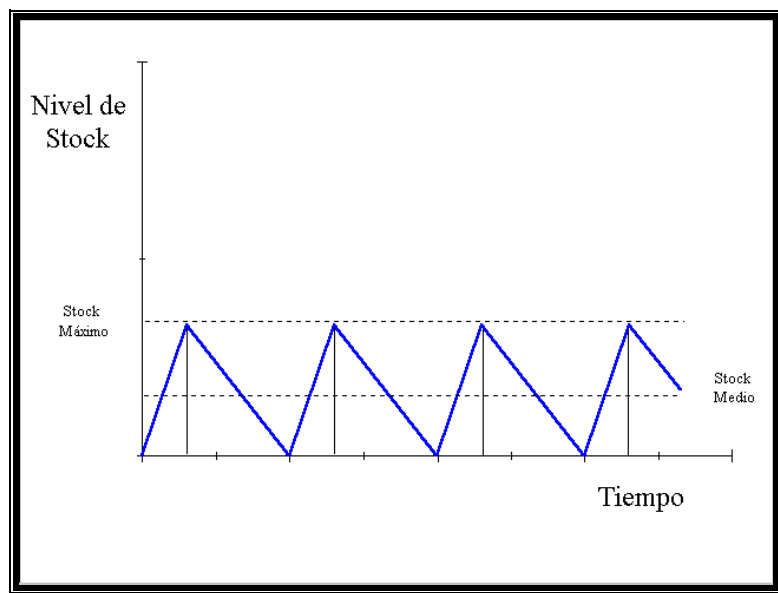


Figura V.9

Este modelo se ajusta especialmente a entornos productivos en los cuales proveedor y cliente son distintas fases del proceso productivo, siendo los artículos a almacenar productos semiterminados. Las modificaciones que se presentan en este modelo se centran en el cálculo del coste de almacenamiento que provoca que varíe el *stock* medio del planteamiento inicial.

De este modo, si se denomina:

E = porcentaje diario de entrada en el almacén

S = porcentaje diario de salida del almacén

T = período de tiempo de entrega

se tendrá que:

$$\text{Coste anual de mantenimiento} = C_{ua} \cdot \frac{\text{Nivel Máximo de Stock}}{2}$$

si

$$\text{Nivel Máximo de Stock} = E \cdot T - S \cdot T$$

y

$$E \cdot T = Q$$

o lo que es lo mismo

$$T = \frac{Q}{E}$$

entonces

$$\text{Nivel Máximo de Stock} = E \cdot \frac{Q}{E} - S \cdot \frac{Q}{E}$$

$$\text{Nivel Máximo de Stock} = Q - S \cdot \frac{Q}{E} = Q \left(1 - \frac{S}{E} \right)$$

Por tanto, se tiene que:

$$\text{Coste anual de mantenimiento} = C_{ua} \cdot \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{S}{E} \right)$$

y que

$$\text{Coste anual del stock} = CAS = C_o \cdot \frac{D}{Q} + C_{ua} \cdot \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{S}{E} \right) + C_c \cdot D$$

Por último, derivando e igualando a 0 se obtendrá la Cantidad Óptima de Pedido para este caso:

$$Q = + \sqrt{\frac{2C_o D}{C_{ua} \cdot \left(1 - \frac{S}{E}\right)}}$$

V.6.2.5. PROBLEMÁTICA DE LA DEMANDA PROBABILÍSTICA

Si la demanda es probabilística, es decir, no se conoce con certeza cuál es su comportamiento pero se puede medir, no hay garantías de que siguiendo el punto de repedido para solicitar los materiales al proveedor no se produzcan problemas de rupturas en los stocks [Curwin y Slater, 1996]. Un ejemplo de la evolución del stock almacenado con demanda probabilística se muestra en la Figura V.10.

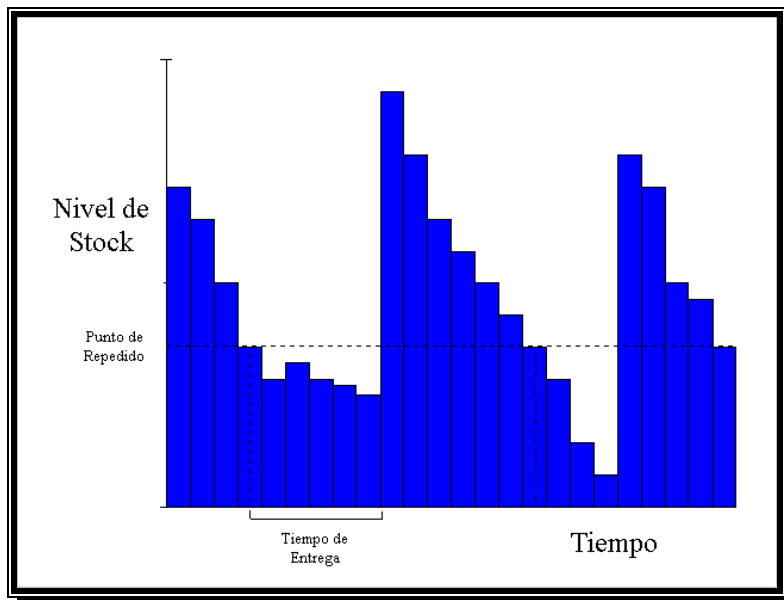


Figura V.10

En estas situaciones, para determinar el punto de repedido se precisa conocer no sólo el tiempo de entrega, sino también el riesgo que la empresa está dispuesta asumir por no tener materiales suficientes para cubrir la demanda de los consumidores o las necesidades del proceso productivo.

Para ello, sería necesario mantener un *stock* de seguridad que evitase situaciones de irregularidad en la demanda, teniendo en cuenta los riesgos que la empresa está dispuesta a admitir. Así, para mayores coberturas de riesgos por la compañía, mayor nivel de *stock* de seguridad se deberá mantener en los almacenes.

A menudo, se utiliza una *Distribución Normal* de probabilidad para describir el comportamiento de la demanda y, gracias a ella, establecer los volúmenes de *stock* de

seguridad en función del riesgo que la empresa puede asumir, tal como se muestra en la Figura V.11.

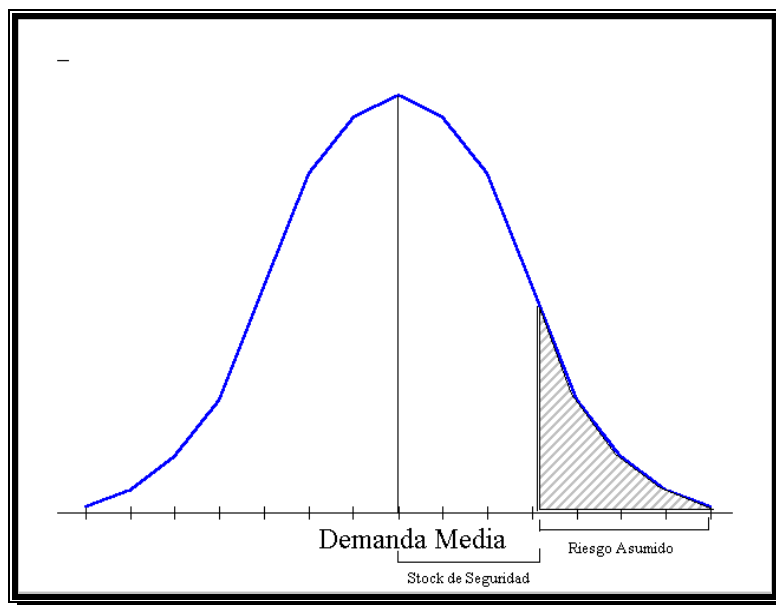


Figura V.11

En este punto, debe indicarse que cualquier incremento en el nivel de repedido incrementará el porcentaje de nivel de *stock* y como consecuencia de ello se incrementarán los costes de almacenamiento. La inclusión de la incertidumbre provocará que el modelo de gestión de *stocks* sea más realista en muchas circunstancias, sin embargo, al incluirse más factores, su resolución resulta más compleja.

V.6.2.6. CANTIDAD A PEDIR PARA PERÍODOS

La cantidad económica de pedidos intenta minimizar el total de los costes de pedido y de mantenimiento, y está basada en los supuestos de demanda uniforme. A menudo no es así y por ello, si en la planificación de los requerimientos de material se utiliza el modelo de la Cantidad Económica de Pedido puede que no se obtenga el mínimo coste, [Anderson *et al.*, 1991].

El método de la cantidad a pedir para un período está basado en la misma teoría que la Cantidad Óptima de Pedido, utilizando la fórmula de la misma para determinar un tiempo económico entre las órdenes de pedido. Este tiempo se calcula dividiendo la Cantidad Óptima de pedido entre el porcentaje de demanda y se obtiene el intervalo en el que se colocan las órdenes. Así, en caso de ordenar la misma cantidad (Cantidad Óptima de Pedido), las órdenes se reciben para satisfacer los requerimientos de un intervalo de tiempo. El número de órdenes recibidas en un período es igual que para el modelo de la Cantidad Óptima de Pedido, pero el volumen varía en cada caso. Debido a ello, el coste de los pedidos es el mismo pero, al determinarse las cantidades pedidas de acuerdo con la demanda actual, se reduce el coste de mantenimiento.

$$\text{Período de la Cantidad a Pedir} = \frac{\text{Cantidad Óptima de Pedido}}{\text{Porcentaje de Inversión por Unidad de Tiempo}}$$

V.7. ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO DE MATERIALES EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

El planteamiento tradicional basado en las hipótesis del modelo de la Cantidad Óptima de Pedido es muy restrictivo y no se ajusta a lo que en la realidad del mundo empresarial acontece. Por ello, las críticas que se pueden realizar al mismo se corresponden a algunas de las suposiciones que con el mismo se tienen:

La demanda no siempre es conocida, es decir, se puede disponer de información imprecisa acerca del comportamiento de la misma. Por ello, se lograría una mejor representación de la demanda gracias a la utilización de números borrosos [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986].

Los costes de pedido y de mantenimiento de los artículos en el almacén no siempre son conocidos y constantes en el tiempo. Al igual que ocurre con la demanda, se está estimando su comportamiento futuro. Por ello, se sugiere que puede ser más interesante representarlos como números borrosos que como estimaciones precisas.

Además, su comportamiento no tiene porqué ser lineal, pudiéndose dar alguna de las situaciones contempladas en el Capítulo 4, apartado IV.4.1. Por tanto, la función de costes deja de ser derivable, condición imprescindible para aplicar el modelo tradicional.

Pueden surgir costes diferentes a mayores de los de lanzamiento o almacenamiento. En situaciones reales, las empresas incurren en muchos más costes, tales como ruptura del *stock*, depreciación de los materiales, etc. que complican el análisis mediante el modelo tradicional.

Sobre la base de las anteriores críticas, se pretende formular un planteamiento del problema del cálculo de la cantidad económica más amplio, aunque no sea un modelo global que abarque cualquier situación de la realidad empresarial.

V.7.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como anteriormente se argumentó, la demanda no tiene por qué ser conocida de manera estricta. Por ello, puede ser interesante representarla como un número borroso trapecoidal, \tilde{D} . De este modo, se consigue englobar no sólo aquellas situaciones en que se conoce con certeza su comportamiento, sino también otras, en las que se puede estimar ciertos valores dentro de los cuales se encontrará.

Los costes que incurre la empresa por el mantenimiento de materiales inventariados para satisfacer al proceso productivo son:

Costes de los artículos o importe neto de compra. Su comportamiento no tiene por qué ser lineal, es decir, lo más lógico es que la empresa suministradora conceda descuentos por volumen. Además, para poder englobar todas las situaciones posibles, sería aconsejable representarlos como números borrosos, sugiriéndose los números borrosos trapezoidales.

Así, si entre el pedido máximo y mínimo el proveedor establece n precios de venta de sus artículos según el volumen de pedido, la representación de los mismos podría ser:

$$c\tilde{a} = \{c\tilde{a}_1, c\tilde{a}_2, \mathbf{K}, c\tilde{a}_n\}$$

y los respectivos tramos de tamaño del pedido que los delimitan:

$$v = \{v_1, v_2, \mathbf{K}, v_n\}$$

Costes de posesión o mantenimiento en almacén. Estos costes pueden tener un comportamiento no lineal, por ejemplo, el personal encargado del almacén; sugiriéndose su aproximación mediante alguno de los tipos comentados en el Capítulo 4. Por ello, lo más adecuado sería identificar su forma y sus valores característicos que, en todo caso, al tratarse de estimaciones pueden ser mejor representados mediante números borrosos trapezoidales.

$$c\tilde{p} = \{c\tilde{p}_1, c\tilde{p}_2, \mathbf{K}, c\tilde{p}_k\}$$

Costes de lanzamiento o emisión de una orden de pedido. Por su parte, estos costes de realizar un pedido tampoco tienen por qué tener un comportamiento lineal, por ejemplo, los transportes; sugiriéndose al igual que en el caso anterior ajustarlos a alguno de los patrones del capítulo anterior y determinando, mediante números borrosos trapezoidales, sus valores.

$$c\tilde{l} = \{c\tilde{l}_1, c\tilde{l}_2, \mathbf{K}, c\tilde{l}_k\}$$

Costes de depreciación. Estos costes, no contemplados en el modelo tradicional, surgen, fundamentalmente, en artículos perecederos o expuestos a modas. Su conocimiento no suele ser preciso, por lo que manejarlos por medio de números borrosos trapezoidales, puede permitir una mejor representación. Además, se ha de aproximar su evolución en función de la cantidad almacenada a alguno de los patrones del Capítulo 4.

$$c\tilde{d} = \{c\tilde{d}_1, c\tilde{d}_2, \mathbf{K}, c\tilde{d}_k\}$$

Con este planteamiento, se pretende dar una visión más global del problema y, de este modo, abarcar situaciones cotidianas de las empresas. Sin embargo, se sigue manteniendo una hipótesis del modelo tradicional: la distribución uniforme de la demanda en el período de estudio, aunque tenga un valor impreciso.

Por otro lado, el enfoque que se sugiere no permite su resolución de una manera sencilla, pues la función de costes totales resulta muy compleja. Así, con el fin de encontrar una cantidad a pedir que minimice los costes incurridos se sugiere emplear una herramienta que no presente restricciones, los Algoritmos Genéticos. Con ella, aunque la solución alcanzada puede no ser la óptima, sí que estará muy próxima a la misma.

V.7.2. UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD ECONÓMICA DE PEDIDO EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

Una vez consideradas algunas de las posibles situaciones que acontecen, generalmente, en el momento de establecer un presupuesto de materiales y, en concreto, cuando se determina la Cantidad Económica de Pedido, se ha de buscar algún método matemático que permita resolver el problema planteado.

En este sentido, los modelos de optimización lineal dejan de ser viables debido al comportamiento de los costes implicados. Por ello, en este capítulo se plantea utilizar un Algoritmo Genético para resolver el problema de la previsión de las cantidades a pedir en un período de análisis [Lopez-González *et al.*, 1998]. Con él, se eliminan las restricciones de los métodos tradicionales pudiendo no sólo llegar a soluciones satisfactorias para el problema, tal como se plantea en la sección anterior, sino también en situaciones de mayor complejidad, con existencia de otros costes añadidos, múltiples productos, restricciones espaciales, etc.

Así, para el desarrollo del Algoritmo Genético implementado se han seguido las siguientes fases:

V.7.2.1. GENERACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Como en todos los algoritmos de este tipo, el primer paso consiste en generar la población de soluciones potenciales, es decir, dentro de los límites que tiene la empresa para realizar los pedidos. Éstos suelen estar determinados por el tamaño de pedido mínimo que sirve el proveedor, por la capacidad del almacén, etc. [López-González y Rodríguez-Fernández, 1995; López-González *et al.*, 1998b].

Posteriormente, se realiza una traducción a codificación binaria, manteniendo para cada una de estas soluciones en código binario, su correspondiente imagen en decimal. Así, por ejemplo, una solución podría ser:

100 Kgs. 1100100

El motivo de mantener la imagen decimal de cada solución es que con ella se consigue operar de manera más sencilla a la hora de determinar la adecuación de cada una de ellas.

V.7.2.2. CÁLCULO DE LA ADECUACIÓN DE LAS SOLUCIONES

La adecuación de cada cadena se puede obtener calculando el coste total de inventario que representa dicha solución, el cual vendrá determinado sumando los costes de adquisición, posesión, de lanzamiento y depreciación, obteniéndose el Coste Total de Inventario de la solución.

En un primer paso, se ha de determinar a que intervalo en los que sirve el proveedor pertenece la cantidad a pedir representada por la solución. De este modo, el coste de compra se obtendrá multiplicando la demanda borrosa por el coste también borroso de suministro en ese intervalo.

El coste de posesión, por su parte, se obtiene a partir del inventario medio, siendo mayor cuanto mayor sea el tamaño del pedido. Por ello, el *stock* medio se obtendrá como un medio de la cantidad, al suponerse una demanda estable. A partir de él y, en función del tipo de aproximación a la que se ajuste el comportamiento de los costes de posesión, se podrá calcular el importe total de los mismos.

Los costes de lanzamiento aumenta cuantos más pedidos se realizan. Por ello, cuanto menor sea la cantidad solicitada más veces se tendrá que acudir al proveedor. El número de pedidos depende de la demanda y, al ser imprecisa, habrá que realizar una *división borrosa* [Dubois y Prade, 1980] de dicha demanda entre la cantidad a pedir, que establece cada solución, con el fin de obtener el número de pedidos que se realizan. A partir de ella y en función del tipo de aproximación a la que se ajuste el comportamiento de los costes de lanzamiento, se podrá calcular el importe total de los mismos.

Finalmente, los costes de depreciación aumenta con el mayor nivel de inventario medio, es decir, cuanto mayores son los pedidos. Por ello, una vez determinado el *stock* medio, únicamente se tendrá que calcular su importe en función del comportamiento que estos tengan o se pueda aproximar.

Con todo lo anterior, se dispone de todos los componentes del coste total de cada solución, y su suma proporcionará el Coste Total del Inventario que se tendría con las mismas. En el modelo operativo, se aproxima este coste a su forma trapezoidal [Dubois y Prade, 1980; Kaufmann y Gil-Aluja, 1986] con el fin de simplificar los cálculos, aún perdiendo cierta precisión.

Como parece lógico, se está buscando la solución que haga mínimo este coste total. Para ello, se ha optado por calcular la adecuación como la inversa del coste, siendo éste, la distancia borrosa que el valor trapezoidal anteriormente calculado tiene con el origen (*singleton* 0). De acuerdo con el procedimiento anterior, se consigue que las mejores soluciones, menores costes totales, tengan mayor adecuación al problema.

V.7.2.3. PROCESO DE SELECCIÓN

El sistema de selección empleado es un *Ranking con Ruleta de Selección*. Con él, se consigue que aquellas soluciones mejores de cada generación, las de menor coste, tengan más posibilidades de pasar este proceso y de convertirse en los “padres” de la siguiente población.

V.7.2.4. OPERADOR DE CRUCE

Tras el proceso de selección, se aplica sobre las cadenas seleccionadas el operador de cruce. El método elegido para el mismo es el tradicional *Cruce uniforme*, que permite intercambiar cualquier posición de la cadena de solución.

V.7.2.5. OPERADOR DE MUTACIÓN

Posteriormente, a las cadenas resultantes del proceso de cruce se les aplica a cada posición de la cadena el *operador de mutación*. En este caso, el método clásico de mutación en cadenas binarias, es el que se ha utilizado.

V.7.2.6. CONTROL DE FACTIBILIDAD DE LAS SOLUCIONES

Tras la mutación, se comprueba la factibilidad de las soluciones, ya que los operadores de cruce y mutación pueden generar soluciones fuera de los límites del espacio de búsqueda.

En el caso de encontrar alguna solución infactible, se regeneraría para no seguir trabajando con ella.

V.7.2.7. ELITISMO

De acuerdo con los pasos anteriores, se habrá obtenido una nueva población del Algoritmo Genético, repitiéndose el proceso tantas veces como se desee.

Sin embargo, con objeto de evitar posibles pérdidas de cadenas de alta adecuación, se incluye la característica denominada *Elitismo*, cuya función es mantener la mejor solución de una población en las siguientes hasta que otra no la supere en adecuación al problema. A modo de resumen, en la Figura V.12 se muestra un esquema del funcionamiento del Algoritmo Genético.

V.8. EJEMPLO DE EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA

Para contrastar el funcionamiento del Algoritmo Genético, se desarrolló un modelo operativo, introduciéndose diversos ejemplos, entre ellos el que se describe a continuación,

que hace referencia a la fijación del presupuesto de cantidad a pedir para un fábrica de muebles.

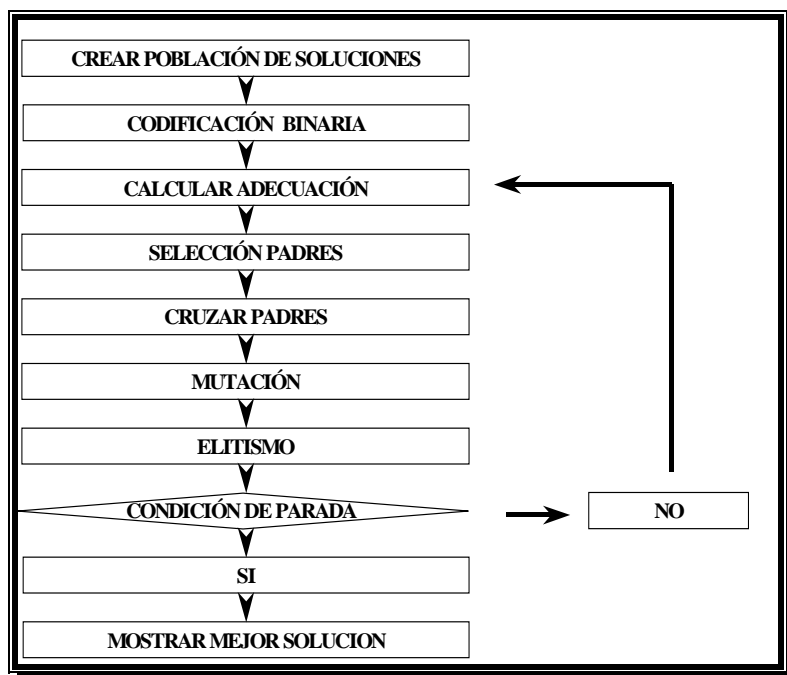


Figura V.12

V.8.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una fábrica de muebles adquiere diversos tipos de maderas para la elaboración de sus productos terminados. Entre las maderas más demandadas, se encuentra la de roble, para la que destina un almacén acondicionado especialmente que puede contener 6.000 Tm. de dicha materia prima. De acuerdo con sus previsiones, la demanda de muebles de madera de roble que van a realizarle los clientes de la fábrica en el próximo ejercicio permite calcular las cantidades que precisará el proceso productivo para satisfacerla. De este modo, se obtiene que dichas necesidades serán como poco de 5.000 Tm., lo más posible es que se encuentren entre 5.250 Tm. y 5.500 Tm. y como mucho serán de 5.700 Tm., (5.000, 5.250, 5.500, 5.700).

El suministro de la madera de roble lo realiza un proveedor que no facilita pedidos menores de 500 Tm., siendo la estimación de la política de precios de venta que dicho proveedor practicará según los volúmenes de pedido, la siguiente:

Tamaño del pedido	Precio de compra
500-1.000 Tm.	25 pts/Tm.
1.001-2.000 Tm.	24 pts/Tm.
2.001-3.000 Tm.	23 pts/Tm.
3.001-4.000 Tm.	22 pts/Tm.
4.001-5.000 Tm.	21 pts/Tm.
5.001-6.000 Tm.	20 pts/Tm.

Por otro lado, el coste de realizar un pedido se comporta de manera proporcional, Figura V.13, De este modo, cada vez que se realiza un pedido se incurre en un coste estimado de transporte de (7.500, 7.600, 7.650, 7.750).

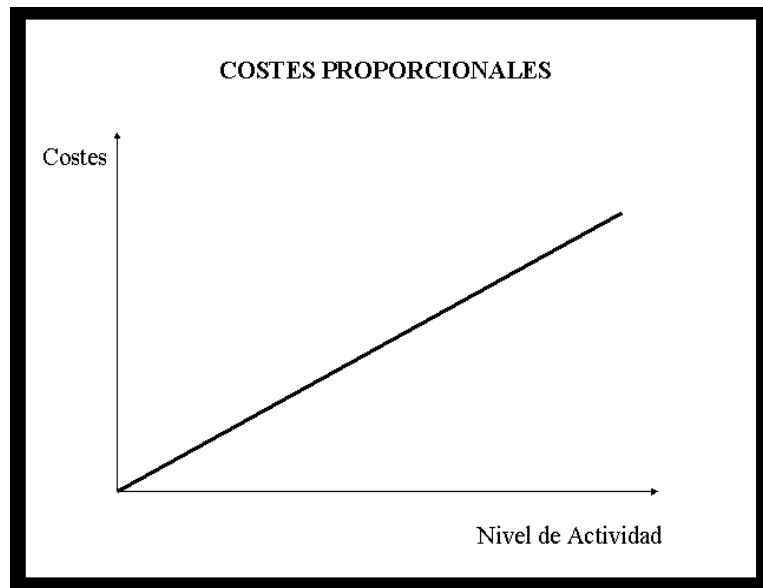


Figura V.12

El coste de posesión, sin embargo, se comporta de manera semifija, Figura V.13, ya que se trata de los empleados encargados del manejo de las mercancías en el almacén, siendo los parámetros que lo determinan:

Parámetro	Valor
Coste de un empleado (csk_1):	(50.000, 51.000, 51.000, 52.500)
Coste de dos empleados (csk_2):	(98.000, 100.000, 100.000, 105.000)
Coste de tres empleados (csk_3):	(145.000, 148.000, 150.000, 155.000)
Capacidad de un empleado (A):	2.500
Capacidad de dos empleados (B):	5.000

Finalmente, la depreciación que experimenta una tonelada de producto almacenado cada día se estima en (1,05; 1,1; 1,15; 1,17) unidades monetarias.

De acuerdo con la anterior información, el empresario desea conocer cual será la cantidad que debe pedir al proveedor para que sus costes sean los mínimos durante el próximo período.

V.8.2. RESOLUCIÓN UTILIZANDO EL ALGORITMO GENÉTICO DESARROLLADO

Al problema descrito anteriormente, se aplicó el algoritmo Genético desarrollado en la búsqueda de la mejor cantidad de pedido. Como un primer acercamiento, se muestra como

operaría en el cálculo de la adecuación, posteriormente, se detallan los parámetros utilizados y los resultados obtenidos.

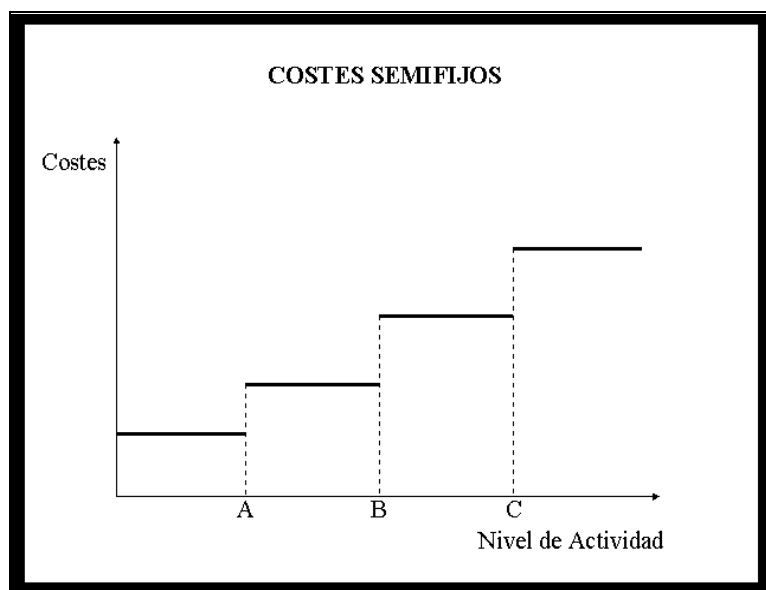


Figura V.13

V.8.2.1. CÁLCULO DE LA ADECUACIÓN

Una solución generada de manera aleatoria mediante el modelo podría ser pedir 1.200 Tm. cada vez que se termine el inventario almacenado. La codificación en términos binarios sería:

$$1200 \text{ Tm.} \qquad 1001011000$$

El coste de adquisición de la demanda realizando pedidos de este tamaño sería:

$$C\tilde{a} = (24 \cdot 5000, 24 \cdot 5250, 24 \cdot 5500, 24 \cdot 5700) = (120000, 126000, 132000, 136800)$$

Por su parte, para el mantenimiento de las mercancías en el almacén sólo haría falta un operario, pues el *stock* medio almacenado es de 600 Tm., con lo cual, el coste de posesión será:

$$C\tilde{p} = (50000, 51000, 51000, 52000)$$

El coste de lanzamiento es proporcional al número de pedidos que se realizan para satisfacer la demanda, por ello, en este caso será:

$$C\tilde{l} = \left(7500 \cdot \frac{5000}{1200}, 7600 \cdot \frac{5250}{1200}, 7650 \cdot \frac{5500}{1200}, 7700 \cdot \frac{5700}{1200} \right) = (31250, 33250, 35662, 36812)$$

Finalmente, el coste de depreciación para un *stock* medio de 600 Tm., será:

$$C\tilde{d} = (600^{1.05}, 600^{1.1}, 600^{1.15}, 600^{1.17}) = (826, 1157, 1560, 1780)$$

Con la adición de todos los costes anteriores, se tendrá el coste total del inventario si se realizan pedidos de 1200 Tm. cada vez, siendo el inverso de la distancia del mismo respecto al origen, la adecuación de la solución al problema.

$$Coste\ Total = (202076, 211407, 220222, 227392)$$

V.8.2.2. EJECUCIÓN DEL MODELO

A los efectos de la aplicación del modelo operativo, los parámetros utilizados para obtener la solución a través del modelo propuesto fueron:

- Número de generaciones: 25
- Número de individuos: 25
- Probabilidad de cruce: 50 %
- Probabilidad de mutación inicial: 10 %
- Probabilidad de mutación final: 40 %

En el caso práctico analizado, la solución final obtenida fue la siguiente:

$$Solución: 2499\ Tm.\ Coste: (183891, 191025, 197212, 203305),$$

siendo la representación gráfica del mejor individuo en cada generación, la que se muestra en la Figura V.14.

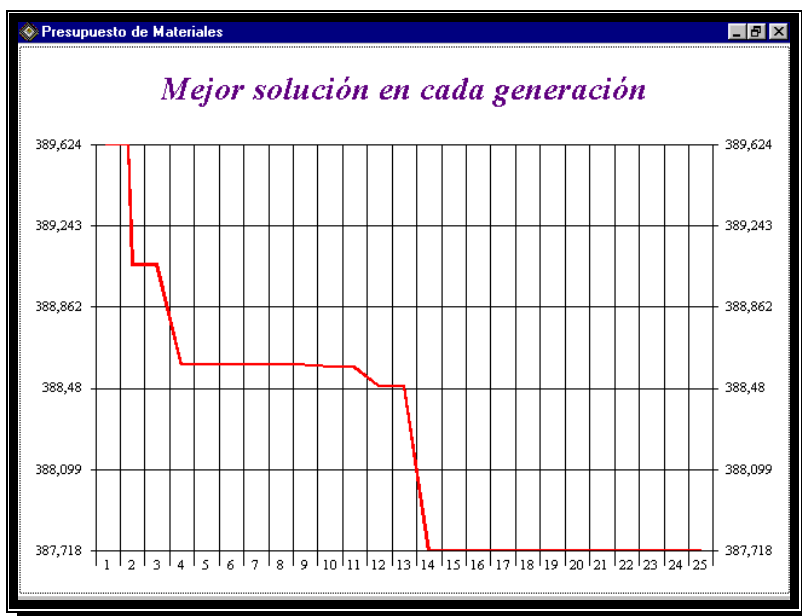


Figura V.14

CAPÍTULO VI. PRESUPUESTO DE PERSONAL

VI.1. INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva de nuestra investigación, cabe considerar que el término “personal” hace referencia a aquellos recursos que las personas poseen y están en disposición de utilizar como participantes en las empresas, siendo el objetivo de la previsión de necesidades de los mismos, movilizar esos recursos en el sentido correcto, facilitando, al mismo tiempo, los medios necesarios para que dichos recursos sean adecuados [González-Crespo, 1993].

Así, a la hora de presupuestar la necesidad de fuerza de trabajo directa e indirecta, se puede obtener una indicación de las necesidades de la misma para el período en estudio, mediante el presupuesto integrado de la empresa. Éste suministra información relativa a las demandas, pero para cubrir esas necesidades se precisa de toma de decisiones. Dentro de este ámbito, se han de establecer las personas que deben cubrir los puestos de trabajo con el fin de cumplir con los objetivos de la empresa, precisándose que se optimicen los recursos y el potencial humano de la misma [Vatter, 1969].

En este sentido, las decisiones referentes al establecimiento de un presupuesto del factor humano constituyen un medio fundamental y primario de la dirección de una empresa, revelando la competencia y calidad de la misma. Pero estas decisiones se caracterizan por un alto grado de complejidad, debido a que, en mayor medida que en cualquier otro ámbito de las empresas, la información referente a previsiones relacionadas con personas están sujetas a mayores niveles de incertidumbre.

De acuerdo con lo anterior, una de las decisiones más relevantes que en la presupuestación del personal se ha de tomar y, por ende, una de las más complejas, se refiere a la contratación y previsión de las necesidades de personal, puesto que por su carácter estratégico el acierto en ella determinará en multitud de ocasiones la propia supervivencia de la empresa. Lo anterior resulta aplicable a la previsión de cualquier puesto de trabajo, pero cobra mayor relevancia en aquellos en cuya actividad tenga una especial trascendencia, debido a que las reper-

cusiones que conlleva la previsión de personal de forma adecuada, redundarán, en mayor grado, tanto objetiva como subjetivamente, en el desarrollo futuro de la empresa.

Así, a la hora de establecer el presupuesto las actividades de una empresa uno de los componentes básicos que se debe concretar es el nivel necesario de factor trabajo que permita alcanzar los objetivos establecidos a un coste razonable. A este respecto, surge la necesidad de elegir las personas que van a ser capaces de alcanzar esas metas. Este tipo de situaciones recibe el nombre de *Selección de Personal*, distinguiéndose dos casos: cuando la empresa ya posee el personal que ha de llevar a cabo los objetivos del programa o cuando la empresa tiene que acudir al exterior para seleccionar las personas precisas para el cumplimiento de sus objetivos.

VI.2. ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE PERSONAL: SELECCIÓN DEL PERSONAL

En un proceso de selección del personal encargado de la realización de las actividades necesarias para el cumplimiento de un presupuesto empresarial, se pretende encontrar la persona que cubra el puesto de una manera adecuada a un coste adecuado, permitiendo la realización del individuo, así como el desarrollo de sus habilidades.

Si todos los individuos fueran iguales y tuvieran las mismas condiciones, el proceso de selección carecería de sentido. Sin embargo, existe una enorme gama de diferencias individuales que propician que las personas se comporten de forma diferente y, por tanto, consigan niveles de desempeño distintos.

Por tanto, los individuos se distinguen tanto en la capacidad por aprender una tarea, como en el nivel de desempeño una vez aprendida ésta. Surge aquí el problema de la estimación *a priori* de ambas variables, siendo una de las mayores dificultades en una toma de decisiones correcta respecto al personal seleccionado. Así, si por un lado se tienen las especificaciones de los puestos que se pretenden cubrir y, por otro, varios candidatos profundamente diferentes entre sí, la labor de selección se convierte en un proceso complejo sujeto a altas dosis de subjetividad y de una elevada trascendencia en la empresa [Claver *et al.*, 1996].

En este sentido, resulta evidente que la elección de un candidato que no reúna las características necesarias para el puesto de trabajo no constituye un error irreparable, dado que se puede separar al individuo del mismo. Sin embargo, esta ineficiencia en la selección bien pudiera haber producido tanto daños morales al candidato, como tres costes no deseados para la empresa: en primer término, el derivado de la propia selección del personal; en segundo término, el producido por las ineficiencias habidas durante el período que ha estado trabajando sin los resultados apetecidos; y, por último, los costes propios derivados del despido o traslado [Gil-Aluja, 1996].

Por ello, se pretende que el proceso de selección sea lo suficientemente completo y acertado, como para que consiga disminuir, en la medida de lo posible, estos tres tipos de costes sin dejar de atender los objetivos empresariales.

Desde un punto de vista de gestión, el problema de la selección se corresponde con la optimización de una relación: la eficiencia del factor trabajo y los costes derivados de su utilización, entendiéndose a efectos de esta Memoria, que la selección de personal consistirá en elegir a una persona para un puesto de trabajo con un determinado perfil, susceptible de ser definido a través de unas medidas o valuaciones que permitan ser comparadas con las cualidades del candidato.

VI.2.1. FASES DEL PROCESO DE SELECCIÓN

Por su propia naturaleza, los esquemas utilizados para la selección de personal se hayan sujetos a ciertas dosis de subjetividad y se presentan habitualmente como una sucesión de etapas en las que se van eliminando sucesivamente los candidatos que se consideren menos adecuados, al mismo tiempo que se intenta captar las cualidades que poseen para la realización de las tareas que definen el puesto de trabajo.

Las fases a llevar a cabo en el proceso de selección se pueden resumir, a modo indicativo, en las tres siguientes [Gil-Aluja, 1998]:

- 1. Establecimiento del perfil del puesto de trabajo.*
- 2. Evaluación del candidato.*
- 3. Adaptación del candidato al perfil.*

VI.2.1.1. ESTABLECIMIENTO DEL PERFIL DEL PUESTO DE TRABAJO

Para tal fin, se han de reconocer y analizar las tareas que el puesto de trabajo tiene encomendadas, estableciendo las posibilidades objetivas para su realización. Dicho perfil comprende, también, la enumeración de las cualidades que el candidato debe poseer para la correcta realización de las actividades que el puesto de trabajo comporta, así como el grado de importancia que dicha competencia tiene.

En la práctica, es común establecer una lista de la totalidad de las competencias necesarias, entendiéndose por competencia una característica esencial de un individuo que genera un desempeño eficaz o superior en el trabajo. En esta definición se englobarían habilidades, rasgos personales, motivaciones y otros aspectos como la autoimagen, el rol social desempeñado, el conocimiento que el individuo posea, etc. De esta forma, es posible estudiar las operaciones que comporta el puesto de trabajo correspondiente, así como las condiciones en las cuales deben ser realizadas las tareas.

Tradicionalmente, se han utilizado valuaciones ciertas para determinar las competencias que se precisan para un puesto de trabajo.

Sin embargo, resulta obvio que en la mayoría de ellas el grado de cumplimiento no ha de ser rígido y, por ello, la modelización mediante variables lingüísticas encuentra aquí una interesante aplicación.

Además, en el establecimiento del puesto resulta necesario incluir las relaciones con los demás, debido a que las organizaciones no se componen de personas desarrollando su actividad aisladamente, sino que se interrelacionan entre sí, por lo que conseguir un “buen equipo” puede resultar más importante que “buenas individualidades”.

Así, cuando se desea cubrir un puesto se ha de analizar la existencia de relaciones interpersonales, necesarias para el buen desarrollo del puesto de trabajo, pudiéndose diferenciar las siguientes situaciones en el proceso de selección:

Puestos de trabajo independientes. Situaciones en las que el puesto o los puestos de trabajo que se desean cubrir son independientes de los demás, no siendo necesaria la cooperación entre individuos para el desarrollo del trabajo, tal como se muestra en la Figura VI.1.

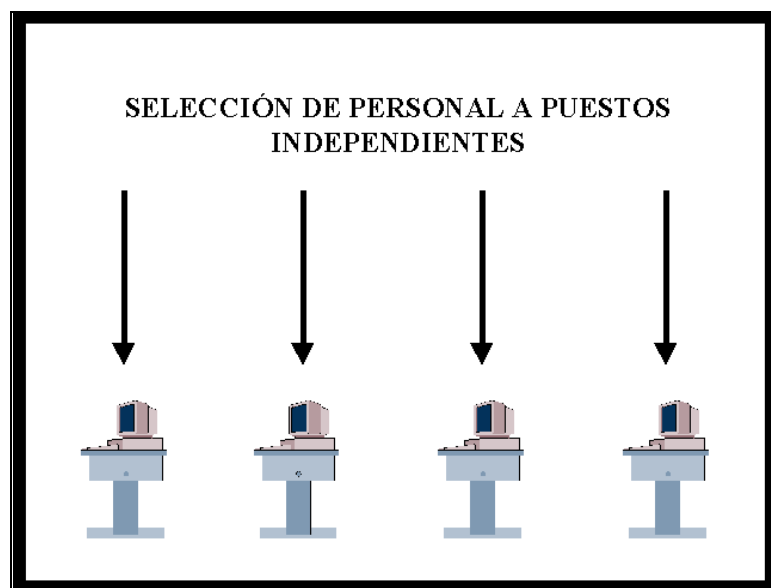


Figura VI.1

Puestos de trabajo relacionados. Se trata de situaciones en las que para el buen desarrollo del trabajo común, se necesita que los trabajadores cooperen entre sí, tal como se muestra en la Figura VI.2. Por tanto, se han de definir las relaciones entre los puestos de trabajo, con el fin de seleccionar aquellos candidatos que sean compatibles.

Puestos de trabajo relacionados y diferentes. Son procesos de selección de varios puestos, pero con características diferentes, tal como se muestra en la Figura VI.3.

Por ello, se debe ponderar de alguna manera aquellos que, para la dirección de la empresa, resultan de mayor trascendencia, pues, serán éstos los que de una manera más eficiente se deberán cubrir con las personas idóneas.

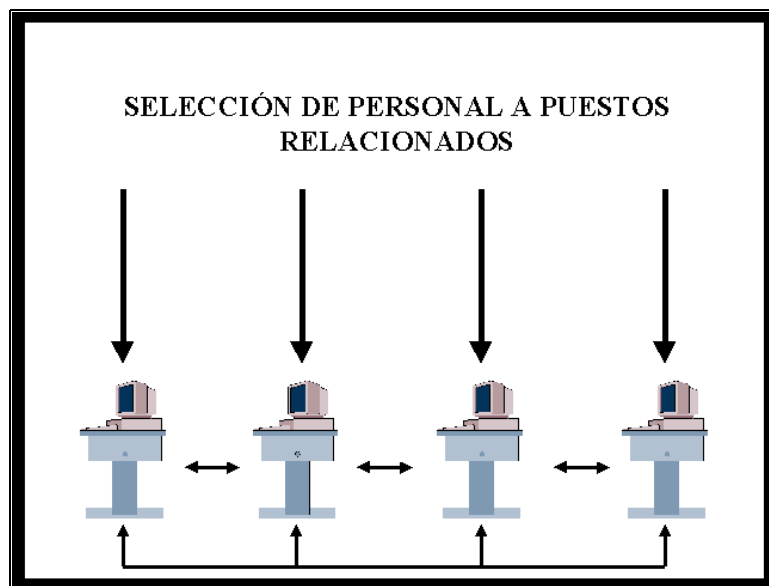


Figura VI.2

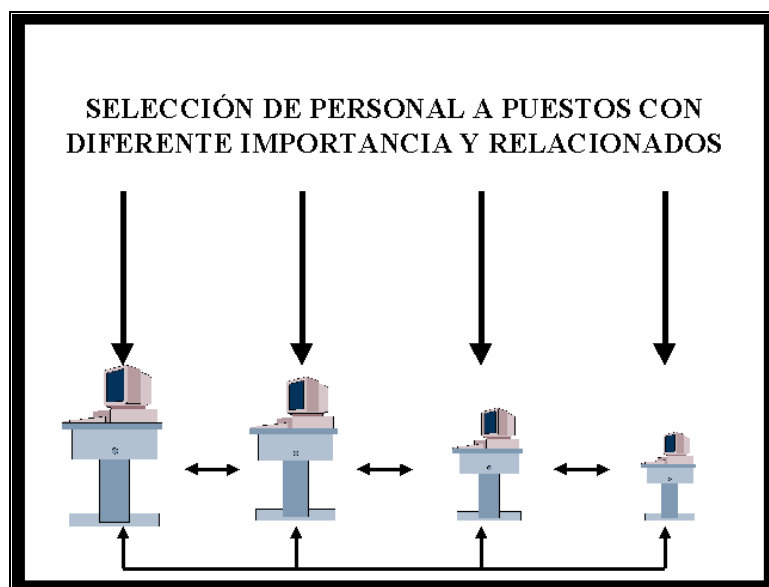


Figura VI.3

Puestos de trabajo con diferente importancia y relacionados en diferentes grados. Se trata del problema de selección más complejo debido a que, no solo habrá que tener en cuenta las cualidades de los puestos, sino también sus relaciones, la importancia de cada uno y el grado en el que esas relaciones se tienen que llevar para el buen desenvolvimiento del trabajo común, tal como se muestra en la Figura VI.4.

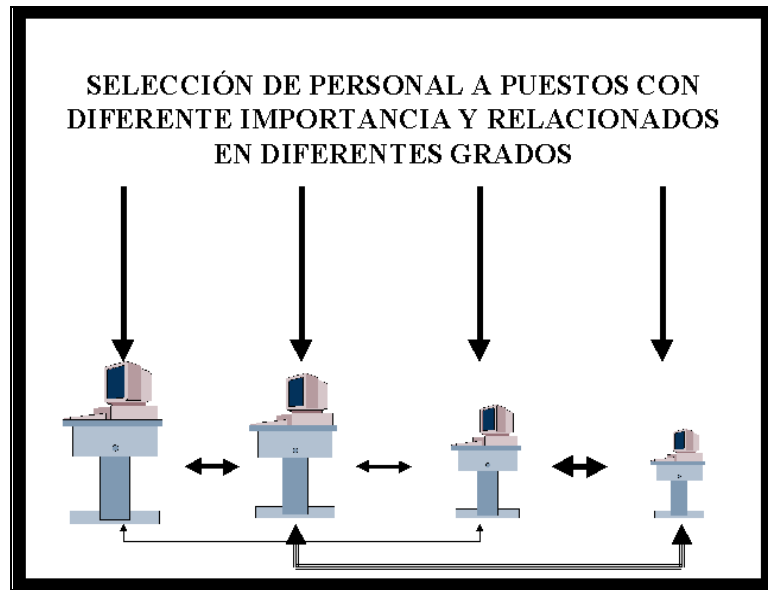


Figura VI.4

VI.2.1.2. EVALUACIÓN DEL CANDIDATO

Esta fase del proceso de selección suele descomponerse en varios pasos, considerándose normalmente los siguientes [Byars y Rue, 1983]:

Estudio del currículum vitae o carta de solicitud de empleo. En esta fase se pretende determinar si el candidato cumple los requisitos para ser entrevistado.

Entrevista preliminar. Con ella, se pretende eliminar a candidatos que habiendo pasado la primera prueba, no sirvan para el puesto.

Pruebas de idoneidad. Se las puede definir como los procedimientos eficientes y estandarizados que permiten evaluar a grandes cantidades de aspirantes. El fin último es obtener una valoración de la compatibilidad de los candidatos con el perfil del puesto de trabajo.

Las pruebas de idoneidad deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Validez. Se precisa que el requerimiento de la prueba guarde relación con el puesto.
2. Fiabilidad. Las medidas efectuadas por la prueba han de tener un grado de constancia en el tiempo.
3. Capacidad de discriminar. Se ha de discernir mediante las pruebas entre aquellos candidatos más idóneos y los demás.
4. Tipificación. La comparación de los resultados ha de realizarse con niveles normales de comportamiento o desempeño.

5. Libertad de prejuicio. Todos los candidatos han de tener las mismas posibilidades.

6. Disponibilidad. La prueba ha de ser aceptable en el sentido de conveniencia y economicidad.

Entre los tipos de pruebas, se dispone de un amplio repertorio de posibilidades para elegir las más adecuadas (formularios, pruebas de capacidad, entrevistas, exámenes, tests psicotécnicos, test de personalidad, muestras de trabajo, etc.) [Strauss y Sayles, 1981; De Ansoarena, 1996; Claver et al., 1996] que, de alguna manera, intentan determinar los niveles de aptitud de una persona con relación a ciertas cualidades que se estiman precisas para desarrollar correctamente las tareas de un puesto de trabajo.

Por otro lado, también resulta conveniente tener en cuenta, además de las necesidades del puesto de trabajo, las condiciones de su entorno, especialmente las que se refieren al equipo humano en el que se debe incorporar.

En esta fase tiene plena vigencia el análisis de las posibles interrelaciones que puedan surgir entre los individuos, ya que, cuando se encuentra con tareas o puestos de trabajo en las cuales existe un contacto entre personas o que son realizadas por equipos, se debe conseguir que los trabajadores involucrados sean cooperantes, es decir, que sean compatibles en la realización del trabajo común.

Comprobación de antecedentes. Se pretende verificar las afirmaciones de los candidatos con otras fuentes, con el fin de conocer hechos completos y exactos.

Entrevista final. Constituye otro instrumento disponible para determinar la idoneidad de un candidato, en la que se pretende determinar si el candidato está capacitado y a que nivel.

Examen médico. Representa un trámite mediante el cual se pretende descartar a aquellos candidatos con taras o disminuciones físicas que los incapaciten para el puesto.

Con esta serie de fases se ha de suministrar la información necesaria que permita la toma de decisiones más acertada en relación con la presupuestación del personal. Así, en aras de conseguir este objetivo se han de valorar los niveles de los candidatos, considerados como aptos, en el desempeño de los puestos, siendo en muchos casos necesario para mantener una imagen realista de la información, utilizar valoraciones lingüísticas de la misma.

Además, pretendiendo alcanzar una representación más próxima al problema, se ratifica el interés por completar el proceso de selección, incluyendo las posibles relaciones que un puesto de trabajo pueda tener con otros y, por ello, el grado de compatibilidad existente entre los individuos. Estas valoraciones se realizan de manera subjetiva en muchos casos, con lo

cual, la utilización de etiquetas lingüísticas permitirá un acercamiento mayor a la realidad del proceso de toma de decisiones estudiado.

VI.2.1.3. ADAPTACIÓN DEL CANDIDATO AL PERFIL

Una vez conocidos los niveles en que cada candidato posee una determinada cualidad, se procede a su comparación con las cualidades del perfil del puesto de trabajo establecido, lo que debe permitir conocer el grado de adaptación de cada candidato y obtener, en definitiva, un orden de preferencia entre ellos. Todo ello sin olvidar la compatibilidad de las personas, objetivo paralelo a la buena adaptación de los candidatos a los puestos. Con ello se conseguirá además una mejor integración del individuo en la empresa, ya que se logrará colmar no sólo el reconocimiento a sus cualidades, sino su necesidad de pertenencia a un grupo.

En este sentido, la comparación de las dos variables que se contraponen, requisitos del puesto y nivel de los candidatos, puede dar lugar a varias situaciones en las que los requisitos sean mayores, iguales o menores que los niveles para los que se requiere la toma de decisiones por parte del gestor del personal.

En el primer caso, la decisión es clara, hay que rechazar al candidato, ya que no cumple las condiciones indispensables. En el segundo supuesto, se estaría ante el candidato ideal. En el último caso, a corto plazo no parece que tenga efectos negativos el elegir un individuo más capacitado que lo estrictamente necesario para un puesto. Sin embargo, estas situaciones pueden generar sentimientos de frustración y desmotivación en el individuo, con lo que las posibilidades de que abandone el puesto de trabajo son, a medio plazo, elevadas.

Para realizar en la práctica la asignación del candidato al puesto de trabajo se ha de utilizar un mecanismo que permita tener en cuenta todas las situaciones contempladas en el planteamiento del problema anteriormente descrito, es decir, que sean capaces de obtener soluciones en cuestiones operacionalmente complejas como el que aquí se plantea.

VI.3. SELECCIÓN DEL PERSONAL PARA PUESTOS DE TRABAJO DIFERENTES Y RELACIONADOS

Como anteriormente se dijo, la gestión de personal representa una de las actuaciones fundamentales en el ámbito de la dirección empresarial. Esta acción se ha de llevar a cabo de la manera más eficaz posible, ya que constituye no sólo un objetivo interno de la unidad económica, sino que puede dar lugar a una diferenciación con respecto al resto de las que actúan en su mismo entorno y, por tanto, un punto de fortaleza en el sentido del análisis de su situación competitiva.

La colocación de cada empleado en su lugar correspondiente, en el que desea y en el que resulte más útil, no parece, pues, una tarea sencilla. La afectación de tareas exige, como anteriormente se ha puesto de manifiesto, un claro conocimiento de las cualidades personales y de las características de las actividades. Además, la rápida evolución de las técnicas obliga a una continua mejora en la adecuación a los puestos de trabajo que debe permitir, tanto proporcionar la consecución de los objetivos perseguidos por la dirección de la empresa, como los de los propios trabajadores en congruencia con aquéllos.

Por otro lado, como elemento adicional aparece en la práctica cotidiana de las empresas la relación entre puestos de trabajo y, debido a esto, se ha de contemplar la complementariedad o no de los individuos, cuya actividad tenga un grado de cercanía o conexión. Con ello, el planteamiento del estudio se completa, lo que permitirá aproximar este enfoque, con lo que en la realidad empresarial se encuentra en mayor grado.

VI.3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con mucha frecuencia se plantea, en las empresas o instituciones, el problema de presupuestar los puestos de trabajo o tareas a través del personal existente en la propia entidad o de personas que se puedan incorporar a través de un proceso de selección.

En nuestro caso, el modelo que se propone consta de las siguientes tres fases:

Fase 1. Determinación de los puestos y los requisitos de cada uno.

El primer paso consiste en establecer cuales son los puestos que se necesitan cubrir.

$$X' = \{X'_1, X'_2, K, X'_{m1}\}$$

Asociadas con cada puesto se deben establecer las cualidades requeridas, denotando el conjunto de todas las cualidades posibles como:

$$Sk = \{Sk_1, Sk_2, K, Sk_{m2}\}$$

junto con la importancia que cada cualidad tiene para los distintos puestos.

$$IC = \left\{ \begin{array}{cc} IC_{11}, K, IC_{1m2} \\ M & M \\ IC_{m11}, K, IC_{m1m2} \end{array} \right\}, IC_{ij} \in W$$

Para la definición de esta importancia se propone utilizar un conjunto de etiquetas como el que se propone a continuación:

$$W = \{Esencial, Muy alta, Bastante alta, Alta, Media,$$

Baja, Bastante baja, Muy baja, Innecesaria}

Normalmente, en situaciones cuantitativas, la información requerida se expresa en valores numéricos. Sin embargo, cuando se trabaja en áreas cualitativas tales como la gestión del personal, que se caracterizan por un conocimiento vago o impreciso, la información, no puede establecerse de una manera numérica precisa. Por ello, puede resultar un acercamiento más realista al problema, la utilización de información lingüística en vez de números, permitiendo que los valores de las variables involucradas puedan tomar este tipo de valuaciones [Zadeh, 1975].

Este punto de vista puede aplicarse a una amplia cantidad de problemas, recogida de información [Bordogna y Passi, 1993], diagnósticos médicos [Degani y Bortolan, 1988], educación [Law, 1996], toma de decisiones [Tong y Bonissone, 1980; Yager, 1992a; Delgado *et al.*, 1983b; Herrera *et al.*, 1995].

Como ya se indicó anteriormente, una variable lingüística difiere de una numérica en que sus valores no son números, sino palabras o sentencias del lenguaje natural. Debido a que las palabras, en general, son menos precisas que los números, el concepto de variable lingüística sirve al propósito de proporcionar una medida aproximada de la caracterización de fenómenos, o bien demasiado complejos, o bien mal definidos para poder ser representados en términos cuantitativos.

Generalmente, dependiendo del dominio del problema, un conjunto apropiado de términos lingüísticos se elige y se utiliza para describir el conocimiento vago o impreciso. Como se apuntó en el segundo capítulo, el número de elementos del conjunto de etiquetas o términos lingüísticos, determina la granularidad de la incertidumbre, que representa el nivel de distinción entre las diferentes caracterizaciones del fenómeno.

P.P. Bonissone y K.S. Decker estudiaron la utilización de conjuntos de etiquetas con varias representaciones cardinales, manteniendo una etiqueta central a nivel “aproximadamente 0,5”, colocando el resto de términos simétricamente alrededor de éste y estableciendo el límite de la granularidad en once y, como máximo, trece etiquetas [Bonissone y Decker, 1986]. De acuerdo con su trabajo, la semántica de los elementos del conjunto de etiquetas se establece por medio de números borrosos definidos en el intervalo $[0,1]$ mediante sus respectivas funciones de pertenencia. Debido a que las valuaciones lingüísticas son aproximaciones suministradas por individuos, se puede considerar que una función de pertenencia trapezoidal es suficientemente buena como para capturar la imprecisión de esas estimaciones lingüísticas, resultando en muchas ocasiones imposible o innecesario obtener valuaciones más correctas. Esta representación se lleva a cabo por medio de cuádruplas $(a_i, b_i, \alpha_i, \beta_i)$, en las que los dos primeros parámetros indican el intervalo en el que la función de pertenencia es uno; y, el tercero y cuarto parámetros, indican el margen a izquierda y derecha respectivamente. Desde un

punto de vista formal, resulta difícil aceptar que todos los individuos puedan estar de acuerdo con la misma función de pertenencia asociada a los términos lingüísticos, por ello, no existe ningún concepto universal de distribución.

En esta Memoria se sostiene la posibilidad de establecer, de manera lingüística, la información relativa a la importancia de las cualidades necesarias para cada puesto, niveles de los individuos en las mismas y cualquier otra variable susceptible de ser evaluada de una manera más realista si se utiliza una representación lingüística. En este sentido, puede resultar obvio que los gestores del personal no conozcan de una manera precisa toda la información relativa a un proceso de selección, pero sí sean capaces de indicarla en términos lingüísticos del lenguaje natural que los mismos utilizan. Así, para estimar las distintas variables del problema que precisan de una representación lingüística, se ha optado por la utilización de un conjunto de nueve etiquetas [Bonissone y Decker, 1986], siendo su representación gráfica la que se muestra en la Figura VI.5.

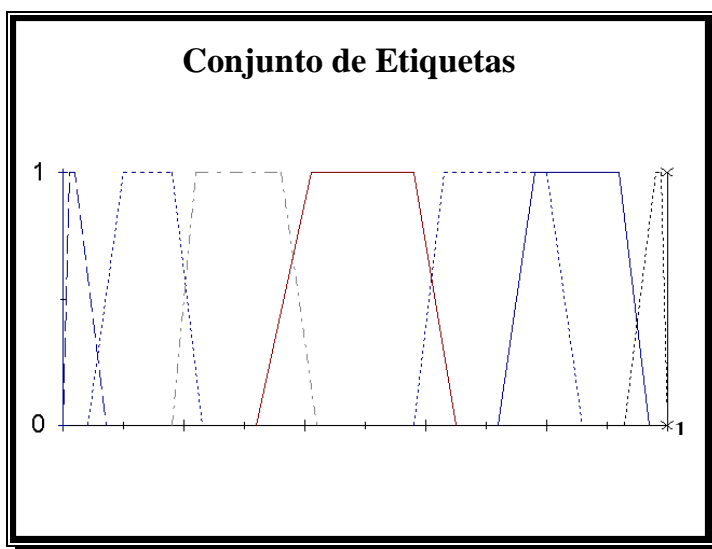


Figura VI.5

y el conjunto de cuatruplas asociadas son:

<i>E</i>	<i>Esencial</i>	$(1; 1; 0; 0)$
<i>MA</i>	<i>Muy alto</i>	$(0,98; 0,99; 0,05; 0,01)$
<i>BA</i>	<i>Bastante alto</i>	$(0,78; 0,92; 0,06; 0,05)$
<i>A</i>	<i>Alto</i>	$(0,63; 0,80; 0,05; 0,06)$
<i>M</i>	<i>Medio</i>	$(0,41; 0,58; 0,09; 0,07)$
<i>B</i>	<i>Bajo</i>	$(0,22; 0,36; 0,05; 0,06)$
<i>BB</i>	<i>Bastante bajo</i>	$(0,1; 0,18; 0,06; 0,05)$
<i>MB</i>	<i>Muy Bajo</i>	$(0,01; 0,02; 0,01; 0,05)$
<i>I</i>	<i>Innecesaria</i>	$(0; 0; 0; 0)$

Además, cuando se selecciona personal para diferentes puestos, se debe considerar que no todos tiene la misma importancia para la empresa, prefiriéndose soluciones que cubran los puestos más importantes con las personas más adecuadas.

Por este motivo, se deben incluir etiquetas lingüísticas asociadas con cada puesto para mostrar el nivel de importancia que dicho puesto tiene en el proceso de selección. Los valores que esta variable toma se consideran, en este trabajo, de la misma manera que para la importancia de las cualidades de los puestos, es decir con nueve etiquetas.

$$IP = \{IP_1, IP_2, \dots, IP_m\}, IP_i \in W$$

Finalmente, debido a que los puestos de trabajo no son independientes unos de otros, se deben analizar las relaciones entre ellos, ponderando la importancia mayor o menor que éstas tienen. En este sentido se utilizarán también nueve etiquetas lingüísticas como las anteriormente definidas.

$$RP = \left\{ \begin{array}{cc} -, RP_{12}, \dots, RP_{1m} \\ M & M \\ RP_{m1}, \dots, RP_{mm-1} - \end{array} \right\}, RP_{ij} \in W$$

Fase 2. Niveles de los candidatos y relaciones.

Una vez que se han definido los puestos, se han de tener en consideración los candidatos, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, siendo la información referente a los mismos de dos tipos:

- los niveles operativos que dichos candidatos presentan en cada una de las cualidades necesarias para los puestos,

$$N = \left\{ \begin{array}{cc} N_{11}, \dots, N_{m2} \\ M & M \\ N_{n1}, \dots, N_{nm2} \end{array} \right\}, N_{ij} \in LL$$

con el siguiente conjunto de etiquetas:

$$LL = \{\text{Óptimo}, \text{Muy alto}, \text{Bastante alto}, \text{Alto}, \text{Medio},$$

$$\text{Bajo}, \text{Bastante bajo}, \text{Muy bajo}, \text{Bajísimo}\}$$

y las relaciones entre los individuos:

$$RC = \left\{ \begin{array}{cc} -, RC_{12}, \dots, RC_{1n} \\ M & M \\ RC_{n1}, \dots, RC_{nm-1}, - \end{array} \right\}, RC_{ij} \in R$$

con el siguiente conjunto de etiquetas asociado:

$R = \{Excelente, Muy\ buena, Bastante\ buena, Buena, Indiferente, Mala, Bastante\ mala, Muy\ mala, Pésima\}$

Fase 3. Preferencia entre los criterios.

Desde esta perspectiva, la selección de personal se convierte en un problema de optimización utilizando información imprecisa y con dos criterios u objetivos:

- que los candidatos seleccionados posean niveles altos en las cualidades más necesarias para los puestos y
- que los candidatos seleccionados sean compatibles con los de los puestos relacionados.

Por ello, se han de tener en consideración estos dos criterios para definir el modelos de decisión, proponiéndose asignar una etiqueta lingüística (del conjunto W), que identifique la importancia que el decisor concede a cada criterio $\{P_c, P_r\}$.

Aunque se han descrito diferentes conjuntos de etiquetas para cada una de las variables implicadas en el proceso de selección, con el fin de operar con ellas y, teniendo en cuenta que todos los conjuntos tienen el mismo número de etiquetas, se propone sólo utilizar el primero de ellos. Los otros conjuntos de etiquetas se sustituirán por éste, por motivos operativos, asumiendo un conjunto general de etiquetas, $L = \{l_0, l_1, K, l_8\}$, y así, por ejemplo, l_3 es equivalente a *Malo (R)*, *Bajo (LL)* y *Bajo (W)*.

VI.4. ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO DE PERSONAL MEDIANTE ARITMÉTICA BORROSA Y ALGORITMOS GENÉTICOS

VI.4.1. VALORACIÓN BORROSA DE LAS SOLUCIONES

Para la valoración de las posibles soluciones al problema, se propone un modelo que utilice la semántica numérica (números borrosos) que esas etiquetas representan, con lo cual, si $S_1 = \{X_1, X_2, K, X_n\}$, es una solución generada aleatoriamente para un problema de n puestos, la valoración de la misma se realizará siguiendo los pasos que a continuación se detallan [Herrera *et al.*, 1998a]:

Paso 1. Nivel de los candidatos de la solución en las competencias necesarias para los puestos.

Paso 1.1. Para cada puesto se tienen m_2 competencias que lo definen con m_2 grados de importancia de cada competencia. Así, para valorar la competencia de cada individuo en

cada puesto, habrá que conjugar la importancia de las competencias del puesto con el nivel del individuo. Para ello, se propone multiplicar, aproximadamente, el número borroso asociado a la *importancia* de cada competencia por el número borroso del *nivel* del individuo en la misma y sumar los valores resultantes [Dubois y Prade, 1980; Kaufmann y Gil-Aluja, 1986].

$$\tilde{g}_i = \sum_{j=1}^{m_2} IC_{ij} \cdot N_{s_i,j} \quad i = 1, K, m_1$$

Paso 1.2. Con el paso anteriormente descrito, es posible obtener una valoración de la competencia de cada individuo en cada puesto. Sin embargo, se pretende dar un valor a la solución en su conjunto, en cuanto a la competencia de los candidatos en los puestos, sin olvidar que dichos puestos tienen distinta *importancia*. Para tal fin, se propone multiplicar los resultados del Paso 1.1 por la *importancia* de cada puesto y sumarlos, aproximándose el valor de la solución en cuanto a adecuación a los puestos como un número borroso trapezoidal.

$$\tilde{z}_{s_i} = \sum_{i=1}^{m_1} IP_i \cdot \tilde{g}_i$$

Paso 2. Relaciones entre los candidatos propuestos por la solución.

Paso 2.1. Además, la bondad de las soluciones vendrá determinada también por las *relaciones* entre los candidatos de la misma. Por un lado, se conocen las conexiones entre puestos y la *importancia* que tiene cada una, y, por otro, las *relaciones* entre candidatos. Se conjuga, entonces, para cada puesto, la *importancia* de las relaciones con otros puestos, con el *grado* de relación que el candidato ubicado en ese puesto tiene con los candidatos de puesto vinculados. Para la realización de este paso, se propone multiplicar, de forma aproximada, los números borrosos asociados a la *importancia* de la relación de un puesto con los demás, por el nivel de relación que el individuo situado en él tiene con el resto de los asignados a puestos relacionados.

$$\tilde{g}'_i = \sum_{j=1}^{m_1} RP_{ij} \cdot RC_{s_i,s_j} \quad i = 1, K, m_1$$

Paso 2.2. Una vez efectuada tal operatoria, se podrá obtener una valoración de la relación de cada candidato con el resto. Para poder dar un valor a la solución en su conjunto, se propone sumar las *relaciones* de todos los candidatos de la misma, ponderándolas por la importancia de cada puesto. Con ese fin, se multiplicará el resultado del paso anterior por el número borroso de la *importancia* del puesto y, posteriormente, se sumarán todos los valores obtenidos para obtener una valoración total de la solución, aproximada como un número borroso trapezoidal.

$$\tilde{t}_{s_i} = \sum_{i=1}^{m_1} IP_i \cdot \tilde{g}'_i$$

Paso 3. Valoración final de la solución. Por último, se plantea sumar el número borroso asociado al *nivel de competencia* con el del *grado de relación* de la solución, ponderados por la preferencia entre los criterios, para obtener un valor único sobre la bondad de la solución al problema de selección del personal plantado.

$$\tilde{v}_{s_1} = P_C \cdot \tilde{z}_{s_1} + P_R \cdot \tilde{t}_{s_1}$$

En el planteamiento tradicional del problema de asignación no se contempla la posibilidad de que exista relación entre las tareas, ni por ello, la complementariedad o no de los individuos que las deben llevar a cabo, lo cual parece que se aleja de lo que ocurre en la realidad cotidiana de la empresa.

Con el enfoque propugnado en este apartado, se sugiere la alternativa de tratar de encontrar algún método que consiga suministrar una solución aceptable al problema así planteado, de aquí que, por la experiencia demostrada en la aplicación de los Algoritmos Genéticos en la búsqueda de soluciones aceptables en problemas complejos de optimización [Goldberg, 1989; Davis, 1991], se propugne el desarrollo de un modelo aplicando dicha tecnología, para la ayuda de toma de decisiones de asignación de tareas relacionadas en la presupuestación del personal [López-González *et al.*, 1997a].

VI.4.2. UN ALGORITMO GENÉTICO PARA LA SELECCIÓN BORROSA DEL PERSONAL

En este trabajo, el Algoritmo Genético propuesto utiliza una codificación basada en el orden para representar las soluciones. Así, se generan cadenas de candidatos del mismo tamaño que el número de puestos a cubrir, distinguiéndose dos tipos de problemas:

- *asignación*, en los que el número de candidatos es igual al de puesto, y
- *selección*, en los que el número de candidatos es mayor que el de puestos.

Un ejemplo de solución para el caso de cinco puestos con cinco candidatos disponibles (asignación) podía ser:

$$S_1 = \{2, 4, 1, 3, 5\}$$

De acuerdo con la codificación planteada, esta solución indica que el candidato nº 2, al encontrarse en primer lugar en la cadena, ocupara el primer puesto de trabajo; por su parte, el candidato nº 4 ocupará el segundo, el nº 1 el tercero, el nº 3 el cuarto, y el nº 5 el quinto puesto de trabajo.

Una vez definida la codificación, se genera una batería de posibles soluciones de acuerdo con un proceso aleatorio.

VI.4.2.1. FUNCIÓN DE ADECUACIÓN

Para establecer la adecuación de las soluciones, se utiliza el modelo de evaluación borrosa planteado en la sección anterior. Con él, se obtiene un número borroso como indicador de la bondad de cada solución. Para establecer una jerarquía entre todas ellas se propone utilizar la distancia borrosa [Kaufmann y Gil-Aluja, 1990] que cada uno de ellos tiene con respecto al origen o número borroso trapezoidal (0,0,0,0).

VI.4.2.2. PROCESO DE SELECCIÓN

El siguiente paso lo constituye la selección, a través de un *Ranking de Selección con Ruleta* [Davis, 1991], de aquellos individuos más aptos, los cuales serán los “padres” de la siguiente generación, tal como se muestra en la Figura VI.6.

	Adecuación	Adecuación acumulada	Números aleatorios entre 1 y 24	
1 2 3 4 5	7	7	13	3 2 1 4 5
1 3 5 2 4	3	10	20	5 4 3 2 1
3 2 1 4 5	4	14	17	5 4 3 2 1
4 1 5 2 3	1	15	6	1 2 3 4 5
5 4 3 2 1	9	24	23	5 4 3 2 1

Ranking de Selección con Ruleta

Figura VI.6

VI.4.2.3. OPERADOR DE CRUCE

Para el cruce de los “padres”, al tratarse de una representación decimal con orden, pues los individuos se asignan a las tareas en función del lugar que ocupan en la cadena de solución, no se pueden utilizar los cruces tradicionales (en un punto, uniforme, etc.). Siguiendo con la diferenciación de los problemas posibles, se consideran dos variantes:

Problemas de asignación: se propone utilizar el Cruce Cíclico (Cycled Crossover) [Goldberg, 1989] que cumple con la condición de que las soluciones generadas por él, continúen siendo soluciones factibles al problema. El funcionamiento del mismo se describe a continuación:

Tras el proceso de selección se tiene dos “padres”:

$$S_1 = \{1, 4, 5, 3, 2\}$$

$$S_2 = \{3, 2, 1, 5, 4\}$$

Se comienza tomando una posición al azar (por ejemplo, la primera). Esa posición se mantiene en la siguiente generación de forma que se tiene:

$$S'_1 = \{1, \quad , \quad , \quad \}$$

$$S'_2 = \{3, \quad , \quad , \quad \}$$

Como el individuo que ocupa el primer lugar en el segundo cromosoma es el 3, se busca el 3 en el primero y se coloca respetando el puesto, esto es:

$$S'_1 = \{1, \quad , \quad , 3, \quad \}$$

$$S'_2 = \{3, \quad , \quad , 5, \quad \}$$

El individuo que ocupa en la segunda cadena el cuarto puesto, el del 3 en la primera, es el 5. Por tanto, se busca en la primera y se le sitúa respetando su puesto.

$$S'_1 = \{1, \quad , 5, 3, \quad \}$$

$$S'_2 = \{3, \quad , 1, 5, \quad \}$$

Ahora, el individuo que ocupa el tercer lugar en la segunda cadena es el 1. Como este individuo ya ha sido asignado, entonces, se dice que se ha cumplido un ciclo en el cruce y el resto de los individuos se rellenan intercambiando las cadenas. El resultado es el siguiente:

$$S'_1 = \{1, 2, 5, 3, 4\}$$

$$S'_2 = \{3, 4, 1, 5, 2\}$$

Problemas de Selección: se propone utilizar el cruce uniforme especial propuesto en [Herrera et al., 1997a]. Los fases del mismo son las siguientes:

1. Al principio del proceso de cruce se dispone de dos “padres”. Por ejemplo, en un problema de ocho candidatos para cinco puestos, dos soluciones podrían ser:

$$S_1 = \{8, 3, 4, 6, 1\}$$

$$S_2 = \{6, 2, 4, 5, 7\}$$

2. En un primer paso, se mantiene los candidatos repetidos en ambas soluciones, así como aquellos que ocupen sus puestos en la otra solución, obteniéndose en el ejemplo:

$$S'_1 = \{8, \quad, 4, 6, \quad\}$$

$$S'_2 = \{6, \quad, 4, 5, \quad\}$$

3. Posteriormente, los restantes candidatos se asignan de manera aleatoria a las cadenas resultantes.

De este modo, en el ejemplo, dos posibles soluciones podrían ser:

$$S'_1 = \{8, 2, 4, 6, 1\}$$

$$S'_1 = \{6, 3, 4, 5, 7\}$$

4. Finalmente, tras el proceso de cruce, se han obtenido dos soluciones que siguen siendo factibles al problema.

VI.4.2.4. OPERADOR DE MUTACIÓN

Al igual que para el operador anterior, se diferencian los dos posibles tipos de problemas:

Problemas de asignación: se propone utilizar una mutación de intercambio, siendo el proceso, el siguiente:

Se eligen dos posiciones de la cadena al azar y se intercambian los candidatos que contiene cada una [Banzhaf, 1990], tal como se muestra a continuación:

$$S_1 = \{2, 4, 5, 3, 1\}$$

$$S'_1 = \{2, 3, 5, 4, 1\}$$

Problemas de selección: se propone utilizar dos tipos de mutaciones diferentes, una como la anterior, es decir, de intercambio; y otra que introduzca individuos no contenidos en la solución, como se muestra en el siguiente ejemplo:

$$S_1 = \{2, 4, 5, 7, 9\}$$

$$S'_1 = \{2, 1, 5, 7, 9\}$$

optando por una u otra de manera aleatoria.

VI.4.2.5. CONDICIÓN DE PARADA DE LA BÚSQUEDA DE LA MEJOR SOLUCIÓN

Se propone que el algoritmo ejecute un número de generaciones a elección del usuario hasta mostrar la mejor solución alcanzada. Además, con el fin de no perder buenas soluciones, se ha introducido la característica denominada Elitismo [Goldberg, 1989]. Como anteriormente se dijo, este procedimiento evita que se pierda la mejor solución de una población hasta que no sea sobrepasada por otra superior en adecuación.

De acuerdo con lo expuesto, la aplicación del modelo así propugnado permite llevar a cabo un proceso de presupuestación de personal en condiciones de incertidumbre y considerando la posible relación entre tareas, con la consiguiente cooperación o no de los individuos entre sí.

A modo de resumen, en la Figura VI.7 se muestra una recopilación de todos los pasos descritos anteriormente.

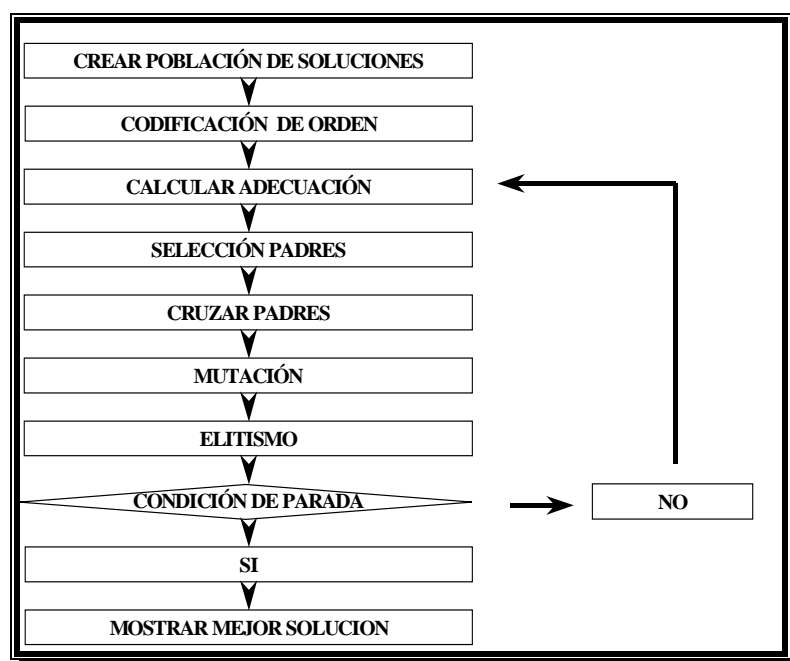


Figura VI.7

VI.5. ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO DE PERSONAL MEDIANTE RAZONAMIENTO LINGÜÍSTICO Y ALGORITMOS GENÉTICOS

En este apartado se analizan dos caminos existentes para la agregación de información lingüística y dos operadores lingüísticos utilizados en esta Memoria. Posteriormente, se muestra un modelo de decisión posible para la valoración lingüística de las soluciones y, finalmente, se propone un Algoritmo Genético Bi-objetivo que permita encontrar la solución óptima.

VI.5.1. OPERADORES LINGÜÍSTICOS

Se han desarrollado diferentes operadores que analizan la información que se pretende sea combinada en un proceso lingüístico, diferenciándose claramente dos tipos:

1. Información lingüística no ponderada. Se trata de situaciones en las que sólo se dispone de los valores lingüísticos que deben ser combinados.

2. Información lingüística ponderada. Se refiere a situaciones en las que además de un conjunto de valores lingüísticos a combinar, como pueden ser opiniones, cada uno de ellos posee un grado de importancia indicando el peso en referencia al conjunto.

En ambos casos, se precisa de operadores de agregación de la información lingüística para combinar adecuadamente la misma, de tal manera que la agregación final sea la “mejor” representación de todas las opiniones. En las siguientes subsecciones se presentan los operadores que se van a considerar en ambos casos.

VI.5.1.1. INFORMACIÓN LINGÜÍSTICA NO PONDERADA

En trabajos de investigación recientes se han propuesto diversos operadores de agregación de información lingüística, algunos basados en la utilización de las funciones de pertenencia asociadas con las etiquetas lingüísticas [Bonissone y Decker, 1986; Tong, 1980] y otros, que trabajan directamente con las etiquetas [Delgado *et al.*, 1993b; Herrera y Verdegay, 1993; Yager 1992a; Yager 1992b; Yager, 1995].

En esta sección se pretende utilizar este último enfoque, considerando dos operadores, el Operador de Agregación de Información Lingüística no Ponderada (LOWA) propuesto por F. Herrera y J.L. Verdegay en [Herrera y Verdegay, 1993], y el Operador Inverso de Agregación de Información Lingüística no Ponderada (I-LOWA) propuesto por F. Herrera y E. Herrera-Viedma en [Herrera y Herrera-Viedma, 1997].

Definición del operador LOWA. Sea $A = \{a_1, K, a_m\}$ el conjunto de etiquetas que se van a combinar, entonces se define el operador LOWA, ϕ , como

$$\begin{aligned} \phi(a_1, K, a_m) &= W \cdot B^T = C^m \{w_k, b_k, k = 1, K, m\} = \\ &= w_1 \otimes b_1 \oplus (1 - w_1) \otimes C^{m-1} \{\beta_h, b_h, h = 2, K, m\} \end{aligned}$$

donde $W = [w_1, K, w_m]$, es un vector de pesos, tal que: (i) $w_i \in [0, 1]$ y, (ii) $\sum w_i = 1$.

$\beta_h = w_h / \sum_2^m w_k$, $h = 2, K, m$, y $B = \{b_1, K, b_m\}$ es el vector asociado a A , tal que,

$$B = \sigma(A) = \{a_{\sigma(1)}, K, a_{\sigma(n)}\}$$

donde, $a_{\sigma(j)} \leq a_{\sigma(i)} \forall i \leq j$, con σ siendo una permutación sobre el conjunto de etiquetas A . C^m es el operador de *Combinación Convexa* de m etiquetas, \otimes es el producto general de una etiqueta por un número real positivo y \oplus es la suma de etiquetas definida en [Delgado et al., 1993b].

Así, si $m=2$, entonces C^2 se define como

$C^2 \{w_i, b_i, i = 1, 2\} = w_1 \otimes s_j \oplus (1 - w_1) \otimes s_i = s_k, s_j, s_i \in S, (j \geq i)$ tal que $k = \min\{T, i + \text{redondeo}(w_1 \cdot (j - i))\}$, donde “redondeo” es la operación tradicional de redondeo, y $b_1 = s_j, b_2 = s_i$.

Si $w_j = 1$ y $w_i = 0$ con $i \neq j \forall i$, entonces la Combinación Convexa se define como:

$$C^m \{w_i, b_i, i = 1, K, m\} = b_j.$$

Definición del operador I-LOWA. Un operador I-LOWA (Inverse-Linguistic Ordered Weighted Averaging), ϕ^I , en un tipo de operador LOWA, en el que

$$B = \sigma^I(A) = \{a_{\sigma(1)}, K, a_{\sigma(n)}\}$$

donde, $a_{\sigma(i)} \leq a_{\sigma(j)} \forall i \leq j$.

Así, si $m=2$, entonces se define como

$$C^2 \{w_i, b_i, i = 1, 2\} = w_1 \otimes s_j \oplus (1 - w_1) \otimes s_i = s_k, s_j, s_i \in S, (j \leq i)$$

tal que $k = \min\{T, i + \text{redondeo}(w_1 \cdot (j - i))\}$.

Los operadores LOWA e I-LOWA son monótonos crecientes, conmutativos, y de “redondeo”, que verifican los axiomas siguientes: Dominio no Restringido, Unanimidad o Indempotencia, Asociación Positiva de las Preferencias Sociales e Individuales, Independencia de Alternativas Irrelevantes, Soberanía y Neutralidad [Herrera *et al.*, 1996].

En el operador LOWA las ponderaciones miden la importancia de un valor, en relación con otros valores, con independencia de la fuente de la información, siendo una cuestión básica a resolver como calcular el vector W , de ponderaciones del operador LOWA. Una posible solución es que los pesos o ponderaciones representen el concepto de Mayoría Borrosa, en la agregación del operador LOWA utilizando cuantificadores lingüísticos [Zadeh, 1983]. En este sentido, Yager propone un camino para el cálculo de los pesos del operador de agregación LOWA, que, en el caso de un cuantificador lingüístico proporcional y creciente Q , se define por la expresión [Yager, 1988]:

$$w_i = Q(i/n) - Q((i-1)/n), i = 1, K, n;$$

siendo la función de pertenencia de Q , como sigue:

$$Q(r) = \begin{cases} 0 & \text{if } r < a \\ \frac{r-a}{b-a} & \text{if } a \leq r \leq b \\ 1 & \text{if } r > b \end{cases}$$

con $a, b, r \in [0, 1]$. Algunos ejemplos de operadores lingüísticos proporcionales y crecientes son: “la mayoría” (0,3; 0,8), “al menos la mitad” (0; 0,5) y “tantos como sea posible” (0,5; 1). Cuando un cuantificador lingüístico Q , se utiliza para calcular los pesos del operador LOWA, ϕ , este último se simboliza por ϕ_Q .

De la misma manera se puede aplicar al operador I-LOWA, representándose por ϕ_Q^I .

En la Figura VI.8 se muestran algunos ejemplos de operadores proporcionales, donde los parámetros, (a, b) son (0,3; 0,8), (0; 0,5) y (0,5; 1), respectivamente.

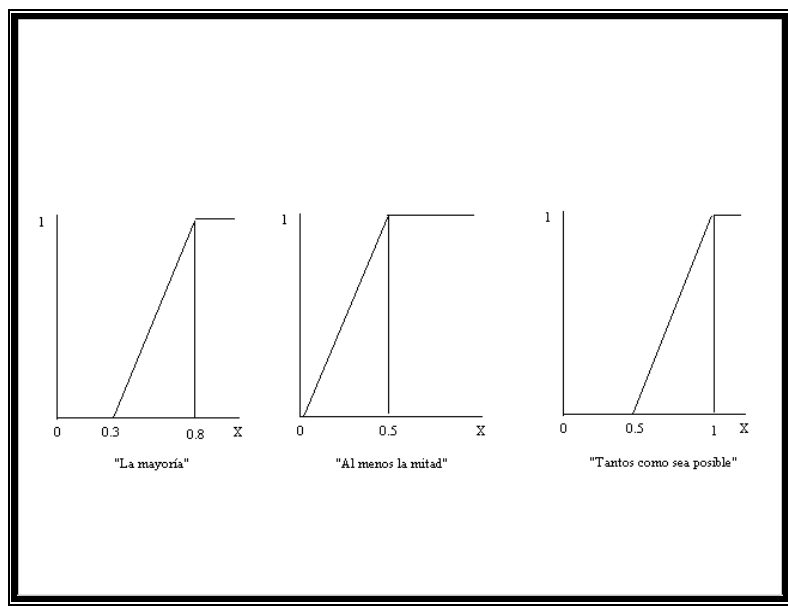


Figura VI.8

VI.5.1.2. INFORMACIÓN LINGÜÍSTICA PONDERADA

Se pueden encontrar situaciones donde la información disponible no tiene la misma importancia, es decir, se trabaja con información ponderada.

Por ello, con el fin de agregar la información ponderada, se combina la información lingüística con los pesos, que incluyen la transformación de la misma bajo diferentes grados de importancia.

De acuerdo con esa idea, se propone utilizar el operador lingüístico ponderado (LWA), para combinar información lingüística ponderada propuesto en [Herrera y Herrera-Viedma,

1997], que se define utilizando el operador LOWA [Herrera y Verdegay, 1993], el concepto de mayoría borrosa representado por los cuantificadores lingüísticos [Zadeh, 1983], y dos familias de conectivos lingüísticos [Herrera y Herrera-Viedma, 1997], tal como se muestra a continuación:

Definición del operador LWA. La agregación de un conjunto de opiniones individuales, $\{(c_1, a_1), K, (c_m, a_m)\}$, de acuerdo con operador LWA se define como

$$(c_E, a_E) = LWA[(c_1, a_1), K, (c_m, a_m)],$$

donde el grado de importancia de la opinión del grupo, c_E , se obtiene como

$$c_E = \phi_Q(c_1, K, c_m).$$

Y la opinión del grupo, a_E , se obtiene como

$$a_E = f[g(c_1, a_1), K, g(c_m, a_m)],$$

donde $f \in \{\phi_Q, \phi'_Q\}$ es un operador de agregación lingüística de información transformada y g es una función de importancia transformada, tal que $g \in LC^{\rightarrow}$ si $f = \phi_Q$ y $g \in LI^{\rightarrow}$ si $f = \phi'_Q$, siendo LC^{\rightarrow} alguna de las siguientes funciones de conjunción lingüística:

1. El operador MIN Clásico:

$$LC_1^{\rightarrow}(c, a) = MIN(c, a)$$

2. El operador MIN nilpotente:

$$LC_2^{\rightarrow}(c, a) = \begin{cases} MIN(c, a) & \text{if } c > Neg(a) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

3. La conjunción débil:

$$LC_3^{\rightarrow}(c, a) = \begin{cases} MIN(c, a) & \text{if } MAX(c, a) = s_r \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

y LI^{\rightarrow} alguna de las siguientes implicaciones lingüísticas:

1. Función de implicación de Kleene-Dienes:

$$LI_1^{\rightarrow}(c, a) = MAX(Neg(c), a)$$

2. Función de implicación de Godel:

$$LI_2^{\rightarrow}(c, a) = \begin{cases} s_i & \text{si } c \leq a \\ a & \text{en otro caso} \end{cases}$$

3. Función de implicación de Fodor:

$$LI_3^{\rightarrow}(c, a) = \begin{cases} s_i & \text{si } c \leq a \\ MAX(Neg(c), a) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde “MAX” representa el operador máximo y “MIN” el mínimo.

Se puede observar que el operador LWA intenta reducir el efecto de aquellos elementos que tiene baja importancia. Para ello, con $f = \phi_Q$, los elementos de baja importancia son transformados en valores pequeños y con $f = \phi_Q'$ en valores grandes.

VI.5.2. VALORACIÓN LINGÜÍSTICA DE LAS SOLUCIONES

En esta sección se propone un modelo de decisión lingüística para la gestión del personal. Este modelo de decisión utiliza los operadores LOWA e I-LOWA que representan los conceptos de mayoría difusa con el fin de combinar la información disponible, proporcionando un método para evaluar la posible solución lingüística al problema.

Sea $S = \{S_1, S_2, K, S_{m_1}\}$, una posible solución generada aleatoriamente, donde $S_i \in \{1, 2, K, N\}$.

Para la evaluación de las soluciones se propone un modelo que utilice la información lingüística representada mediante las etiquetas, como se muestra a continuación:

Criterio 1. Buenos niveles en las cualidades necesarias para los puestos.

Paso 1. Primero, se obtiene un valor de la adecuación de cada candidato en las cualidades del puesto al que se le asigna (S_i, X'_i) , aplicando un operador LWA como sigue:

Paso 1.1. Para cada puesto, X'_i , existen m_2 cualidades que lo definen, con m_2 grados de importancia cada cualidad, IC_{ij} . De este modo, para establecer la adecuación del candidato S_i para el puesto al que se le asigna, se ha de combinar el nivel que la persona tiene en cada cualidad, con la importancia que cada cualidad tiene en el puesto. Para ello, se propone utilizar la conjunción clásica MIN que penaliza las soluciones que asignan individuos con niveles bajos en cualidades importantes de los puestos.

$$g_1(IC_{ij}, N_{S_{ij}}) = LC_1^{\rightarrow}(IC_{ij}, N_{S_{ij}}), j = 1, K, m_2$$

Paso 1.2. Después, para obtener una etiqueta que represente el nivel de un individuo en los puestos, se propone utilizar un operador LOWA con el cuantificador lingüístico “la mayoría”, siendo la etiqueta final:

$$\begin{aligned} Z_{S_i} &= f(g_1(IC_{i1}, N_{S_{i1}}), K, g_1(IC_{im2}, N_{S_{im2}})) = \\ &= \phi_Q(g_1(IC_{i1}, N_{S_{i1}}), K, g_1(IC_{im2}, N_{S_{im2}})) \end{aligned}$$

Paso 2. En segundo lugar, para obtener un valor de la adecuación de la solución a las cualidades de todos los puestos, se aplica, de nuevo, un operador LWA como sigue:

Paso 2.1. Siguiendo los pasos anteriores es posible obtener una etiqueta lingüística que establezca la valoración de la capacidad relativa de cada puesto.

De cualquier modo, la intención es dar un valor total que cubra la adecuación de los candidatos propuestos por la solución, teniendo en cuenta que los diferentes puestos tienen diferentes niveles de importancia. Debido a ello, se propone utilizar, de nuevo, la conjunción clásica MIN, de manera que la adecuación de cada puesto pueda ser obtenida por medio de una etiqueta lingüística.

$$g_2(IP_i, Z_{S_i}) = LC_1^{\rightarrow}(IP_i, Z_{S_i}), i = 1, K, m_1$$

Paso 2.2. Así, para obtener una etiqueta que represente el nivel de la solución en conjunto, se propone utilizar un operador LOWA con el cuantificador lingüístico “la mayoría”.

$$Z_S = f(g_2(IP_1, Z_{S_1}), K, g_2(IP_{m1}, Z_{S_{m1}})) = \phi_Q(g_2(IP_1, Z_{S_1}), K, g_2(IP_{m1}, Z_{S_{m1}}))$$

Con los pasos anteriores, se ha obtenido una valoración lingüística de los candidatos en las cualidades necesarias para los puestos.

Sin embargo, la bondad de una solución, vendrá determinada también por medio de las relaciones entre los candidatos incluidos en ella.

Criterio 2. Buenas relaciones entre los candidatos propuestos.

Paso 1. Primero, para obtener un valor de las relaciones de los candidatos para cada puesto, X'_i , se propone aplicar un operador LWA como sigue:

Paso 1.1. Cuando exista relación entre los puestos, se ha de combinar la importancia que ésta tiene para un puesto con el nivel de compatibilidad que los candidatos propuestos para los mismos presentan. Para ello, el método propuesto será utilizar la Implicación Lingüística de “Keene y Diene”.

$$g_3(RP_{ij}, RC_{S_i S_j}) = LI_1^{\rightarrow}(RP_{ij}, RC_{S_i S_j}), i = 1, K, m_1$$

Paso 1.2. Para obtener una etiqueta que represente las relaciones de los candidatos de cada puesto, X'_i , se propone utilizar un operador I-LOWA con el cuantificador lingüístico “la mayoría”.

$$\begin{aligned} T_i &= f(g_3(RP_{i1}, RC_{S_i S_i}), K, g_3(RP_{im1}, RC_{S_i S_{m1}})) = \\ &= \phi_Q^I(g_3(RP_{i1}, RC_{S_i S_i}), K, g_3(RP_{im1}, RC_{S_i S_{m1}})) \end{aligned}$$

Paso 2. Una vez finalizado el paso anterior, para establecer un valor de la relación de la solución en su conjunto, se propone utilizar un operador LOWA con el cuantificador lingüístico “la mayoría”.

$$T_S = f(T_1, K, T_{m_1}) = \phi_Q(T_1, K, T_{m_1})$$

Con los últimos tres pasos, se ha obtenido una evaluación lingüística de la relación existente entre los candidatos propuestos en la solución. Finalmente, se han obtenido dos etiquetas lingüísticas (Z_s, T_s) , que representan la evaluación de cada solución factible S , de acuerdo con los dos objetivos del problema: los niveles de los candidatos en cada puesto y las relaciones entre ellos.

De acuerdo con lo anterior y, con el objeto de establecer o seleccionar la mejor solución, en el siguiente epígrafe se sugiere la utilización de un proceso de selección basado en un Algoritmo Genético que presente una función de adecuación con dos objetivos lingüísticos.

VI.5.3. UN ALGORITMO GENÉTICO PARA LA SELECCIÓN LINGÜÍSTICA DEL PERSONAL

El Algoritmo Genético aquí propuesto utilizará una codificación basada en el orden para las soluciones, de forma similar al introducido anteriormente con valoración semántica borrosa.

VI.5.3.1. FUNCIÓN DE ADECUACIÓN

Para establecer la adecuación de cada solución al problema, se propone utilizar el modelo de decisión lingüística sugerido en la sección anterior, obteniendo, de esta manera, dos etiquetas lingüísticas que indican la bondad de cada solución.

VI.5.3.2. PROCESO DE SELECCIÓN

En el proceso de selección de los “padres”, se requiere clasificar las soluciones según su mejor o peor adecuación al problema. Al manejarse etiquetas lingüísticas, se propone que el encargado de la selección del personal de la empresa determine los niveles que se buscan en los dos objetivos relacionados con el equipo de trabajo. Y de acuerdo con ellos, se comparen las soluciones, con el fin de encontrar alguna que no esté dominada por otra [Fonseca y Fleming, 1993, 1995].

Sea $Y_i = \{Y_{i1}, Y_{i2}\}$ el vector de las etiquetas asociadas con la solución i , y $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2\}$ las metas establecidas para cada uno de los objetivos del proceso de selección del personal por el encargado del mismo. De acuerdo con la siguiente expresión, se establecerá el concepto de “dominancia”:

$$i \text{ Domina a } j \Leftrightarrow \begin{cases} (Y_{i1} > Y_{j1} \text{ y } Y_{i2} \geq Y_{j2}) \text{ o } (Y_{i1} \geq Y_{j1} \text{ y } Y_{i2} > Y_{j2}) \\ Y_{i1} \geq \alpha_1 \text{ y } Y_{i2} < \alpha_2 \text{ y } Y_{i2} > Y_{j2} \\ Y_{i2} \geq \alpha_2 \text{ y } Y_{i1} < \alpha_1 \text{ y } Y_{i1} > Y_{j1} \end{cases}$$

De este modo se puede obtener, para cada solución posible, el número de cadenas que la dominan. Sea N el número de individuos que componen la población de soluciones. Cada uno, i , es dominado por t_i individuos, denominando a este valor el rango asociado con la cadena. De acuerdo con estos rangos, se pueden establecer clases de individuos con el mismo rango. Así, se puede denotar por $C = \{C_0, K, C_H\}$ el conjunto de estas clases ordenadas por el valor de su rango, siendo s_j el número de individuos de la clase C_j .

Entonces, ordenando los individuos de acuerdo con el rango, se podrán clasificar a los primeros s_0 cromosomas no dominados por otras cadenas en la primera clase y así sucesivamente, teniendo como resultado que los individuos que pertenezcan a la clase C_j tienen:

$$\sum_{k=0}^{j-1} s_k \text{ individuos antes que ellos.}$$

Después, se propone aplicar un ranking lineal [Baker,1985] para obtener las probabilidades de selección:

$$P_i = \frac{1}{N} \left(\eta_{max} - (\eta_{max} - \eta_{min}) \cdot \frac{i-1}{N-1} \right)$$

Con ello se consigue asignar un porcentaje de probabilidad de selección igual para todos los individuos del mismo rango (de la misma clase).

VI.5.3.3. OPERADOR DE CRUCE

Siguiendo con la diferenciación de los problemas posibles, se consideran dos variantes, al igual que en el caso del Algoritmo Genético basado en la semántica:

Problemas de asignación: se propone utilizar el Cruce Cíclico [Goldberg, 1989] anteriormente comentado, que cumple con la condición de que las soluciones generadas por él continúen siendo soluciones factibles al problema.

Problemas de Selección: se propone utilizar el cruce uniforme especial [Herrera *et al.*, 1997a], descrito para el modelo numérico borroso.

VI.5.3.4. OPERADOR DE MUTACIÓN

Al igual que para el operador anterior, cabe diferenciar dos posibles tipos de problemas:

Problemas de asignación: se propone utilizar una mutación de intercambio, como en el modelo numérico borroso.

Problemas de selección: se proponen utilizar los dos tipos de mutaciones diferentes, también sugeridos anteriormente.

VI.5.3.5. CRITERIO DE PARADA EN LA BÚSQUEDA DE LA MEJOR SOLUCIÓN

Se propone ejecutar el algoritmo un número de generaciones especificado por el usuario, mostrándose la mejor solución alcanzada. Además, en orden de no perder buenas soluciones, se propone añadir al algoritmo la característica denominada “elitismo” [Goldberg, 1989], anteriormente comentada. Finalmente, el modelo de aplicación propuesto permite realizar un proceso de selección del personal bajo condiciones de incertidumbre, manejando información lingüística sin realizar una transformación de la misma. A modo de resumen en la Figura VI.9 se muestran los pasos del Algoritmo Genético descrito anteriormente.

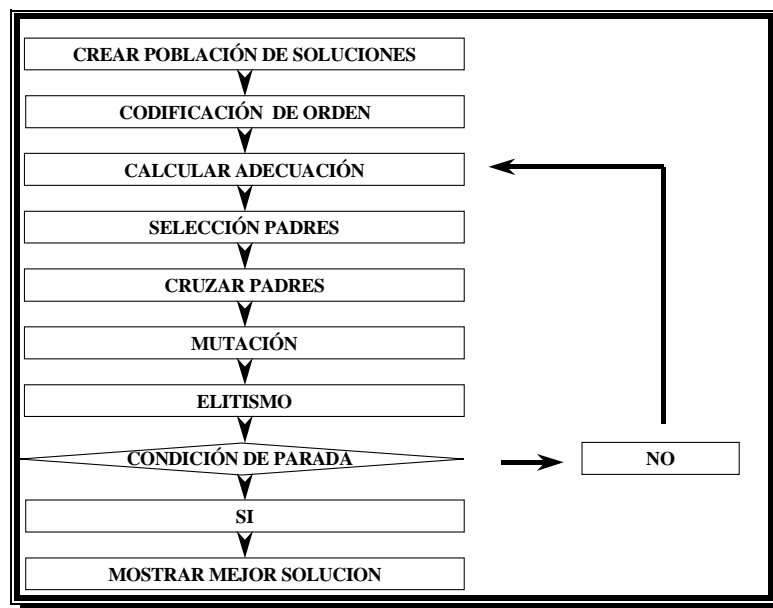


Figura VI.9

VI.6. EJEMPLO DE EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA

Para contrastar el funcionamiento de ambos Algoritmos Genéticos se desarrolló un modelo operativo, introduciendo diversos ejemplos, entre ellos el que se describe a continuación, que hace referencia al establecimiento del Presupuesto de Personal de una fábrica de muebles. De esta forma, se trata de demostrar la adaptación a problemas reales del ámbito empresarial que tienen los modelos propuestos en este capítulo.

VI.6.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Supóngase que una fábrica de muebles pretende, a partir de su presupuesto de producción, situar a las personas más adecuadas en los puestos a cubrir en su planta. En primer lugar, se establece cuáles son los puestos y la importancia que cada uno tiene en este proceso de previsión. Así, se puede considerar, por ejemplo:

<i>Puesto 1:</i>	<i>INGENIERO</i>	<i>Importancia: Imprescindible</i>
<i>Puesto 2:</i>	<i>SUPERVISOR</i>	<i>Importancia: Bastante Alta</i>
<i>Puesto 3:</i>	<i>OFICIAL</i>	<i>Importancia: Media</i>
<i>Puesto 4:</i>	<i>OPERARIO</i>	<i>Importancia: Baja</i>
<i>Puesto 5:</i>	<i>AYUDANTE</i>	<i>Importancia: Muy baja</i>

Para cada puesto, se conoce a través de diversos estudios las competencias que se deben desarrollar y la importancia que cada una tiene en el puesto, como se muestra en el Cuadro VI.1:

IC_{ij}	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5
Ordenar	Esencial	-	-	-	-
Autorizar/ Delegar	Bastante alta	-	-	-	-
Integridad	Media	-	-	-	-
Organizar	Alta	-	-	-	-
Asistir/ Cuidar	Bastante alta	-	-	-	-
Recopilar Información	-	Baja	Muy alta	-	-
Analizar problemas	-	Alta	-	-	-
Comprobar procesos	-	Bastante alta	-	-	-
Multitarea	-	Muy alta	Bastante baja	-	-
Conocer la organización	-	Media	-	-	-
Habilidad matemática	-	Media	-	Bastante alta	-
Trabajo en equipo	-	-	Media	-	Media
Flexibilidad	-	-	Alta	-	Bastante
Especialización	-	-	Bastante alta	-	-
Responder físicamente	-	-	-	Media	Muy alta
Limpieza	-	-	-	Baja	Bastante alta
Trabajar con maquinaria	-	-	-	Alta	-
Usar herramientas	-	-	-	Bastante alta	Muy alta

Cuadro VI.1

Además, como última información necesaria para el establecimiento de los puestos, se conocen las relaciones que existen entre ellos y la importancia que tiene que dicha relación sea fluida, tal como se muestra en el Cuadro VI.2.

RP_{ij}	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5
Puesto 1	-	Bastante alta	Alta	Media	Bastante alta
Puesto 2	Bastante alta	-	Media	Media	Baja
Puesto 3	Baja	Muy alta	-	Muy alta	Alta
Puesto 4	Baja	Media	Muy alta	-	Muy alta
Puesto 5	Bastante baja	Media	Bastante alta	Muy alta	-

Cuadro VI.2

Una vez determinados los puestos del presupuesto, la empresa analiza los candidatos. Supóngase que se dispone de once personas que puedan ocupar los puestos de la planta.

Candidato	Nombre
1	C.1
2	C.2
3	C.3
4	C.4
5	C.5
6	C.6
7	C.7
8	C.8
9	C.9
10	C.10
11	C.11

Para cada una, se precisa conocer mediante algún estudio, los niveles que desarrolla en todas las competencias de los puestos, tal como se muestra en el Cuadro VI.3.

Además, al existir conexiones entre los puestos, se puede conocer por medio de un estudio de los candidatos [De Ansorena, 1996] el grado de relación que existe entre ellos, tal como se muestra en el Cuadro VI.4.

Finalmente, la empresa considera igual de importantes los criterios de adecuación de los candidatos a los puestos y formación de equipos de trabajo, asignándoles a ambos una importancia *Muy Alta*.

N_{ij}	C. 1	C. 2	C. 3	C. 4	C. 5	C. 6	C. 7	C. 8	C. 9	C. 10	C. 11
Ordenar	Bajo	Bastante Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Muy Alto	Bajo	Muy Bajo
Autorizar/ Delegar	Bajo	Bastante Bajo	Medio	Bastante Alto	Bastante Alto	Medio	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio
Integridad	Medio	Bajo	Bajo	Bastante Bajo	Bajo	Muy Alto	Muy Alto	Bastante Alto	Muy Bajo	Óptimo	Muy Bajo
Organizar	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Bastante Alto	Muy Alto	Muy Alto	Medio	Muy Bajo	Óptimo	Bastante Bajo
Asistir/ Cuidar	Alto	Bajo	Alto	Medio	Bastante Bajo	Bastante Alto	Medio	Bastante Alto	Muy Alto	Medio	Muy Bajo
Recopilar Información	Bajo	Medio	Medio	Bastante Bajo	Bajísimo	Muy Alto	Muy Alto	Bajísimo	Medio	Bastante Bajo	Medio
Analizar problemas	Bajo	Bastante Bajo	Medio	Alto	Medio	Bastante Alto	Alto	Muy Alto	Bastante Alto	Alto	Muy Bajo
Comprobar procesos	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bastante Bajo	Muy Alto	Bastante Alto	Bastante Alto	Medio	Alto	Medio
Multitarea	Alto	Alto	Bajo	Medio	Muy Bajo	Bastante Alto	Alto	Bajo	Bastante Alto	Medio	Muy Bajo
Conocer la organización	Medio	Alto	Medio	Bastante Alto	Bajo	Muy Alto	Muy Alto	Bastante Alto	Medio	Bajo	Medio
Habilidad matemática	Bajo	Medio	Medio	Medio	Muy Bajo	Medio	Bajo	Bastante Bajo	Medio	Medio	Medio
Trabajo en equipo	Bastante Bajo	Bastante Bajo	Bajo	Alto	Bajísimo	Alto	Bastante Bajo	Muy Alto	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Bajo
Flexibilidad	Medio	Medio	Medio	Bastante Bajo	Bajísimo	Muy Alto	Muy Alto	Bajísimo	Medio	Bastante Bajo	Medio
Especialización	Bajísimo	Bajo	Bajo	Muy Alto	Alto	Medio	Medio	Medio	Bastante Alto	Muy Alto	Muy Bajo
Responder físicamente	Muy Bajo	Medio	Medio	Muy Alto	Bastante Alto	Muy Alto	Bajísimo	Bajo	Medio	Muy Alto	Medio
Limpieza	Bastante Bajo	Bajo	Bastante Bajo	Muy Alto	Bastante Bajo	Alto	Medio	Bajo	Bastante Alto	Medio	Muy Bajo
Trabajar con maquinaria	Medio	Medio	Medio	Muy Alto	Alto	Bastante Alto	Bastante Bajo	Muy Bajo	Medio	Muy Alto	Medio
Usar herra- mientas	Bastante Bajo	Bastante Bajo	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Bajísimo	Alto	Alto	Bajo	Muy Bajo

Cuadro VI.3

RC_{ij}	C. 1	C. 2	C. 3	C. 4	C. 5	C. 6	C. 7	C. 8	C. 9	C. 10	C. 11
C. 1	-	Muy Buena	Mala	Buena	Media	Muy Mala	Media	Bastante Mala	Pésima	Indiferente	Bastante Mala
C. 2	Muy Mala	-	Mala	Media	Media	Buena	Media	Muy Mala	Muy Mala	Indiferente	Muy Mala
C. 3	Muy Buena	Bastante Buena	-	Mala	Buena	Media	Buena	Mala	Buena	Indiferente	Muy Mala
C. 4	Muy Mala	Buena	Media	-	Mala	Buena	Media	Media	Muy Mala	Buena	Muy Buena
C. 5	Muy Buena	Buena	Buena	Mala	-	Buena	Bastante Mala	Muy Mala	Pésima	Indiferente	Muy Mala
C. 6	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Buena	-	Media	Mala	Buena	Muy Buena	Muy Buena
C. 7	Mala	Buena	Buena	Bastante Buena	Muy Buena	Bastante Buena	-	Bastante Mala	Muy Mala	Muy Buena	Bastante Buena
C. 8	Mala	Bastante Buena	Buena	Muy Buena	Media	Bastante Buena	Media	-	Muy Mala	Buena	Buena
C. 9	Buena	Bastante Buena	Bastante Buena	Buena	Indiferente	Buena	Bastante Buena	Buena	-	Indiferente	Indiferente
C.10	Bastante Mala	Buena	Indiferente	Bastante Buena	Mala	Buena	Indiferente	Indiferente	Muy Mala	-	Bastante Buena
C.11	Bastante Mala	Mala	Bastante Mala	Bastante Mala	Bastante Mala	Indiferente	Pésima	Indiferente	Bastante Mala	Mala	-

Cuadro VI.4

VI.6.2. APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO BORROSO

A los efectos de la aplicación del modelo operativo, los parámetros utilizados para obtener la solución a través del modelo propuesto fueron:

Número de generaciones:	50
Número de individuos:	100
Probabilidad de cruce:	50 %
Probabilidad de mutación:	30 %

Conviene señalar que la utilización de una probabilidad de mutación elevada está motivada por la necesidad de incluir nuevos individuos en las cadenas, pues, sino, se obtendría únicamente la mejor combinación de los inicialmente considerados que pasan las primeras selecciones.

En el caso práctico analizado, la solución final obtenida fue:

Nombre del puesto	Candidato
INGENIERO	C. 9
SUPERVISOR	C. 6
OFICIAL	C. 7
OPERARIO	C. 10
AYUDANTE	C. 4

El gráfico de evolución del mejor individuo de cada generación se muestra en la Figura VI.10.



Figura VI.10

VI.6.3. APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO LINGÜÍSTICO BI-OBJETIVO

VI.6.3.1. APLICACIÓN DEL MODELO DE DECISIÓN LINGÜÍSTICA

Sea $S=\{C.1, C.2, C.3, C.4, C.5\}$ una solución factible del problema. Se va a aplicar el modelo de decisión sobre ella, para obtener la evaluación lingüística asociada a los criterios.

Criterio 1. Buenos niveles en las cualidades necesarias para los puestos.

Paso 1.1.

Puesto 1	Ordenar	Autorizar	Integridad	Organizar	Asistir
IC_{ij}	Esencial	Bastante alta	Medio	Alta	Bastante Alta
$N_{s,j}$	Baja	Baja	Alta	Baja	Bastante Baja
LC_1^{\rightarrow}	Baja	Baja	Medio	Baja	Bastante Baja

Puesto 2	Recopilar información	Analizar problemas	Comprobar procesos	Multitarea	Conocer la organización	Habilidad matemática
IC_{ij}	Baja	Alta	Bastante	Muy Alta	Medio	Medio
$N_{s,j}$	Medio	Bastante	Alta	Alta	Medio	Bastante
LC_1^{\rightarrow}	Baja	Bastante	Alta	Alta	Medio	Bastante

Puesto 3	Recopilar información	Multitarea	Trabajo en grupo	Flexibilidad	Especialización
IC_{ij}	Muy Alta	Bastante Alta	Medio	Alta	Bastante Alta
$N_{s,j}$	Medio	Medio	Baja	Medio	Medio
LC_1^{\rightarrow}	Medio	Bastante	Baja	Medio	Medio

Puesto 4	Habilidad matemática	Responder físicamente	Limpieza	Trabajar con maquinaria	Usar herramientas
IC_{ij}	Bastante Alta	Medio	Baja	Alta	Bastante Alta
$N_{s,j}$	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
LC_1^{\rightarrow}	Bastante Alta	Medio	Baja	Alta	Bastante Alta

Puesto 5	Trabajo en grupo	Flexibilidad	Responder físicamente	Limpieza	Usar herramientas
IC_{ij}	Medio	Bastante	Muy Alta	Bastante Alta	Muy Alta
$N_{s,j}$	Baja	Bastante Alta	Alta	Bastante Alta	Alta
LC_1^{\rightarrow}	Baja	Bastante	Alta	Bastante Alta	Alta

Paso 1.2.

$$Z_{s_1} = \phi_{\rho}(M, B, B, B, BB) = [0, 0.4, 0.4, 0.2, 0](M, B, B, B, BB) = B$$

$$Z_{s_2} = \phi_{\rho}(A, A, M, B, BB, BB) = [0, 0.2\bar{6}, 0.3\bar{3}, 0.3\bar{3}, 0.0\bar{6}, 0](A, A, M, B, BB, BB) = M$$

$$Z_{s_3} = \phi_{\rho}(M, M, M, B, BB) = [0, 0.4, 0.4, 0.2, 0](M, M, M, B, BB) = B$$

$$Z_{s_4} = \phi_{\rho}(BA, A, M, B, BB) = [0, 0.4, 0.4, 0.2, 0](BA, A, M, B, BB) = M$$

$$Z_{s_5} = \phi_{\rho}(BA, A, A, B, BB) = [0, 0.4, 0.4, 0.2, 0](BA, A, A, B, BB) = M$$

S	Puesto 1.	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5
IP_i	Esencial	Bast. alta	Media	Baja	Muy Baja
Z_{S_i}	Baja	Media	Baja	Media	Media
LC_1^{\rightarrow}	Baja	Media	Baja	Baja	Muy Baja

Paso 2.2.

$$Z_s = \phi_{\rho}(M, B, B, B, MB) = [0, 0.4, 0.4, 0.2, 0](M, B, B, B, MB) = B$$

Con los anteriores pasos, se ha obtenido una evaluación lingüística (*Baja*) de las soluciones de candidatos en las cualidades de los puestos.

Criterio 2. Buenas relaciones entre los candidatos propuestos.**Paso 1.1.**

Puesto 1	1	2	3	4	5
RP_{ij}	-	Bastante	Alta	Medio	Bastante
RC_{s_i, s_j}	-	Muy Alta	Baja	Alta	Medio
LI_1^{\rightarrow}	-	Bastante	Baja	Medio	Bastante

Puesto 2	1	2	3	4	5
RP_{ij}	Bastante	-	Medio	Medio	Baja
RC_{s_i, s_j}	Muy Baja	-	Baja	Medio	Medio
LI_1^{\rightarrow}	Muy Baja	-	Baja	Medio	Baja

Puesto 3	1	2	3	4	5
RP_{ij}	Baja	Muy Alta	-	Muy Alta	Alta
RC_{s_i, s_j}	Muy Baja	Bastante	-	Baja	Alta
LI_1^{\rightarrow}	Muy Baja	Bastante	-	Baja	Alta

Puesto 4	1	2	3	4	5
RP_{ij}	Baja	Medio	Muy Alta	-	Muy Alta
RC_{s_i, s_j}	Muy Baja	Alta	Medio	-	Baja
LI_1^{\rightarrow}	Baja	Medio	Medio	-	Baja

Puesto 5	1	2	3	4	5
RP_{ij}	Bastante	Medio	Bastante	Muy Alta	-
RC_{S_i, S_j}	Muy Alta	Alta	Alta	Baja	-
LI_1^{\rightarrow}	Bastante	Medio	Alta	Baja	-

Paso 1.2.

$$T_1 = \phi'_o(BA, B, M, BB) = [0.1, 0.5, 0.4, 0](BA, B, M, BB) = B$$

$$T_2 = \phi'_o(M, B, B, MB) = [0.1, 0.5, 0.4, 0](M, B, B, MB) = B$$

$$T_3 = \phi'_o(BA, A, B, B) = [0.1, 0.5, 0.4, 0](BA, A, B, B) = M$$

$$T_4 = \phi'_o(M, M, B, B) = [0.1, 0.5, 0.4, 0](M, M, B, B) = M$$

$$T_5 = \phi'_o(A, M, B, BB) = [0.1, 0.5, 0.4, 0](A, M, B, BB) = B$$

Paso 2.

$$T_s = \phi_o(M, M, B, B, B) = [0, 0.4, 0.4, 0.2, 0](M, M, B, B, B) = B$$

Con los últimos tres pasos, se ha obtenido una evaluación lingüística (*Baja*) de las relaciones entre los candidatos de las soluciones para los puestos.

Finalmente, se han obtenido dos etiquetas que evalúan la solución, *S*, (*Baja, Baja*).

VI.6.3.2. APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO BI-OBJETIVO

En esta subsección se muestra la aplicación del Algoritmo Genético basado en el proceso de selección que se ha utilizado en el ejemplo. Así, con el fin de aplicar el modelo operativo, los parámetros utilizados en encontrar la solución por medio del significado de los modelos propuestos eran:

Número de generaciones:	25
Número de individuos:	20
Probabilidad de cruce:	60 %
Probabilidad de mutación:	40 %
Meta de las cualidades:	Bastante alto (<i>L6</i>)
Meta de las relaciones:	Bastante bueno (<i>L6</i>)

Debe ponerse de manifiesto, al igual que en el caso anterior, que el uso de una probabilidad de mutación tan alta esta motivado por la necesidad de introducir nuevos individuos en las cadenas, ya que, si no fuera así, podría ocurrir que sólo se alcanzará la mejor combinación de las cadenas inicialmente generadas o que pasan las primeras fases de selección.

El gráfico de evolución del mejor individuo en cada generación de acuerdo con las metas establecidas se muestra en la Figura VI.11.

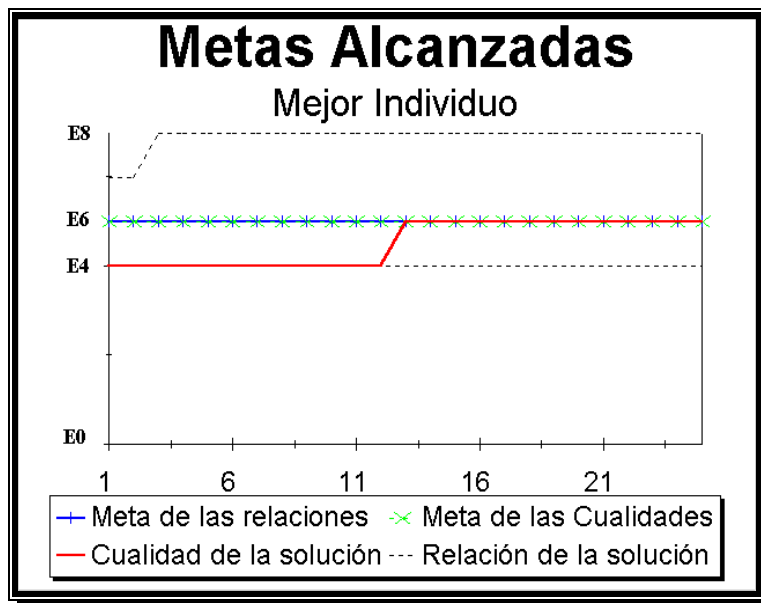


Figura VI.11

Este gráfico muestra que la meta establecida para el nivel de relaciones fue cumplida por el primer individuo de la primera generación, pero la meta de las cualidades no fue alcanzada hasta la mitad de las generaciones.

Por otro lado, el gráfico del individuo elitista se muestra en la Figura VI.12, donde se puede observar que hay dos mejoras en los Algoritmos Genéticos antes de la convergencia, demostrando que el algoritmo ha tenido un buen comportamiento.

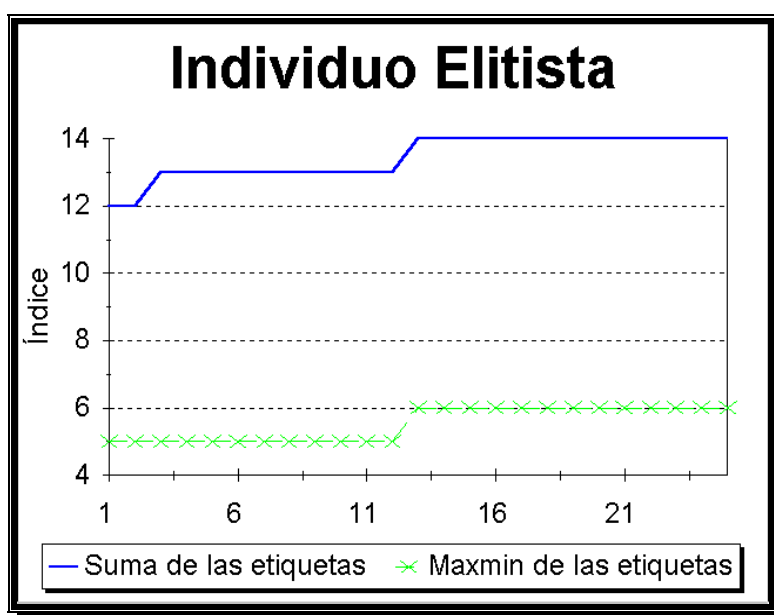


Figura VI.12

En el ejemplo práctico analizado la solución final obtenida fue (Calidades: Excelente; Relaciones: Muy buena):

Nombre del puesto	Candidato
INGENIERO	C. 9
SUPERVISOR	C. 6
OFICIAL	C. 7
OPERARIO	C. 4
AYUDANTE	C. 11

Con este ejemplo se muestra el funcionamiento del proceso de selección genética con dos criterios lingüísticos, en base al modelo de decisión lingüística anteriormente planteado.

CAPÍTULO VII. PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN

VII.1. INTRODUCCIÓN

La promoción, en un sentido amplio, abarca aquellas herramientas que tienen una rápida influencia en el comportamiento del consumidor, por lo que desarrollar un Presupuesto de Promoción requiere mucha creatividad e intuición. Habitualmente, muchas de estas operaciones se realizan “sobre la marcha”, sin ninguna planificación, resultando un plan muy costoso que emplea demasiado tiempo y esfuerzo en desarrollar ideas de promoción inapropiadas para el mercado y la situación de la competitividad existente. La clave consiste en establecer primero los objetivos y las estrategias de promoción para después desarrollar ideas innovadoras adecuadas al mercado [Kotler, 1991a].

A los efectos del presente trabajo, se puede definir promoción como la transmisión de información del vendedor al comprador, cuyo contenido se refiere tanto al producto como a la empresa que lo fabrica o vende. Así, como instrumento de marketing, tiene como objeto comunicar la existencia del producto, dar a conocer sus características, ventajas y necesidades que satisface. Además, puede persuadir al comprador de los beneficios que reporta el producto o servicio ofertado y, en definitiva, tratar de estimular la demanda.

Hay dos clases de promoción, según hacia quien se dirija: hacia los consumidores o hacia los intermediarios. En el primer caso, se intenta influir directamente en el consumidor final; en el segundo, la promoción se dirige hacia mercados intermedios. La mayor diferencia entre ambos, además de tener diferentes mercados objetivos, se concreta en el medio de comunicación empleado. La promoción hacia consumidores suele emplear medios de comunicación masivos o en el punto de venta. La promoción hacia intermediarios se realiza a través de correo, publicaciones especializadas, o mediante personal de ventas [Hernández *et al.*, 1994].

VII.2. INSTRUMENTOS DE LA PROMOCIÓN

Dentro del concepto genérico de promoción, se incluye un conjunto de actividades de comunicación con el mercado objetivo. En marketing, estas actividades se clasifican en cuatro

tipos: venta personal, publicidad relaciones, públicas y promoción de ventas. Las distintas formas de promocionar un producto se diferencian, fundamentalmente, por los medios utilizados para comunicarse con el mercado objetivo.

A continuación, se describen brevemente las principales características de los instrumentos de la promoción [Santesmases, 1991].

VII.2.1. PUBLICIDAD

Esta actividad engloba toda transmisión de información interpersonal y remunerada efectuada a través de los medios de comunicación de masas, por medio de anuncios o inserciones y cuyo mensaje es controlado por el anunciante. Entre los instrumentos de marketing que se encuentran dentro de esta categoría destacan: anuncios en radio, televisión o prensa, embalajes, folletos, catálogos, vallas, etc.

Lo que distingue a la publicidad, en primer lugar, es su carácter impersonal, puesto que se dirige de forma indiscriminada a todo el mercado. Esta característica puede restar eficacia a la publicidad, ya que se puede incurrir en gastos de este tipo que no afecten directamente a nuestro público objetivo. En segundo lugar, la transmisión de información se canaliza siempre a través de los medios de comunicación de masas. En tercer lugar, se identifica el transmisor de la información. En cuarto lugar, las inserciones en los medios las paga el anunciante. Y en quinto lugar, el anunciante controla el contenido y la forma de emitir el mensaje.

Dado que hay muchas formas y usos de la publicidad, resulta difícil generalizar sobre este aspecto, aunque sí se pueden destacar las siguientes características en esta herramienta:

Presentación pública. La publicidad es un modo de comunicación pública cuya naturaleza confiere una especie de legitimación al producto, a la vez que sugiere una oferta estándar.

Capacidad de penetración. La publicidad es un medio penetrante que permite al vendedor repetir el mensaje numerosas veces y, al comprador, compararlo con los de la competencia.

Expresividad amplificada. La publicidad proporciona a las empresas oportunidades para destacar sus productos a través del uso artístico de la impresión, el sonido y el color, aunque a veces un exceso de expresividad, puede ser inadecuado.

Impersonalidad. La publicidad no puede tener tanta fuerza como un vendedor, ya que el auditorio no está obligado ni a atender ni a responder, lo que la convierte en un monólogo en lugar de un diálogo con la audiencia.

VII.2.2. VENTA PERSONAL

Este instrumento de promoción representa una forma de comunicación oral, mediante la cual se transmite información de manera directa y personal a un cliente potencial específico, recibiendo una respuesta inmediata del destinatario de la información. Las herramientas disponibles dentro de este ámbito son: muestras, encuentros, telemarketing, presentaciones de venta, etc.

Al ser la venta personal una forma de promoción directa, puede ser difícil llegar a alcanzar al comprador potencial y comunicarse con él, y ser necesario, además, un intenso adiestramiento del vendedor. Frente a estos inconvenientes, la venta personal tiene como principales ventajas su flexibilidad, la posibilidad de interactuar con el comprador y el conocimiento inmediato de la respuesta del vendedor al estímulo recibido.

La venta personal es la herramienta más efectiva en ciertas fases del proceso de compra, especialmente para crear preferencias en los compradores, convicción y acción, presentando las siguientes características distintivas respecto de la publicidad.

Encuentros frente a frente. La venta personal supone una relación directa, inmediata e interactiva entre dos o más personas. Cada parte es capaz de observar y comprender las necesidades de la otra de forma directa, haciendo los ajustes necesarios si fuera preciso.

Relaciones. La venta personal permite que surjan todo tipo de relaciones, desde las derivadas de los intereses de las partes, hasta profundos sentimientos de amistad. Los vendedores efectivos mantienen, generalmente, el afecto a sus clientes si desean conservarlos.

Respuesta. La venta personal genera en el comprador un sentimiento de obligación de escuchar al vendedor, desarrollando un mayor compromiso por atender y responder.

VII.2.3. RELACIONES PÚBLICAS

Constituye el conjunto de programas genéricos que se diseñan para mejorar, mantener y proteger la imagen de una compañía o producto. Son llevadas a cabo por las empresas o instituciones para conseguir la difusión de información favorable a través de los medios de comunicación, así como para mejorar su propia imagen y la de los productos o servicios que ofrecen, tanto ante los distintos públicos a los que se dirigen en particular, como ante la sociedad en general. Dentro de estas acciones se encuadran herramientas tales como: artículos de prensa, seminarios, patrocinio, obras de caridad, informes anuales, etc.

Las relaciones públicas con los medios de comunicación dan lugar a mensajes que se transmiten mediante noticias o comunicados de prensa, que no suscribe el vendedor, sino el medio. Tampoco paga directamente el vendedor el espacio o tiempo ocupado en el mismo.

El atractivo de las relaciones públicas se fundamenta en sus tres características distintivas:

Alta credibilidad. Los relatos y noticias nuevas parecen ser más auténticos y creíbles para los lectores que los anuncios.

Penetración. Las relaciones públicas pueden alcanzar al público no cubierto por los vendedores y la publicidad.

Exageración. Tanto las relaciones públicas, como la publicidad, tienen un alto potencial para destacar positivamente la imagen de la empresa o producto.

VII.2.4. PROMOCIÓN DE VENTAS

Esta actividad está constituida por un conjunto de incentivos a corto plazo establecidos para fomentar la adquisición de un producto o servicio, es decir, tratan de estimular la demanda a corto plazo. Entre sus instrumentos se encuentran: vales de descuento, regalos, concursos, sorteos, retornos, etc.

Aunque las herramientas de promoción de ventas son muy diversas, presentan tres características comunes:

Comunicación. Atraen la atención y generalmente proporcionan información que puede conducir al consumidor hacia el producto.

Incentivo. Incorporan algún tipo de atractivo, estímulo o beneficio que proporciona valor al consumidor.

Invitación. Representan un estímulo para efectuar la transacción en el momento.

Todas las anteriores actividades tienen el mismo fin u objetivo, incrementar la demanda del producto o servicio. Sin embargo, ni todas tienen el mismo coste, ni todas producen el mismo impacto en el mercado, ni todas afectan al mismo público objetivo.

La venta personal es una forma de comunicación interpersonal, mientras la publicidad, las relaciones públicas y la promoción de ventas utilizan medios de comunicación impersonales, especialmente de comunicación de masas. Estos medios permiten llegar a una audiencia mayor, en un tiempo y un coste inferior, que la comunicación interpersonal [Lilien y Kotler, 1983]. Sin embargo, con la venta personal es posible una comunicación de doble sentido, y el mensaje puede ser más flexible, selectivo y personalizado.

En el Cuadro VII.1 se resumen las características principales de los cuatro instrumentos de la promoción.

	Venta personal	Publicidad	Relaciones públicas	Promoción de ventas
Modo de comunicación	Directa y personal	Indirecta y no personal	Indirecta y no personal	Indirecta y no personal
Actividad regular recurrente	Sí	Sí	No. Sólo para noticias de interés	No. Estimulación a corto plazo
Flexibilidad del mensaje	Personalizado y adaptado al cliente potencial	Uniforme e invariable	Más allá del control del vendedor	Uniforme e invariable
Respuesta directa	Sí	No	No	No
Control sobre el contenido del mensaje	Sí	Sí	No	Sí
Identificación del patrocinador	Sí	Sí	No	Sí
Coste por contacto	Alto	Bajo	Ninguno	Variable

Cuadro VII.1

VII.3. FUNDAMENTOS DE LA PROMOCIÓN

Como ya se ha indicado anteriormente, la promoción se fundamenta en la comunicación; es transmisión de información del vendedor al comprador. La comunicación tiene como objetivo el que el significado de la información sea comprendido de igual modo por el vendedor y el comprador. Es decir, que el destinatario de la información comprenda el mensaje o idea que le quiere transmitir el emisor de la misma. Si, por ejemplo, el vendedor quiere informar al mercado que su producto es de calidad superior al de sus competidores, la comunicación será efectiva si consigue hacer llegar al comprador esta idea sobre el producto.

VII.3.1. EL PROCESO DE COMUNICACIÓN DE LA PROMOCIÓN

La promoción, como proceso de comunicación, consiste en la transmisión por el vendedor de un mensaje dirigido al comprador, a través de medios personales o impersonales. El comprador lo recibe e interpreta, y devuelve una respuesta al vendedor, que, en último término, consiste en la compra o no compra del producto.

Cabe distinguir cinco componentes en el proceso de comunicación descrito:

- a) El emisor de la información (vendedor).
- b) El mensaje o idea que se quiere transmitir.
- c) El medio o canal a través del cual se transmite el mensaje.
- d) El receptor (comprador) o destinatario del mensaje.
- e) La respuesta del comprador al mensaje.

Por su parte las distintas fases en las que se divide el proceso de comunicación se muestran en la Figura VII.1 [Kotler, 1991b].

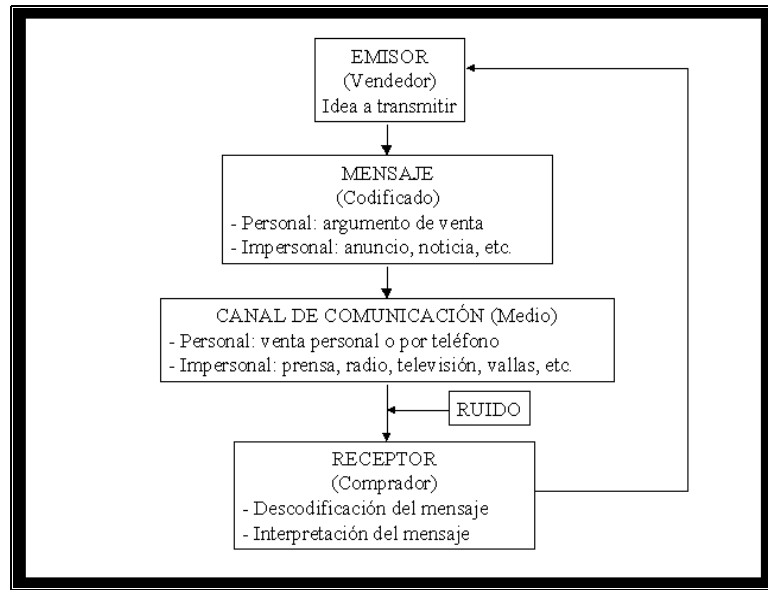


Figura VII.1

VII.3.1.1. EMISOR

El emisor es el que inicia el proceso de comunicación. Tiene una información que quiere transmitir: la existencia del producto, sus ventajas, su novedad, una reducción del precio, etc. El motivo de esta transmisión vendrá dado por la estrategia de marketing (incrementar ventas, posicionar el producto, mejorar la imagen, dirigirse a determinados segmentos, etc.).

VII.3.1.2. MENSAJE

El mensaje es lo que se dice, es la idea que el vendedor quiere transmitir sobre el producto o la empresa. Puede ser directo, expresando de forma clara y precisa lo que el producto o la empresa es; o indirecto, sugiriendo sólo lo que se quiere decir. Si el vendedor quiere transmitir la idea de que su producto es de calidad superior puede decirlo de forma directa, describiendo las características de los componentes del producto o los procesos de fabricación seguidos. En una argumentación de venta personal, la información directa puede ser un procedimiento efectivo para comunicar y convencer al comprador potencial. Pero en comunicación publicitaria, raramente se utilizan actualmente mensajes directos. Cuando se emplea este medio de comunicación, el mensaje suele expresarse de forma indirecta y estar codificado en símbolos, que se asocian con la idea que se quiere transmitir.

Un código es una norma (palabras, números, objetos, colores sonidos, símbolos, etc.) que se utiliza para expresar o articular un mensaje. La codificación del mensaje consiste, por

tanto, en transmitir la idea a través de símbolos, palabras, imágenes, dibujos, colores, sonidos, gestos, etc., que evidencian lo que se quiere comunicar. Como antes se ha indicado, se puede transmitir la idea de calidad del producto de forma directa, pero también puede hacerse de forma indirecta, sin decirlo expresamente, utilizando frases o imágenes que den a entender dicha característica.

VII.3.1.3. MEDIO DE COMUNICACIÓN

El medio de comunicación es el canal utilizado para hacer llegar el mensaje al destinatario. En la venta personal, es el vendedor quien transmite oralmente el mensaje, bien cara a cara con el comprador, bien por teléfono. En los demás instrumentos promocionales, el canal es impersonal y está constituido por los medios de comunicación de masas (prensa, radio, televisión, etc.).

VII.3.1.4. RECEPTOR

El mensaje recibido por el destinatario es interpretado, es decir, al estar codificado en símbolos, debe pasar por un proceso de decodificación para interpretar el significado del mismo. El destinatario del mensaje puede interpretarlo de forma distinta a como fue concebido por el emisor. De ahí la dificultad de una efectiva comunicación.

En la transmisión y recepción del mensaje puede interferirse lo que expertos en comunicación denominan ruido. El ruido es cualquier perturbación que se produce en el proceso de transmisión y recepción de un mensaje y que impide una interpretación correcta por parte del receptor. Puede ser un sonido externo, como el del tráfico de la calle o el de una llamada telefónica, que distrae o impide prestar atención al mensaje transmitido por un medio de comunicación, como la televisión o la radio. Pero también puede producirse ruido en el proceso de venta personal. El ruido, en este caso, puede consistir en una palabra ambigua, mal pronunciada u oída defectuosamente; o en una indisposición del vendedor o del comprador, que impide prestar atención a lo que se dice o se oye.

VII.3.1.5. RESPUESTA

Una vez interpretado el mensaje, el receptor podrá dar una respuesta (o no darla) al mensaje recibido. En el caso de la venta personal, la respuesta es directa e inmediata, tanto para pedir más información, asentir o poner objeciones al vendedor; como para comprar o rechazar la proposición. En los demás instrumentos promocionales la respuesta no es, por lo general, inmediata.

El fin último de la promoción es obtener una respuesta favorable del destinatario del mensaje hacia el producto o la empresa.

VII.3.2. ELECCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE PROMOCIÓN

Por lo general, una empresa o entidad no utiliza un solo instrumento para promocionar sus productos, sino que combina todos o algunos de los distintos métodos posibles que existen para comunicarse con el mercado del modo que considera más adecuado para conseguir sus objetivos.

No hay una regla única para establecer la combinación o Presupuesto de Promoción a emplear, sin embargo, el nivel de utilización de los distintos instrumentos de la promoción depende fundamentalmente de los siguientes aspectos:

- Recursos disponibles.
- Tipo de producto a vender.
- Características del mercado.
- Tipo de estrategia de marketing utilizada.
- Etapa del proceso de compra.
- Etapa del ciclo de vida del producto.

VII.3.2.1. RECURSOS DISPONIBLES

El coste de realizar una campaña publicitaria efectiva en el ámbito nacional puede ser muy elevado y no estar al alcance de la gran mayoría de empresas. Asimismo, disponer de un equipo de vendedores propio requiere unos volúmenes mínimos de ventas. Todo ello limita las posibilidades de promoción de muchas empresas, que deben confiar principalmente en la acción desarrollada por el canal de distribución.

VII.3.2.2. TIPO DE PRODUCTO VENDIDO

Un producto industrial, como una máquina excavadora o los materiales para la fabricación de un automóvil, difícilmente serán adquiridos como resultado de un anuncio en un periódico o en la televisión. Lo más probable es que el vendedor haya visitado personalmente al comprador y le haya presentado diversas ofertas, para convencerle de los beneficios del producto. Sin embargo, para adquirir productos de consumo de compra habitual, como aceite, yogures, pasta de dientes, detergentes o cintas de vídeo, es muy posible que no sea necesario el concurso de un vendedor especializado.

En estos casos, es muchas veces suficiente la publicidad a través de los medios de comunicación de masas, para informarse sobre el producto y sus ventajas y para persuadir al consumidor a comprar.

En general, la utilización de medios de venta personal será mayor cuando el producto tenga las siguientes características:

Valor elevado. En estas circunstancias, el comprador necesita en mayor medida ser convencido de la necesidad de efectuar un fuerte desembolso.

El producto es de naturaleza técnica. En este caso, se precisa la asistencia de un vendedor especializado, que explique las características del producto.

El producto requiere demostraciones. Si los beneficios del producto no son percibidos hasta que se prueba, la necesidad del vendedor será mayor.

El producto debe adaptarse a las necesidades específicas del consumidor. Este es el caso, por ejemplo, de un traje a medida, un seguro de vida o las inversiones en activos financieros.

La compra no es frecuente. En productos de compra frecuente, como los de alimentación y limpieza, puede utilizarse más intensamente la publicidad.

La compra requiere negociación. Esto ocurre en productos de alto precio o en los que la venta es con cambio y debe negociarse el precio del producto usado, como ocurre en la compra de pisos y automóviles.

VII.3.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO

Si el mercado es grande y está ampliamente distribuido, la publicidad será el medio más económico de alcanzar a la audiencia. Por el contrario, si el mercado es reducido o está concentrado en una zona geográfica determinada, lo que es característico de mercados industriales, la venta personal será el sistema de promoción más efectivo.

VII.3.2.4. TIPO DE ESTRATEGIA

La utilización de medios de venta personal también será mayor si la estrategia de marketing seguida actúa fundamentalmente sobre el canal de distribución. Por el contrario, si se actúa sobre el consumidor final, se precisará una mayor utilización de instrumentos de promoción impersonales, como la publicidad y la promoción de ventas, para atraer a los consumidores al establecimiento detallista.

VII.3.2.5. ETAPA DEL PROCESO DE COMPRA

En las primeras etapas del proceso de decisión de compra, la publicidad adquiere una importancia crucial. Un anuncio puede hacer percibir al consumidor la necesidad del produc-

to, proporcionar información básica sobre el producto y comunicar la existencia de la marca. En cambio, cuando el comprador potencial inicia la transición en el establecimiento detallista, la venta personal adquiere un papel preponderante. Una vez consumada la transacción, la publicidad puede volver a tener un mayor protagonismo, sobre todo en productos de consumo, recordando al cliente el producto y reafirmando su decisión de compra. Sin embargo, en productos industriales, la relación posventa se desarrollará preferentemente de forma personal.

VII.3.2.6. ETAPA DE CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

En general, los gastos de promoción son más elevados en las primeras fases del ciclo de vida del producto. A lo largo de las fases de introducción y crecimiento, la publicidad y las relaciones públicas adquieren mayor importancia, especialmente en productos de consumo. Sin embargo, a medida que el producto entra en una fase de madurez, se incrementa la importancia relativa de la venta personal y se intensifica el apoyo a los puntos de venta. En productos industriales, en cambio, la venta personal es el instrumento promocional más utilizado en todas las fases del ciclo de vida.

VII.3.3. LOS OBJETIVOS DE LA PROMOCIÓN

La empresa debe decidir el cambio de actitud a conseguir en el mercado objetivo, siendo la última respuesta buscada, por supuesto, la compra, que es el resultado final de un largo proceso de decisión. Para ello, se necesita conocer cómo dirigir la mente del público objetivo a estadios de intención de compra [Kotler, 1991a].

El responsable de la función de promoción de la empresa puede buscar actuar sobre el nivel cognoscitivo, afectivo o de tendencia de su público objetivo. De esta forma, la propia compañía puede actuar sobre alguno de estos niveles, dentro de los que existen diferentes modelos en su composición. El Cuadro VII.2 muestra los cuatro modelos más conocidos de jerarquía de respuestas [Kotler, 1991b].

FASES	Modelo “AIDA”	Modelo “Jerarquía de Efectos”	Modelo “Innovación-Adopción”	Modelo de “Comunicación”
Cognitiva	Atención	Toma de conciencia Conocimiento	Toma de conciencia	Exposición Percepción Respuesta cognitiva
Afectiva	Interés Deseo	Identificación Preferencia Convicción	Interés Evaluación	Actitud Intención
Comportamental	Acción	Compra	Prueba Adopción	Conducta

Cuadro VII.2

El modelo AIDA supone que el comprador pasa sucesivamente por los niveles de atención, interés, deseo y acción. Por su parte, el modelo de jerarquía de efectos considera que el comprador pasa por los estadios de reconocimiento, conocimiento, gusto, preferencia, convicción y compra. El modelo de innovación-adaptación, sin embargo, asume que el comprador pasa por las fases de conocimiento, interés, evaluación, prueba y adopción. Finalmente, el modelo de comunicación implica que el comprador pasa por los estadios de exposición, recepción, respuesta cognoscitiva, actitud, intención y comportamiento.

Tras un análisis con detenimiento de los mismos se puede concluir que la mayoría de estas diferencias son simplemente semánticas. Así, todos estos modelos asumen que el comprador pasa de un estadio cognoscitivo a uno afectivo y a otro final de comportamiento de compra, por ese orden. La secuencia, “aprender-sentir-hacer”, se da de manera especial cuando el mercado tiene un especial interés en la categoría del producto y siente que existen importantes diferencias en las marcas. Una secuencia alternativa sería “hacer-sentir-aprender”, propia de productos en los que el mercado tiene mucho interés, pero en los que siente que no hay diferencia entre las marcas, o ésta es pequeña, como podría suceder con la compra de aluminio. Una tercera podría ser “aprender-hacer-sentir”, característica de mercados en los que el producto se considera de poco interés, no existiendo diferenciación entre las marcas. El establecimiento del Presupuesto de Promoción se verá muy favorecido si el responsable de marketing capta cuál es la secuencia en el caso concreto de los productos de la empresa.

En este sentido, de acuerdo con el modelo de jerarquía de efectos, los objetivos que se pueden buscar con la promoción en un período de estudio podrían ser:

Reconocimiento. Si la mayor parte del público objetivo no conoce el bien, el objetivo del plan de promoción es que el producto alcance notoriedad, quizás simplemente que se reconozca el nombre a través de mensajes simples repitiendo la marca. Incluso en este caso, conseguir notoriedad lleva tiempo.

Conocimiento. El mercado podría identificar el nombre de una empresa o el de un producto, sin saber mucho sobre él. La empresa necesita determinar qué parte de su mercado objetivo tiene poco, bastante o mucho conocimiento sobre cada uno de estos aspectos, para posteriormente seleccionar aquel que precisa de una estrategia de conocimiento.

Gusto. Si el público objetivo ya conoce el producto puede tener distintos sentimientos acerca del mismo. Si son negativos, la empresa debe encontrar el motivo, para luego desarrollar una campaña de promoción que derive sentimientos favorables, pero si los sentimientos negativos se basan en problemas reales aprendidos, una campaña de comunicación por sí misma no resolverá el origen de los mismos. Las relaciones públicas requieren buenos hechos con anterioridad a las buenas palabras.

Preferencia. Al público objetivo le podría gustar el producto, pero no preferirlo sobre otras marcas y, en este caso, la tarea de la empresa consistirá en construir una preferencia, para lo que destacará la calidad del producto, sus valores positivos, sus resultados y otras características, pudiendo testar el éxito de la campaña midiendo las preferencias del público objetivo antes y después de la misma.

Convicción. El público objetivo podría preferir una marca concreta, pero no estar absolutamente seguro de adquirirla. En este caso, la función de la empresa será la de construir la convicción de la bondad del producto ofertado.

Compra. Finalmente, algunos miembros del público objetivo podrían estar convencidos sobre la adquisición del producto, pero no haber llegado a la decisión de compra, esperando más información o planeando adquirirlo más tarde. El comunicador debe conseguir que estos clientes potenciales den el último paso. Entre las acciones para conseguirlo se encuentran la de ofertar el producto a un precio bajo, ofrecer un premio o permitir a los consumidores probarlo, dentro de unas condiciones.

A partir de estos objetivos la empresa debe decidir cuáles son más interesantes para sus productos y en qué medida. De acuerdo con ellos, se han de seleccionar las herramientas de promoción que permiten alcanzarlos, permitiendo que el presupuesto obtenido resulte eficaz y no produzca resultados no deseados.

VII.4. ESTABLECIMIENTO DEL PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN

En la práctica habitual de muchas empresas, se identifican cuatro métodos que se utilizan para el establecimiento del Presupuesto de Promoción, que son [Kotler, 1991a; McNamee, 1989]:

“*Lo que se pueda*”. Este método consiste en establecer el Presupuesto de Promoción en base al nivel de gasto que se pueda afrontar. Es el método más simple, sin embargo supone ignorar completamente el papel de la promoción como una inversión y su impacto inmediato en las ventas, lo que lo hace incierto para cada período y lleva a una planificación difícil a largo plazo.

Porcentaje sobre las ventas. Muchas empresas establecen sus presupuestos de promoción como un porcentaje concreto sobre su cifra de ventas (posterior o anticipada) o sobre su precio de venta.

Este método tiene una serie de ventajas, como son: en primer lugar, el hecho de que los costes de comunicación varíen en función de lo que la compañía pueda gastar, suele satisfacer a los responsables financieros, que sienten que los gastos a soportar deben guardar relación con las ventas de la empresa a través de los ciclos de negocio; en segundo lugar, lleva a los gestores a pensar en términos de la relación entre los costes de promoción, precio de venta

y beneficio por unidad; y, en tercer lugar, favorece la estabilidad competitiva en el sentido de que las empresas rivales gastan aproximadamente el mismo porcentaje sobre sus ventas.

A pesar de estas ventajas, el método del porcentaje de ventas tiene escasa justificación ya que usa razonamientos circulares, al considerar las ventas como causa de la promoción, en lugar de como resultado de la misma, al tiempo que conduce a la aceptación de un presupuesto sobre la base de la disponibilidad de fondos, en vez de fijarse en las oportunidades del mercado, lo que desanima la experimentación en promociones contra ciclos o inversiones agresivas. La dependencia de este presupuesto interfiere la planificación a largo plazo, puesto que tampoco proporciona una lógica para escoger el porcentaje específico, a menos que haya sido utilizado o esté fijado actualmente por los competidores. Finalmente, este método no promueve el establecimiento de un Presupuesto de Promoción relacionado con lo que cada producto necesita.

Método de paridad con la competencia. Algunas compañías establecen su Presupuesto de Promoción de tal forma que alcancen la misma proporción sobre las ventas que la competencia.

Existen dos razones que impulsan esta metodología: una defiende que los gastos de la competencia representan el deseo colectivo de la industria y, la otra sostiene que, mantener una paridad competitiva, ayuda a evitar guerras de comunicación.

Ninguno de estos argumentos es totalmente válido, ya que no hay ninguna base para creer que la competencia conoce mejor que la propia empresa cuánto se debe gastar en promoción y sus recursos, oportunidades y objetivos difieren tanto, que sus presupuestos difícilmente serán una guía para los nuestros. En consecuencia, resulta escasa la evidencia de que los presupuestos basados en la paridad competitiva desanimen las guerras de promoción.

Métodos de inversión según los objetivos a conseguir. Este método requiere que la empresa defina sus objetivos específicos de promoción, así como las tareas que deben desarrollarse para afrontarlos y los costes de desarrollo de cada una de ellas. La suma de dichos costes constituirá el Presupuesto de Promoción.

Este es el método más recomendable por cuanto tiene la ventaja de relacionar el gasto presupuestario con la distribución de contactos, cobertura conseguida, nivel de prueba y uso regular.

Aunque el método de los objetivos y tareas representa una aproximación lógica, estimar el coste de las mismas de manera precisa suele ser una tarea difícil. Como una extensión de esta aproximación, se han desarrollado varios modelos matemáticos que determina el presupuesto a partir de determinados objetivos y restricciones. En el método de los objetivos y tareas, el presupuesto está parcialmente influenciado por la envergadura de dichos objetivos.

Por ejemplo, si una empresa desea introducir un nuevo producto, se debe determinar primeramente cuál es la cuota de mercado que se quiere capturar. Ello determinará, entonces, cuáles son el número de exposiciones necesarias para reducir las “barreras” de percepción y de valor. Así, en base a estas estimaciones, el coste de la publicidad y el presupuesto total puede determinarse fácilmente.

Debido a los objetivos que guían el Presupuesto de Promoción y también la selección de los componentes del presupuesto, los costes asociados al presupuesto óptimo deben ser aproximados, con lo que la utilización de subconjuntos borrosos podría ser adecuada [Gill-Lafuente, 1997].

Una vez elegido el método, las empresas se enfrentan con la tarea de distribuir el presupuesto total de promoción entre sus cuatro herramientas, es decir: publicidad, promoción de ventas, relaciones públicas y equipo de ventas. Dentro de un mismo sector las compañías pueden diferenciarse sensiblemente en la distribución del mismo. De ahí se desprende que distintas empresas pueden alcanzar un mismo nivel de ventas con distintas mezclas de las herramientas de promoción.

En este sentido, las empresas buscan siempre caminos para incrementar su eficacia, sustituyendo unas herramientas de comunicación por otras. Así, muchas reemplazan a sus vendedores por publicidad y telemarketing. Otras compañías incrementan sus gastos de promoción en relación con la inversión en comunicación para obtener ventas más rápidas. El carácter sustitutivo de las diversas herramientas de promoción explica por qué se han de coordinar las mismas con el fin de alcanzar los objetivos de la empresa.

El diseño del Presupuesto de Promoción se complica más, cuando alguna de las herramientas es necesaria para poder utilizar otra [Santesmases, 1991]. También, en la coordinación de los cuatro componentes del Presupuesto de Promoción reside la generación de las máximas sinergias positivas, tal como se muestra en la Figura VII.2. Así, por ejemplo, el personal de ventas debe ensalzar las fuerzas y compensar las debilidades de los anuncios.

De este modo, en el caso del presupuesto de publicidad, se debe seleccionar aquella campaña y aquellos medios que produzcan sinergias positivas dentro del mismo. En la campaña de publicidad, las sinergias se obtienen cuando se adecua la misma con el concepto de producto y se eliminan “barreras” de percepción o de valor con el coste.

El presupuesto de la campaña de publicidad y el medio empleado deben también complementarse entre sí. Por ejemplo, puede ocurrir que un presupuesto de campaña de publicidad sea efectivo comunicando el concepto de producto o eliminado “barreras” con el cliente, sin embargo, si no puede ser emitida en el medio adecuado se pierden las sinergias. Esto sucede cuando existen restricciones técnicas en la emisión de una campaña en un medio determinado.

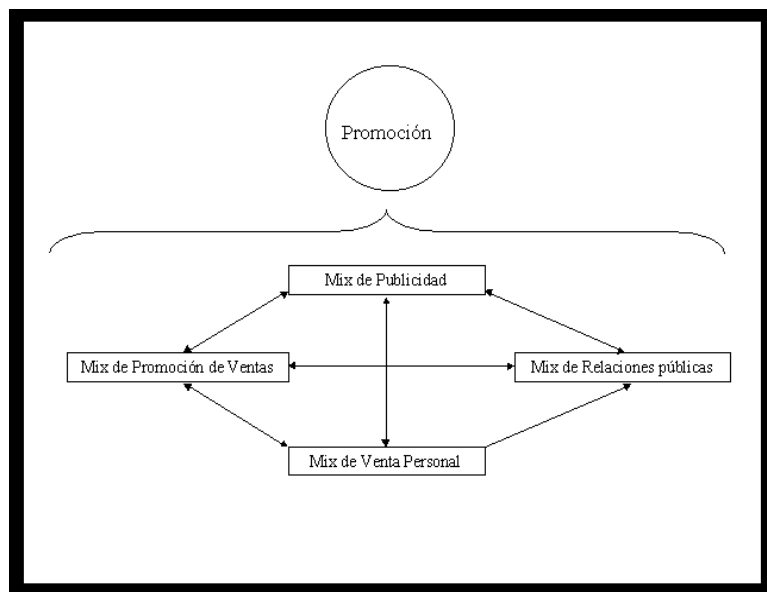


Figura VII.2

De la misma manera, la promoción de ventas, las relaciones públicas y la venta personal deben estar diseñados con el fin de compaginarse con las tareas operativas. Así, por ejemplo, cuando un vendedor se forma para un producto en concreto, con el adecuado entrenamiento, tendrá una efectividad alta en el mercado. Sin embargo, pueden surgir sinergias negativas cuando la fuerza de ventas se ha formado de forma correcta pero tiene una información inadecuada o desarrolla cualidades inapropiadas para el producto o consumidor. Por ello, resulta esencial una coordinación entre los componentes de información, de comportamiento y de organización de la fuerza de ventas.

Las sinergias positivas entre cada presupuesto de las distintas herramientas de la promoción son condición necesaria pero no suficiente, ya que los presupuestos deben ser complementarios entre sí.

VII.4.1. ESTABLECIMIENTO DEL PRESUPUESTO DE PUBLICIDAD

El importe de los costes de publicidad ha experimentado una evolución creciente en los últimos tiempos. Además, algunos desarrollos tecnológicos han complicado el entorno de los medios disponibles, añadiendo nuevas alternativas, tales como la televisión por cable y de pago, que afectan directamente a la publicidad. Así, por ejemplo, la utilización de mandos a distancia y el uso extensivo de aparatos de vídeo permiten la eliminación de anuncios lo que dificulta la labor publicitaria en la televisión. Todo ello proporciona un entorno complejo en la selección de medios y en el presupuesto de publicidad [Park y Zaltman, 1987].

Uno de los más importantes conflictos que suelen ocurrir en la selección del presupuesto de medios aparece entre el alcance, la frecuencia y el presupuesto. Alcance y frecuen-

cia son importantes no sólo debido a su influencia en la efectividad del presupuesto de medios, sino también debido a su impacto en el mismo. El alcance y la frecuencia juntos pueden utilizarse para medir la efectividad total del esfuerzo en un medio. Esta medida recibe el nombre de GRP (Gross Rating Points) o Puntos de Evaluación Bruta y que se obtiene como sigue:

$$\text{GRP} = \text{Alcance} \times \text{Frecuencia}$$

Una exposición única no es normalmente suficiente para que la audiencia comprenda y recuerde el mensaje de la empresa, por ello, debe repetirse. Sin embargo, las audiencias no se exponen al mensaje con la misma frecuencia en todos los medios. Algunos tiene un mejor porcentaje de frecuencia que otros, siendo, en general, más costosos. En consecuencia, se suelen producir conflictos entre la frecuencia y el alcance por las limitaciones presupuestarias de las empresas.

Existen numerosos modelos matemáticos que han sido desarrollados para intentar identificar el mejor presupuesto de medios sujeto a unas restricciones presupuestarias [Park y Zaltman, 1987]. Por ejemplo, la programación lineal es un método de optimización de las decisiones de selección de medios. Con ella se intenta encontrar el mejor presupuesto de publicidad que se puede realizar de acuerdo con restricciones relacionadas con las exposiciones deseadas, la frecuencia y las características del mercado objetivo. Desafortunadamente, la programación lineal tiene varios inconvenientes:

- Se asume que las exposiciones subsiguientes tienen más impacto que las iniciales.
- Se asume que el coste de los medios es constante y no sujeto a descuentos.
- No tiene en cuenta la duplicación de audiencias entre los medios.

El modelo de ensayos altos selecciona los medios de una manera secuencial más que de manera simultánea, como la programación lineal. El modelo selecciona el mejor conjunto de medios para el principio del período de estudio. Una segunda selección se realiza por si la primera se sale de los límites de exposiciones. Después de seleccionar un programa de medios óptimo para el principio del período, el procedimiento se repite hasta que se complete el presupuesto total del período de estudio. Este modelo evita varios de los inconvenientes de la programación lineal. Especialmente, mediante el desarrollo de un programa, a la vez que se seleccionan los medios adecuados, teniendo en cuenta la posible duplicación entre los mismos. Además, no se asume que los costes de los medios sean constantes y se incorporan algunos parámetros adicionales que no se modelan en la programación lineal. Sin embargo, ambos tienen el inconveniente de precisar de información que puede que no sea posible obtener.

Una aproximación de simulación puede utilizarse para desarrollar un plan óptimo de medios a partir de un conjunto de compradores hipotéticos. Los datos simulados de un grupo

de posibles clientes, sus hábitos, características demográficas y patrones de uso, se utilizan para estimar la viabilidad de varios planes de publicidad. A su vez, se realiza una estimación de la frecuencia y alcance de los diferentes planes. Sin embargo, no se proporciona un indicador sobre cual es el más efectivo. Además, la utilidad de los resultados depende de cómo se ajuste la población simulada a la real.

Otra decisión importante que se debe realizar en el plan de medios es la longitud o el tamaño del anuncio. Aunque los GPRs no lo reflejan, la comprensión y el recuerdo de un anuncio depende del tiempo o tamaño del mismo. Por ello, las decisiones deben tomarse de acuerdo con factores tales como:

- El montante de información requerido para explicar el tema del anuncio.
- La cantidad de información que el público objetivo tiene.
- El modo de llamar la atención utilizado para presentar el mensaje.

Obviamente, las decisiones están también sujetas a las restricciones presupuestarias, debido a que el tamaño de los anuncios determina el coste de los mismos.

La medición del impacto del presupuesto de publicidad incluye determinar el modo en que actúan las tareas operativas y de comunicación, es decir, si lo hacen de manera eficiente y efectiva. Se han utilizado varios métodos para medir la efectividad de la publicidad, tales como: medida de reconocimiento, test de recuerdo y medidas de actitud hacia las marcas.

Por medio del conocimiento que los consumidores tienen de la empresa, se puede determinar la parte del mercado objetivo que recuerda el nombre de la marca, el tema del anuncio o su mensaje. Además, se pueden también prever las actitudes de los consumidores hacia la marca, reduciendo las “barreras” de valor.

Los métodos para medir esas actitudes deben seleccionarse de manera cuidadosa y en función de lo que se desea. Las medidas de reconocimiento o los tests de recuerdo pueden indicar que una tarea operativa ha conseguido eliminar barreras de percepción. Además, estas dos técnicas también proporcionan una información importante sobre la accesibilidad que el medio presenta de llegar al público objetivo. Por su parte, el test de recuerdo puede mostrar la eficiencia de la comunicación a la hora de exponer el concepto de producto. La habilidad de recordar implica que los consumidores han estado expuestos a la información del anuncio, han pensado sobre ello y lo han encontrado suficientemente interesante como para recordarlo. El recuerdo puede determinarse por medio de test estructurados que prueban la memoria de los consumidores o métodos de sugerencias libres.

Las medidas de recuerdo deben estar cuidadosamente diseñadas, ya que no se busca un simple recuerdo, sino que el consumidor sepa cuál es el concepto del producto comunicado y

que lo asocie con la marca. Por otro lado, las medidas de actitud pueden establecer, si los consumidores comprenden el concepto y aprecian el producto por ello y si se han eliminado las “barreras” de valor. Un consumidor que encuentre que un producto tiene un precio adecuado a su calidad, tendrá una actitud favorable hacia él y lo preferirá a otras alternativas. Por todo ello, se puede concluir que no se debe utilizar una sola medida de la efectividad de un anuncio sino varias.

Aunque un consumidor puede tener diferentes niveles de conocimiento sobre el producto con el tiempo, también existen considerables diferencias en la cantidad de información sobre el producto que tienen diferentes consumidores. Por ejemplo, los clientes innovadores tienden a conocer las características de los nuevos productos mucho antes que los conservadores. Un anuncio puede estar diseñado para dar a conocer el producto a un segmento de clientes que lo desconoce, sin embargo, con ello, no se influirá en la compra de aquellos que ya lo conocían. Así, se deberían diseñar anuncios flexibles que pudieran actuar sobre diferentes tipos de clientes. En cambio, cuando se tiene múltiples objetivos con un anuncio, se tiene que establecer varias medidas de su efectividad.

VII.4.2. ESTABLECIMIENTO DEL PRESUPUESTO DE RELACIONES PÚBLICAS

Aunque las relaciones públicas se generan normalmente en el exterior de la empresa, las decisiones de este tipo implican costes y suponen tener en cuenta consideraciones presupuestarias para determinar qué medios se emplean y cómo aproximarse a los mismos. Las consideraciones presupuestarias deben incluir, también, los costes asociados con el desarrollo y mantenimiento de buenas relaciones con los medios empleados para este componente del Presupuesto de Promoción.

La evaluación de relaciones públicas es diferente a la de la publicidad. Una inversión en relaciones públicas se mide fundamentalmente en la respuesta del público objetivo al que se llega y en el impacto del medio utilizado. Esta evaluación dual debe considerarse cuando se diseña el consiguiente presupuesto. El criterio de eficiencia debe evaluarse en función de costes incurridos e intensidad de la respuesta del público objetivo [Santesmases, 1991].

VII.4.3. ESTABLECIMIENTO DEL PRESUPUESTO DE VENTA PERSONAL

Como con la publicidad, uno de los mejores caminos para proyectar un presupuesto de fuerza de ventas reside en analizar las tareas operativas y de comunicación del personal de ventas. Las variables que afectan a la decisión presupuestaria incluyen [Park y Zaltman, 1987]:

- El número y tipo de vendedores a asignar a productos, territorios y consumidores.
- La frecuencia en el contacto.

El establecimiento de objetivos y su utilización para determinar un presupuesto y diseñar los presupuestos relevantes es una parte fundamental en el diseño del plan de fuerza de ventas.

Existe un número de modelos matemáticos y de guías de gestión que se utilizan para determinar los componentes de la fuerza de ventas de la organización. Un modelo denominado *Callplan* intenta determinar como los vendedores deben asignar su tiempo entre los consumidores potenciales. Además, algunos modelos determinan qué individuos deben encargarse de cada uno de los territorios.

La organización de la fuerza de ventas, su información y su comportamiento, afectan al presupuesto necesario para conseguir que la venta personal que sea efectiva. Sin embargo, el presupuesto está, a su vez, influenciado por el comportamiento de los vendedores. Para conseguir estos presupuestos a un bajo coste, es decir, de manera eficiente, debe seleccionarse a las personas adecuadas, se les debe suministrar la información adecuada y, finalmente, se les debe entrenar de manera que les permita tener un buen comportamiento en el territorio al que se les asigne. Además, mantener un esfuerzo efectivo en la fuerza de ventas requiere que los vendedores sean recompensados adecuadamente y que se les mantenga en un nivel correcto de motivación. Por tanto, las actividades de reclutar, entrenar y mantener activos a los vendedores tiene que entenderse como un mecanismo de control que asegure que cada uno de los componentes del presupuesto de fuerza de ventas es efectivo y eficiente.

El reclutamiento del personal de ventas resulta análogo a la generación de nuevas ideas de productos, en las que se establece una batería de recursos del personal que permiten elegirlo. La habilidad de seleccionar buenos vendedores está directamente relacionada con la calidad de los candidatos seleccionados. Por ello, los gastos de la selección no deben analizarse desde el punto de vista del corto plazo. Además, los vendedores deben reclutarse por medio de diferentes fuentes, que incluyen la propia empresa (vendedores que se encuentren en otros departamentos) y el exterior.

Existen multitud de métodos disponibles para seleccionar los vendedores. Los tests de personalidad diseñados para identificar ciertos rasgos que determinen el éxito son los más utilizados. Una aproximación a la interacción social intenta encontrar a los vendedores que más se ajusten al mercado objetivo en características personales e intereses. Muchas empresas primero determinan quiénes son sus clientes y luego seleccionan a vendedores con un perfil compatible.

Un factor final en la selección es el análisis de la historia personal. Las actividades pasadas, comportamiento y conducta proporcionan una información suplementaria importante. Obtenerla puede ser difícil pero los costes incurridos en el entrenamiento y mantenimiento de la fuerza de ventas pueden justificar el esfuerzo.

Una vez seleccionados, los vendedores deben ser entrenados de manera que puedan llevar acabo las tareas operativas o de comunicación de manera eficiente. El período de entrenamiento es importante para determinar esfuerzos subsiguientes en la fuerza de ventas y su éxito. El entrenamiento se realiza, tanto en el ámbito informativo, como de comportamiento. Así, los empleados se entrenan de manera que tengan la información adecuada sobre la misión de la empresa; su pasado, presente y futuro; y la estructura de la organización; y, también, se entrenan para tener información sobre la actuación de los productos, mercados y consumidores. Los vendedores necesitaran también ser entrenados en la manera en que deben actuar antes, durante y después del contacto con los clientes potenciales.

Por su parte, mantener adecuadamente a la fuerza de ventas a través del tiempo y minimizar sus costes tiene un impacto importante en la efectividad del presupuesto del personal de ventas. Con el fin de mantener los vendedores en la organización, las variables de compensación y motivación se convierten en críticas. Al igual que el entrenamiento, la compensación también afecta a la eficacia con que cada uno de los presupuestos puede implementarse y, al mismo tiempo, se afecta al presupuesto. En este sentido, existen tres planes de compensación que pueden ser utilizados: salario fijo, salario a comisión y salario combinado.

Con el salario fijo, los vendedores reciben cantidades fijas de dinero en intervalos regulares. Además, ellos deben recibir una cantidad para sufragar todos o parte de los gastos que ha incurrido en el desarrollo de su actividad. Esto se recomienda cuando el trabajo de venta requiere una labor previa de educación, cuando el producto ofertado sea de carácter técnico o de ingeniería o cuando los vendedores realizan esfuerzos considerables en su labor de promoción. Tales situaciones se corresponden, generalmente, con los mercados industriales.

Los salarios fijos proporcionan varias ventajas a la empresa y a la fuerza de ventas. La compañía posee una fortaleza financiera y un gran control sobre el personal de ventas en términos de sus tareas específicas y responsabilidades. Por ello, las ventas de la organización puede ajustarse de manera flexible para cambiar condiciones del mercado. Debido a que sus ingresos no se ven afectados por la reorganización o reestructuración, los vendedores cooperan con las estrategias de marketing de la compañía de forma más rápida y efectiva que si se les remunera con un salario a comisión. Si los vendedores se reclutan para preparar informes detallados, con el fin de seguir al detalle su actividad, ellos tenderán a cooperar de manera más completa si se les paga con salarios fijos. Unos ingresos estables pueden incrementar la lealtad a la empresa y permiten una implementación más efectiva de las estrategias del personal de ventas de la empresa.

El único inconveniente de los salarios fijos es la ausencia de incentivos financieros a trabajar “duro”. Unos ingresos estables pueden hacer que los empleados trabajen por debajo de sus capacidades. Además, debido a que el plan tiende a ser interesante para distinguir bue-

nos vendedores de malos, estos pueden tender a realizar sólo un porcentaje de trabajos satisfactorios, aunque dicha conclusión debe tomarse de forma cautelosa. Si los planes de compensación provocan una baja motivación o el sistema de remuneración por si mismo permite tales problemas, no está claro. Por ello, si la tarea principal es reclutar vendedores adecuados, entrenarlos para que actúen lo mejor posible y mantener su nivel de actuación, un salario fijo será lo más recomendable cuando venga acompañado de la adecuada supervisión y monitorización. Así, añadir algunos incentivos a los salarios fijos puede aumentar sus ventajas y ser lo más recomendable.

Los salarios a comisión se utilizan cuando las ventas proporcionan una buena medida de la productividad. La mayoría de las formas de compensación basadas en las ventas caen dentro de una de las siguientes clasificaciones:

1. Salarios a comisión con un porcentaje bruto, sin soporte de los gastos de los vendedores.
2. Salarios a comisión con un porcentaje neto, con el empleado pagando los gastos de desplazamiento.

Los salarios a comisión a menudo se utilizan cuando las tareas no directamente relacionadas con la venta que debe realizar el vendedor son pocas o de escasa importancia, siendo una práctica común en productos de consumo como: ropa cosméticos, seguros, etc.

La ventaja inherente a este método reside en que proporciona incentivos a aquellas personas que trabajan más, ya que la comisión varía con el volumen de ventas, contribuyendo al control de los costes. Sin embargo, este tipo de salarios posee un elemento de conflictos potenciales con los objetivos de la empresa y la planificación a largo plazo. Esto es debido a que la compensación se basa en las ventas y por tanto los vendedores pueden centrarse en conseguir objetivos a corto plazo, olvidando los objetivos de ventas a largo plazo.

El reclutamiento, entrenamiento y compensación de la fuerza de ventas afecta al comportamiento de las ventas y a la satisfacción con el trabajo. La baja o nula motivación puede tener un efecto indeseado en un vendedor en concreto, extendiéndose al presupuesto de fuerza de ventas en su conjunto. La satisfacción en el trabajo puede ser una herramienta de predicción de los futuros esfuerzos de ventas. Así, conseguir la satisfacción y motivación de los vendedores, así como identificar los signos de ausencia de las mismas, son importantes actividades de gestión.

Se han desarrollado un gran número de métodos para evaluar la eficiencia del presupuesto de venta personal. El volumen de ventas generado por un vendedor puede ser considerado como un indicador de la efectividad del personal de ventas. Por su parte, los gastos incurridos para generar ese volumen de ventas pueden ser utilizados como una medida de la efi-

ciencia. De este modo, el ratio entre las ventas y los gastos puede medir tanto la eficiencia como eficacia para una persona en concreto. Una medida agregada de este ratio a través de la venta personal puede indicar el grado de sinergias positivas que existen en el presupuesto de fuerza de ventas. El mayor ratio lo tendrá aquel presupuesto que posea una eficiencia y eficacia mayor. Sin embargo, esta medida debe ser analizada con otras adicionales para evaluar las sinergias positivas, debido a que las ventas no se consiguen únicamente por los vendedores sino que existen otros factores.

El número de contactos que un vendedor realiza con los consumidores actuales y potenciales resulta, a veces, una medida adicional que indica si el vendedor cubre o no su territorio de acuerdo con los objetivos. Con la utilización de una medida del tiempo empleado, la eficiencia con que el vendedor realiza su trabajo se puede evaluar. Desde este punto de vista, maximizar el contacto cara a cara con los consumidores y minimizar el tiempo de trabajo resulta importante. Si ciertos vendedores pierden mucho tiempo viajando, pueden ser más eficientes, provocando el rediseño de la organización. La extensión en la que un vendedor es activo puede medirse a través del número de contactos, cartas, llamadas telefónicas y propuestas desarrolladas que lleva a cabo.

Para las personas que realizan actividades más allá de la simple venta, su actuación puede evaluarse mediante informes de ventas en los que se detalle su actividad. Las quejas de los consumidores son también un camino de obtener información sobre la fuerza de ventas y sobre la organización de la misma.

Finalmente, informes subjetivos tales como clasificaciones de méritos pueden utilizarse para obtener una medida de la actuación general. Éstos normalmente incluyen una serie de factores que directa o indirectamente se relacionan con la información o con el comportamiento, incluyendo características personales como, iniciativa, apariencia personal y relación con los consumidores.

VII.4.4. ESTABLECIMIENTO DEL PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN DE VENTAS

Los factores que afectan al coste de la promoción de ventas y, en consecuencia, al presupuesto, no incluyen sólo los componentes específicos de la promoción sino también la duración de la campaña. En la implementación de las estrategias de promoción, es necesaria una coordinación estrecha con otros componentes de los presupuestos de promoción y de marketing. Además, el tiempo de la campaña es trascendente. Por todo ello, la realización de test previos de evaluación de los esfuerzos promocionales debe ser prevista con el fin de conseguir la eficiencia en los programas [Park y Zaltman, 1987].

Existe un gran número de métodos que pueden utilizarse para evaluar el éxito del Presupuesto de Promoción. Como en la publicidad, se centran en la medida del reconocimiento y

recuerdo que los clientes tienen de los esfuerzos específicos de la campaña de promoción. Las actitudes hacia las marcas pueden determinar el nivel en que se ha eliminado las “barreras” entre la empresa y el cliente.

Con estas medidas inmediatas, deben desarrollarse otras cuyo enfoque sea más a largo plazo. Por ejemplo, un objetivo importante de la promoción de ventas es incrementar la buena imagen del producto y conseguir nuevas franquicias. Una tienda franquiciada puede entenderse como aquella que tiene lealtad hacia el producto debido a los esfuerzos promocionales. En consecuencia, algunos investigadores sugieren que el uso de ciertas técnicas de promoción es peligroso porque los consumidores dependen de ellas, es decir, sólo adquieren el producto cuando está promocionado.

VII.5. ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

Cuando la empresa se enfrenta a la tarea de establecer un Presupuesto de Promoción para el período en estudio, gran parte de la información que posee es de carácter subjetivo o incierto. Por ello, con objeto de realizar una aproximación a la problemática de la selección de medios de comunicación de las empresas en el entorno actual, el planteamiento del problema ha de ampliarse, incluyendo situaciones posibles.

Así, en esta sección se analiza el problema del establecimiento del mix de promoción cuando se dispone de información lingüística, por lo que se propone el empleo de operadores lingüísticos para su tratamiento.

Además, al poder plantarse múltiples soluciones que pueden considerarse como factibles para la empresa, se sugiere utilizar un Algoritmo Genético que se encargará de encontrar una presupuesto satisfactorio para problema planteado.

VII.5.1. ETAPAS EN EL ESTABLECIMIENTO DEL PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN LINGÜÍSTICO

El primer paso para establecer un Presupuesto de Promoción Lingüístico consiste en la elección de los objetivos que se pretenden alcanzar con esa campaña. Tradicionalmente, éstos se han reducido a maximizar el número de adquisiciones que recibe la empresa, sin embargo, se pueden buscar otros objetivos que no respondan a una naturaleza cuantitativa, como el conocimiento del producto, el recuerdo, la preferencia, la lealtad, etc.; los cuales deben ser definidos por los directivos de la empresa con el fin de que la campaña que se pretende realizar en el período de estudio los alcance. Así, el conjunto de los mismos podrían ser:

$$O = \{O_1, O_2, \dots, O_k\}$$

Además, cabe plantear, que los objetivos buscados por la compañía no lo son en un mismo grado, prefiriéndose conseguir unos a otros. En este modelo se sugiere utilizar diferentes niveles de importancia para establecer preferencias entre los objetivos por medio de etiquetas lingüísticas. De este modo, para los k objetivos anteriores, los niveles exigidos podría ser:

$$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\} \quad \alpha_i \in W$$

Para el establecimiento de los niveles requeridos a los objetivos, las etiquetas propuestas son las siguientes:

$$W = \{Esencial, Muy Alto, Bastante Alto, Alto, Medio, \\ Bajo, Bastante Bajo, Muy Bajo, Innecesario\}$$

En la fase siguiente, la empresa debe buscar las herramientas de promoción que se encuentran disponibles en el mercado y que le puedan ayudar a alcanzar los objetivos anteriormente marcados. Estas herramientas se encuentran agrupadas, como anteriormente se dijo, en cuatro categorías: venta personal, publicidad, relaciones públicas y promoción de ventas. Cada uno de estos componentes tiene sus cualidades, las cuales permiten conseguir diferentes metas a la empresa. Dentro de cada grupo, existen numerosas herramientas, así, por ejemplo, dentro de la publicidad tenemos: anuncios en televisión, radio, prensa, internet, etc. La empresa debe identificar todas las posibilidades que se le ofrecen para instrumentalizar su Presupuesto de Promoción. Así, se podrían establecer las siguientes herramientas:

$$h = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$$

Una vez realizada tal identificación, la empresa debe conocer los costes asociados con cada herramienta. Estos costes dependen del número de repeticiones que se realice de cada una de ellas, siendo lo más lógico que disminuya el coste unitario cuando aumenta el número de veces que se repite cada herramienta. De este modo, se podrían tener los siguientes:

$$c^1 = \{c_1^1, c_2^1, \dots, c_{m_1}^1\} \\ \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \quad c_i^h \in \mathfrak{R} \\ c^n = \{c_1^n, c_2^n, \dots, c_{m_n}^n\}$$

Por otro lado, el nivel que cada herramienta es capaz de suministrar en los diferentes objetivos establecidos por la empresa, no depende, únicamente, de las características de cada una, sino también del número de inserciones que de cada herramienta se realicen. De acuerdo con ello, este nivel aumentará a medida que lo hace el número de inserciones que se establecen de las diferentes herramientas.

Además, su representación debe realizarse de manera que permita manejar la información que se dispone sobre ellos. De ahí que se proponga representar los niveles por medio de etiquetas lingüísticas.

Así, se podrían representar como:

$$n^1 = \left\{ \begin{array}{cc} n_{11}^1, n_{12}^1, K, n_{1k}^1 \\ M & M \\ n_{m_1,1}^1, n_{m_1,2}^1, K, n_{m_1,k}^1 \end{array} \right\} \quad n_{ij}^1 \in W$$

Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ Λ

$$n^n = \left\{ \begin{array}{cc} n_{11}^n, n_{12}^n, K, n_{1k}^n \\ M & M \\ n_{m_n,1}^n, n_{m_n,2}^n, K, n_{m_n,k}^n \end{array} \right\} \quad n_{ij}^n \in W$$

Finalmente, las empresas tienen por norma general un nivel máximo de gasto en la campaña de promoción, T , que representa la cantidad máxima disponible.

En consecuencia, la empresa sólo aceptará aquellos presupuestos de promoción que tengan un coste igual o menor a esta cantidad a gastar máxima.

Con los anteriores pasos, se debe seleccionar aquel Presupuesto de Promoción que, maximizando los objetivos alcanzados que establece la empresa, no sobrepase la cantidad máxima disponible.

Un resumen de los pasos descritos anteriormente se muestra en la Figura VII.3.

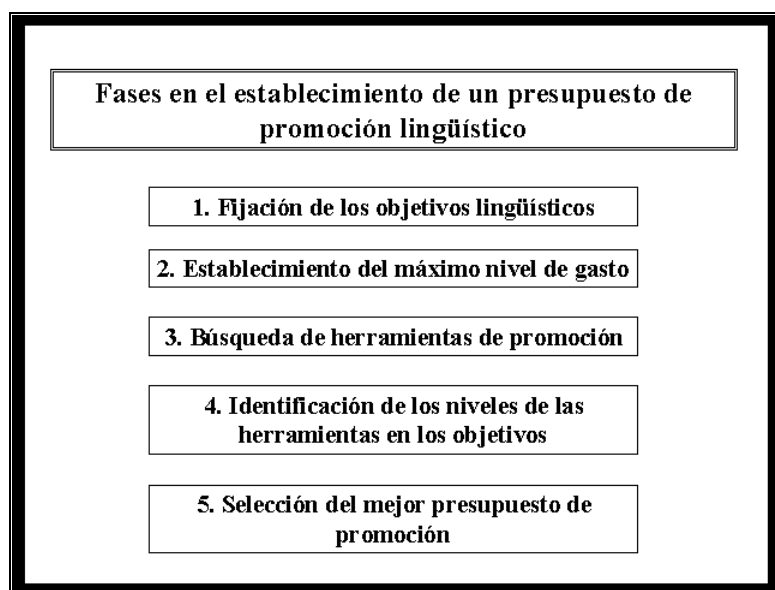


Figura VII.3

VII.5.2. MODELO DE DECISIÓN

Sea $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, una solución posible al problema del establecimiento del Presupuesto de Promoción, tal que

$\sum_{i=1}^k S_i \leq T$ y donde S_i representa el nivel de inversión que se realiza en la herramienta de promoción i .

Para poder evaluarla, se propone un modelo de decisión que utilice la información imprecisa representada en las etiquetas lingüísticas tanto en la importancia de los objetivos, como en el nivel de las herramientas en cada uno de ellos. El fin último del mismo será evaluar lingüísticamente la solución. Sin embargo, cada solución tendrá también una valoración cuantitativa, por cuanto con cada Presupuesto de Promoción no se puede pasar el nivel máximo de gasto. Por ello, de acuerdo con estos dos criterios, se seguirán los siguientes pasos:

Criterio 1. Objetivos alcanzados.

Paso 1. En cada herramienta de promoción, h , se realiza una inversión de, S_h unidades monetarias que viene definida en la solución. Esta inversión determina el número de inserciones realizadas en dicha herramienta, es decir, H_h , determinado el nivel de los objetivos alcanzados, $n_{h,j}^h$, $j=1, \dots, k$. Así, para calcular la adecuación de la solución S , en cada uno de los k objetivos, se debe relacionar el nivel de los objetivos que alcanza cada herramienta con el de las demás. Para ello, se propone utilizar el operador MAX que indica el nivel máximo alcanzado en cada objetivo.

$$t_j = \text{MAX}(n_{h_1,j}^1, n_{h_2,j}^2, \dots, n_{h_n,j}^n), j = 1, \dots, k$$

Paso 2. Con el fin de obtener un valor de la adecuación de la solución a los objetivos establecidos por la empresa, se aplicará un operador LWA con la conjunción MIN y un operador LOWA para agregar la información resultante. Para ello, se considerarán los niveles de satisfacción de los objetivos calculados anteriormente.

Paso 2.1. Primero, para obtener una etiqueta lingüística que represente el nivel de la solución en cada objetivo, se debe combinar el nivel alcanzado con el requerido. En consecuencia, se propone aplicar la conjunción clásica MIN (ver sección VI.5.1.2.), que permitirá obtener una valoración lingüística de la solución en los objetivos alcanzados.

$$g_j = LC_1^{\rightarrow}(\alpha_j, t_j), j = 1, \dots, k$$

Paso 2.2. Posteriormente, para obtener una etiqueta que represente el nivel de la solución en su conjunto, se propone utilizar el operador LOWA con el cuantificador lingüístico “la mayoría”.

$$Z_s = f(LC^{\rightarrow}(\alpha_1, t_1), K, LC^{\rightarrow}(\alpha_k, t_k)) = \phi_Q(g_1, K, g_k)$$

Con los pasos anteriores, se ha obtenido una valoración lingüística de la solución en cuanto al nivel de objetivos promocionales alcanzados. Sin embargo, la bondad de la solución vendrá también determinada por el coste incurrido en la implementación del Presupuesto de Promoción.

Criterio 2. Coste del Presupuesto de Promoción. Para obtener un valor de la solución en cuanto al criterio del coste, simplemente habrá que sumar todas las inversiones realizadas en cada herramienta de promoción. Así, la adecuación a este criterio vendrá determinada por el menor coste posible, siendo deseable a igual nivel de objetivos alcanzados aquella solución cuyo coste sea más bajo.

$$\sum_{h=1}^k S_h = T_s$$

Finalmente, se ha obtenido una etiqueta lingüística Z_s , que representa la evaluación lingüística de cada posible solución, S , de acuerdo con los objetivos de la campaña de promoción; y T_s , que representa el coste del presupuesto que la solución propone.

Con el fin de establecer o seleccionar el mejor Presupuesto de Promoción, se propone utilizar un Algoritmo Genético que utilice como función de ajuste o adaptación una combinación de los dos criterios anteriormente mencionados.

VII.5.3. UN ALGORITMO GENÉTICO PARA LA SELECCIÓN DEL PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN

El Algoritmo Genético empleado para resolver el problema de la búsqueda de un Presupuesto de Promoción óptimo, posee como primera característica una codificación en orden de las soluciones. De este modo, las cadenas de candidatos generadas aleatoriamente tienen un tantos elementos como herramientas de promoción dispone la empresa, y cada uno de ellos representa el gasto que se incurre en la herramienta correspondiente.

Así, un ejemplo de solución para el caso de cinco herramientas de promoción y 1.000 unidades monetarias disponibles para gastar en promoción, podría ser:

$$S_1 = \{200, 400, 100, 100, 200\}$$

Esta solución indica que la empresa debe gastar 200 unidades monetarias en la primera herramienta de promoción; 400 unidades monetarias en la segunda; 100 en la tercera y la cuarta; y, finalmente, 200 en la quinta herramienta. Con ello se totaliza una cantidad de Presupuesto de Promoción de 1.000 unidades monetarias.

Con el fin de operar eficientemente en las siguientes fases del desarrollo del Algoritmo Genético, se representa para cada solución un vector que contiene el número de inserciones que dicha solución sugiere realizar en cada una de las herramientas promocionales, pudiendo ser para el ejemplo anterior:

$$H = \{1, 2, 2, 1, 5\}$$

Una vez decidida la codificación, se genera una batería de soluciones por medio de un proceso aleatorio.

VII.5.3.1. FUNCIÓN DE ADECUACIÓN

Para establecer la adecuación de cada solución al problema, se sugiere utilizar el modelo de decisión propuesto en la sección anterior. Con ello, se obtendrá una etiqueta lingüística que indica el nivel de la solución en los objetivos de promoción establecidos por la empresa, y un número que indica el coste de llevar a la práctica dicha solución.

VII.5.3.2. PROCESO DE SELECCIÓN

Para seleccionar las mejores cadenas, se propone comparar las soluciones entre ellas con objeto de encontrar alguna que sea mejor que las demás.

Así, con el objeto de establecer una comparación entre dos posibles soluciones, se propone el siguiente proceso:

Sea S^1 y S^2 , dos soluciones, siendo (Z_{S^1}, T_{S^1}) y (Z_{S^2}, T_{S^2}) los respectivos vectores asociados con cada una de ellas. A continuación, se muestra la expresión que establece la preferencia entre las soluciones:

$$S^1 \text{ es mejor que } S^2 \Leftrightarrow (Z_{S^1} > Z_{S^2}) \text{ o } (Z_{S^1} = Z_{S^2} \text{ y } T_{S^1} < T_{S^2})$$

Posteriormente, se clasifican las soluciones comparando sus objetivos y costes y obteniendo una ordenación de todas ellas..

Finalmente, se aplica un ranking lineal [Baker, 1985] para obtener las probabilidades de selección:

$$P_i = \frac{1}{N} \left(\eta_{max} - (\eta_{max} - \eta_{min}) \cdot \frac{i-1}{N-1} \right)$$

Con este método se asignan iguales probabilidades de selección a todas las soluciones que ocupan el mismo lugar en la ordenación.

VII.5.3.3. OPERADOR DE CRUCE

Con el objetivo de mantener la factibilidad en las soluciones de la población y evitar que se generen soluciones con un coste superior al nivel máximo de gasto, se propone utilizar un tipo especial de operador de cruce. Los pasos son como siguen:

Al principio del proceso de cruce se dispone de dos “padres” seleccionados de entre las cadenas de la población. Por ejemplo, en un problema de cinco herramientas disponibles y un gasto máximo disponible de 1.000 unidades monetarias, las soluciones podrían ser:

$$S_1 = \{100, 300, 100, 200, 300\}$$

$$S_2 = \{500, 100, 50, 100, 150\}$$

Primero, se mantienen aleatoriamente algunos elementos en los “hijos”. De este modo, se pueden obtener:

$$S'_1 = \{100, \quad, 100, 200, \quad\}$$

$$S'_2 = \{500, \quad, 50, 100, \quad\}$$

A continuación, se intercambian uniformemente los elementos restantes en los “hijos” hasta el máximo nivel de inversión, comenzando aleatoriamente. Así, dos posibles cadenas resultantes podrían ser:

$$S'_1 = \{100, 100, 100, 200, 150\}$$

$$S'_2 = \{500, 50, 50, 100, 300\}$$

Finalmente, tras el proceso de cruce, se han obtenido dos soluciones factibles al problema y que tienen información de ambos “padres”.

VII.5.3.4. OPERADOR DE MUTACIÓN

Del mismo modo, para mantener la factibilidad de las soluciones en la población, se propone utilizar una mutación que elimine algunos elementos de la cadena y que los regenere de nuevo. Este proceso debe conseguir que el nivel de gasto de la solución no sobrepase la cantidad máxima disponible, siendo un ejemplo de su funcionamiento el siguiente ejemplo:

Primero, se selecciona una solución. Así, por ejemplo, para un problema de cinco herramientas y un nivel máximo de inversión de 1.000 unidades monetarias ésta podría ser:

$$S_1 = \{100, 300, 100, 200, 300\}$$

Posteriormente, se mantienen aleatoriamente algunos elementos. De este modo, se podría obtener:

$$S'_1 = \{ \quad, 300, 100, \quad, 300 \}$$

A continuación, se genera los restantes elementos de la cadena hasta el máximo nivel de inversión, comenzando de manera aleatoria. Con ello, la solución resultante podría ser:

$$S'_1 = \{250, 300, 100, 50, 150\}$$

Finalmente, tras el proceso de mutación se ha mantenido la factibilidad en las soluciones de la población.

VII.5.3.5. CRITERIO DE PARADA EN LA BÚSQUEDA

En este trabajo se propone que el algoritmo se ejecute un número de generaciones especificadas por el usuario hasta que se alcance la mejor solución. Además, con objeto de no perder buenas soluciones se ha incluido el *elitismo* [Goldberg, 1989].

Como puede concluirse, el modelo propuesto permite realizar un proceso de selección de un Presupuesto de Promoción en condiciones de incertidumbre y no linealidad en el comportamiento de las variables.

A modo de resumen, en la Figura VII.4 se muestran todos los pasos anteriormente descritos.

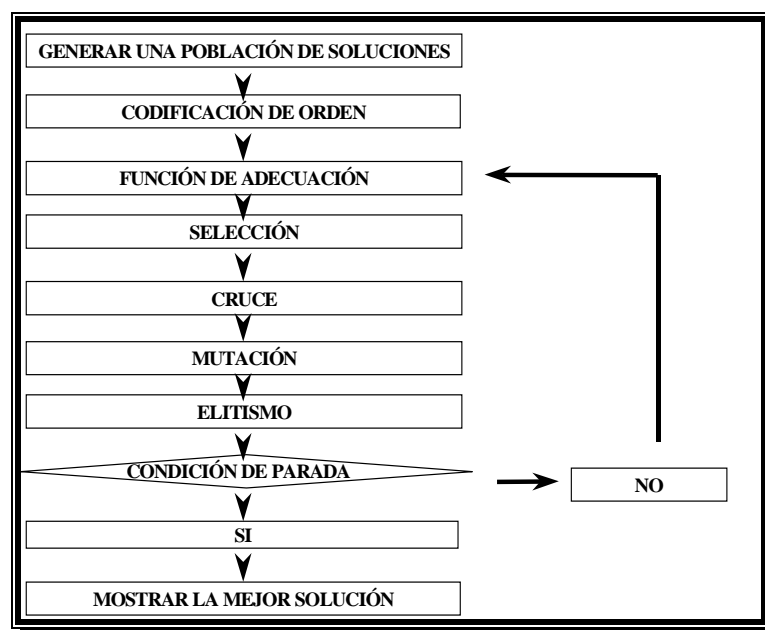


Figura VII.4

VII.6. EJEMPLO DE EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA

En esta sección se presenta un ejemplo que muestra el proceso de establecimiento de un Presupuesto de Promoción por parte de una empresa. Concretamente, el presente apartado se divide en dos, uno que muestra la aplicación del modelo de decisión presentado anteriormente y, otro, que muestra el funcionamiento del Algoritmo Genético desarrollado.

VII.6.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Supóngase que una fábrica de muebles desea establecer un nuevo Presupuesto de Promoción para sus mesas de comedor. El primer paso consiste en determinar que objetivos quiere alcanzar con el mismo y, además, que importancia tiene cada uno de estos objetivos en la campaña de promoción. Así, se podrían tener:

NÚMERO	NOMBRE	IMPORTANCIA (α_j)
1	CONOCIMIENTO	Esencial
2	RECUERDO	Bastante Alto
3	COMPRA	Bastante Alto
4	PREFERENCIA	Muy Alto
5	LEALTAD	Bastante Alto

Para alcanzar estos objetivos, la empresa dispone de un montante de gasto máximo de 10.000 unidades monetarias. Este montante puede gastarse en cualquiera de las herramientas de promoción, pero nunca el importe total del presupuesto puede exceder de esas 10.000 unidades monetarias.

Una vez que se han establecido los objetivos requeridos por la empresa y el nivel máximo de gasto, se han de buscar las herramientas de promoción disponibles en el mercado. Supóngase que se dispone de ocho herramientas que pueden ayudar a la empresa en su nueva campaña.

Número	Nombre	Actividad de Promoción
1	Anuncios de televisión	Publicidad
2	Anuncios de radio	Publicidad
3	Anuncios de prensa	Publicidad
4	Vendedores	Venta personal
5	Descuentos	Promoción de ventas
6	Premios	Promoción de ventas
7	Ferias de muestras	Promoción de ventas
8	Artículo en prensa	Relaciones públicas

Anuncios de televisión	Una inserción	Dos inserciones
Coste	3,000	5,000
Conocimiento	Muy Alto	Esencial
Recuerdo	Alto	Muy Alto
Compra	Medio	Medio
Preferencia	Muy Bajo	Bajo
Lealtad	Medio	Alto

Cuadro VII.3

Anuncios de radio	Una inserción	Dos inserciones	Tres inserciones
Coste	2,000	4,000	6,000
Conocimiento	Muy Bajo	Medio	Muy Alto
Recuerdo	Bajo	Medio	Alto
Compra	Medio	Medio	Medio
Preferencia	Muy Bajo	Bastante Bajo	Bajo
Lealtad	Medio	Medio	Alto

Cuadro VII.4

Anuncios de prensa	Una inserción	Dos inserciones
Coste	4,000	7,000
Conocimiento	Alto	Muy Alto
Recuerdo	Alto	Muy Alto
Compra	Bastante Alto	Bastante Alto
Preferencia	Muy Bajo	Muy Bajo
Lealtad	Medio	Medio

Cuadro VII.5

Vendedores	Uno	Dos
Coste	2,000	4,000
Conocimiento	Bajo	Medio
Recuerdo	Medio	Medio
Compra	Alto	Bastante Alto
Preferencia	Alto	Muy Alto
Lealtad	Bastante Alto	Bastante Alto

Cuadro VII.6

Descuentos	Una campaña	Dos campañas
Coste	1,000	1,800
Conocimiento	Muy Bajo	Medio
Recuerdo	Medio	Alto
Compra	Alto	Alto
Preferencia	Bastante Alto	Bastante Alto
Lealtad	Alto	Bastante Alto

Cuadro VII.7

Para cada una, es necesario encontrar, a través de algún tipo de estudio de los comentados en secciones anteriores, el nivel que tiene en cada objetivo requerido. Este nivel depen-

de del tipo de herramienta y del número de inserciones o repeticiones que se realicen de cada una de ellas.

Los Cuadros VII.3 a VII.10 que siguen a continuación, muestran el coste de los diferentes niveles de inserción de las herramientas, así como los niveles que se alcanzan en los objetivos buscados por la empresa (n_{ij}^n) .

Premios	Una campaña
Coste	10,000
Conocimiento	Alto
Recuerdo	Alto
Compra	Muy Alto
Preferencia	Bajo
Lealtad	Medio

Cuadro VII.8

Feria de muestras	Una campaña	Dos campañas	Tres campañas
Coste	3,000	5,000	7,000
Conocimiento	Muy Bajo	Bastante Bajo	Bastante Bajo
Recuerdo	Muy Bajo	Muy Bajo	Bastante Bajo
Compra	Bastante Alto	Muy Alto	Esencial
Preferencia	Alto	Alto	Alto
Lealtad	Bastante Bajo	Bajo	Medio

Cuadro VII.9

Artículo de prensa	Una inserción
Coste	8,000
Conocimiento	Medio
Recuerdo	Muy Alto
Compra	Alto
Preferencia	Esencial
Lealtad	Muy Alto

Cuadro VII.10

Finalmente, la empresa dispone de toda la información necesaria para establecer su Presupuesto de Promoción.

VII.6.2. MODELO DE DECISIÓN

Sea $S = \{3000, 2000, 0, 2000, 0, 0, 3000, 0\}$ una solución factible al problema anteriormente planteado.

A continuación, se va a aplicar el Modelo de Decisión propuesto en este capítulo, con objeto de obtener una valoración de la solución para los dos criterios.

Criterio 1. Objetivos alcanzados.

Paso 1.

$n_{s,j}^k$	Gasto	Nivel en los objetivos				
		Conocimiento	Recuerdo	Compra	Preferencia	Lealtad
Herramientas						
Anuncio de televisión	3,000	Muy Alto	Alto	Medio	Muy Bajo	Medio
Anuncio de radio	2,000	Muy Bajo	Bajo	Medio	Muy Bajo	Medio
Anuncio de prensa	0	-	-	-	-	-
Vendedores	2,000	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bastante Alto
Descuentos	0	-	-	-	-	-
Premios	0	-	-	-	-	-
Muestras	3,000	Muy Bajo	Muy Bajo	Bastante Alto	Alto	Bastante Bajo
Artículo	0	-	-	-	-	-
MAX		Muy Alto	Alto	Bastante Alto	Alto	Bastante Alto

Paso 2.1.

g_{2j}	Objetivos				
	Conocimiento	Recuerdo	Compra	Preferencia	Lealtad
α_j	Esencial	Bastante	Bastante Alto	Muy Alto	Bastante Alto
t_j	Muy Alto	Alto	Bastante Alto	Alto	Bastante Alto
g_{2j}	Muy Alto	Alto	Bastante Alto	Alto	Bastante Alto

Paso 2.2.

$$Z_s = \phi_q(MA, BA, BA, A, A) = [0, 0.4, 0.4, 0.2, 0](MA, BA, BA, A, A) = BA$$

Con los anteriores pasos se ha obtenido una valoración lingüística (*Bastante Alto*) de los niveles de las herramientas en los objetivos de promoción.

Criterio 2. Coste del Presupuesto de Promoción.

Para obtener una valoración del coste de la solución, únicamente se tiene que sumar las inversiones que se realizan en cada una de las herramientas.

$$\sum_{i=1}^8 S_i = T_s = 3,000 + 2,000 + 0 + 2,000 + 0 + 0 + 3,000 + 0 = 10,000$$

Con esta última operación, se ha obtenido la valoración en coste de la solución. De este modo, se ha obtenido un vector que evalúa a la solución S , (*Bastante Alto; 10.000*).

VII.6.3. APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO LINGÜÍSTICO

En este apartado se muestra el funcionamiento del Algoritmo Genético desarrollado para la selección de Presupuesto de Promoción.

En este sentido, los parámetros empleados en la ejecución del mismo son:

- Número de generaciones: 20
- Número de individuos: 10
- Porcentaje de cruce: 50 %
- Porcentaje de mutación: 35 %

Debe ponerse de manifiesto que la utilización de un porcentaje de mutación tan elevado se debe a la necesidad de incluir nuevos elementos en las cadenas de solución, ya que, en otro caso, sólo se mejoraría con los inicialmente generados. En la Figura VII.5 se muestran los gráficos de evolución del mejor individuo en cada generación. El superior representa el nivel de consecución de objetivos alcanzado por el mejor individuo, mientras que el inferior indica el coste de ese mejor individuo.

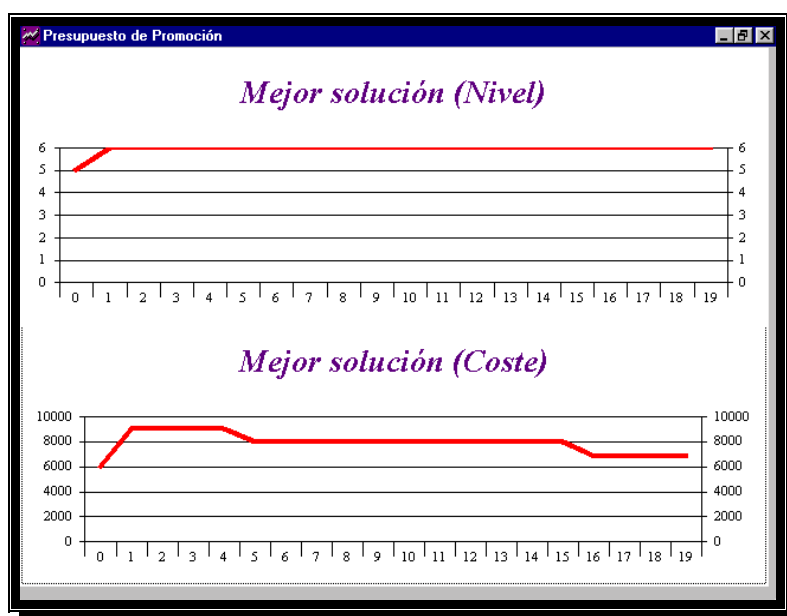


Figura VII.5

En el ejemplo de aplicación práctica, la mejor solución alcanzada fue (Nivel de objetivos: Bastante Alto; Coste: 6.800):

HERRAMIENTA DE PROMOCIÓN	GASTO
Anuncio de televisión	3.000
Anuncio de radio	0
Anuncio de prensa	0
Vendedores	2.000
Descuentos	1.800
Premios	0
Ferias de muestras	0
Artículos en prensa	0

CAPÍTULO VIII. PRESUPUESTO DE DISTRIBUCIÓN

VIII.1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de los productos comercializados por una empresa se realiza, generalmente, en un número limitado de unidades de producción. Sin embargo, en ocasiones, estos productos deben ser entregados a un número muy grande de clientes diseminados en un vasto espacio geográfico. Tal es el caso de las industrias que producen bienes de consumo final (alimentación, droguería, farmacia, electrodomésticos) o ciertos tipos de productos industriales o semi-duraderos (piezas sueltas, ferretería, aparatos eléctricos). Los pedidos suelen ser poco importantes en relación con el volumen de la producción cotidiana. Además, se distribuyen de forma aleatoria en el tiempo, según cantidades que varían de un cliente a otro y, en general, de un pedido a otro del mismo cliente.

Este capítulo se centrará en problemas de establecimiento de presupuestos de distribución de este tipo, lo que excluye los problemas planteados por el tránsito de las mercancías fabricadas por unidades, no en serie y que se transportan directamente de la fábrica al cliente. Hay que señalar, que el concepto mismo de distribución, implica a la vez la idea de tránsito y la de reparto de una masa global (la producción) entre diferentes unidades (los clientes).

VIII.2. FUNDAMENTOS DE LA DISTRIBUCIÓN

La distribución supone la planificación, implementación y control físico de los flujos de materiales y bienes finales, desde los puntos de origen hasta los puntos de utilización, con objeto de satisfacer las necesidades de los consumidores a cambio de un beneficio.

La distribución supone varias actividades previas, tal como se muestra en la Figura VIII.1 [Kotler, 1991a]. La primera es la previsión de ventas, a partir de la cual la empresa planifica la producción y los niveles de existencias. Los planes o presupuestos de producción indican el volumen de materiales que el departamento de compras debe adquirir. Estos materiales llegan a la empresa, entran en un área de recepción y se almacenan y archivan en un

inventario de materias primas. Las materias primas se adquieren para convertirse en productos terminados. El inventario de productos terminados es el nexo de unión entre los pedidos de los clientes y la actividad productiva de la empresa. Los pedidos de los clientes reducen el nivel de las existencias de los productos terminados e incrementan la actividad transformadora de la empresa. Los productos terminados constituyen un flujo de bienes que son fabricados, empaquetados, almacenados, expedidos, transportados y finalmente entregados a los clientes. Las empresas, en la actualidad, se muestran preocupadas por el coste total de la distribución, que supone una cantidad importante sobre el volumen de ventas. Resulta pues un objetivo ineludible para una buena gestión conseguir minorar el importe de dichos costes.

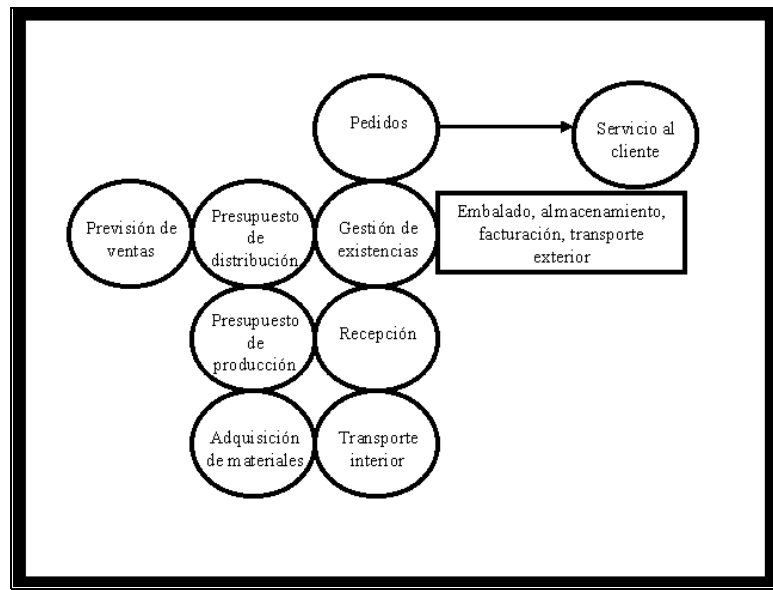


Figura VIII.1

Los principales elementos de los costes de la distribución son el transporte, el control de existencias, el almacenamiento y otros como la recepción de órdenes, el servicio al cliente o la administración. Los expertos en este ámbito de estudio creen que pueden conseguirse ahorros sustanciales en el área de la distribución, por lo que ha sido descrita como “la última frontera para obtener economías en los costes” y “el continente oscuro de la economía”.

La distribución no es sólo un coste, también supone una herramienta potente de la gestión de los clientes. Las empresas pueden atraer a clientes adicionales mediante el ofrecimiento de un mejor servicio a unos precios más bajos conseguidos a través de mejoras en la distribución.

El planteamiento tradicional de la distribución comienza a partir de los bienes en la planta de la empresa, tratando de encontrar soluciones a bajo coste para conseguir ponerlos a disposición del cliente. Otro tipo de planteamiento, más relacionado con las ventas, prefiere el enfoque de la logística que comienza en el mercado y retrocede hasta la empresa. En este capítulo se seguirá el primero de ellos.

VIII.2.1. OBJETIVOS DE LA DISTRIBUCIÓN

Muchas empresas sostienen que el objetivo de la distribución es obtener las mercancías necesarias, llevarlas a los lugares oportunos a su debido tiempo y al coste más bajo posible. Sin embargo, es altamente difícil conseguir un sistema de distribución que pueda, simultáneamente, maximizar el servicio a los clientes y minimizar los costes del mismo. Esto es debido a que minimizar los costes supone un transporte barato, un volumen de existencias reducido y pocos almacenes.

Una empresa no puede conseguir la eficacia en la distribución a base de pedir a cada responsable relacionado con esta actividad que minimice sus costes, ya que los costes de la distribución colisionan entre ellos porque existen intereses contrapuestos. Además, debido a que las actividades de la distribución suponen muchos compromisos, las decisiones deben tomarse desde una perspectiva global.

El punto de partida para diseñar un sistema de distribución consiste en estudiar lo que los consumidores desean y lo que los competidores están ofreciendo. Los clientes están interesados en varios servicios: entrega puntual, que el proveedor atienda sus necesidades urgentes, manipulación cuidadosa de las mercancías, posibilidad de que el proveedor se quede con los productos defectuosos y suministre rápidamente otros en buenas condiciones y posibilidad de que el proveedor gestione las existencias al cliente. Por ello, la empresa ha de investigar la importancia relativa que estos servicios tienen para los clientes.

La empresa debe fijarse en los niveles de servicio de los competidores a la hora de fijar el suyo. Generalmente, deseará ofrecer, como mínimo, el mismo nivel de servicio que sus competidores y deberá fijarse en los costes que puede suponer proporcionar niveles de servicio más altos. El objetivo puede ser maximizar los beneficios y no las ventas. Algunas empresas ofrecen menos servicio pero también cobran un precio menor. Otras, ofrecen más servicio, pero cobran un sobreprecio para cubrir unos costes más altos.

Las empresas, en última instancia, tienen que establecer unos objetivos de distribución para orientar su presupuestación. Así, una vez determinados el conjunto de objetivos para cada servicio, la empresa se encuentra preparada para diseñar un sistema que minimice los costes implicados [Kotler, 1991b]. Cada posible sistema de distribución supone un coste total de distribución expresado por la siguiente ecuación:

$$D = T + FW + VW + S$$

donde:

D es el coste total de la distribución del sistema propuesto,

T es el coste total de transporte del sistema propuesto,

FW es el coste total de almacenamiento del sistema propuesto,

VW es el coste variable total de almacenamiento (incluidas las existencias) del sistema propuesto y S es el coste total de ventas perdidas debido al retraso medio en la entrega, de conformidad con el sistema propuesto.

La elección de un sistema de distribución exige el examen de los costes asociados a los diferentes sistemas propuestos y la selección de aquel que minimice el coste total de distribución. Alternativamente, si S es difícil de medir, la empresa debe tratar de minimizar el coste de distribución expresado por $T + FW + VW$, alcanzando el nivel objetivo de servicio al cliente.

La mayor dificultad se encuentra en la minimización de T , siendo una de las preguntas clave que la empresa debe resolver dentro de este contexto, la siguiente: *¿Cómo deben enviarse los productos a los clientes?*

VIII.2.2. EL PRESUPUESTO DE DISTRIBUCIÓN

De acuerdo con las consideraciones anteriores, parece claro que, entre la producción y el consumo, hay que establecer un Presupuesto de Distribución, el cual debe ser capaz de asegurar, adecuadamente, las operaciones de transporte, de almacenamiento, de fraccionamiento y de abastecimiento que son necesarias para realizar el ajuste de estas dos funciones en el tiempo y en el espacio simultáneamente [Kolb, 1975].

El deseo de aplicar racionalmente los medios de producción lleva a buscar el ritmo más regular posible de fabricación, mientras que la demanda, por el contrario, se haya sujeta a fluctuaciones coyunturales y estacionales a veces muy acusadas. La existencia de un *stock* de productos terminados, que sirve de regulador entre la oferta y la demanda, sólo puede evitarse en el caso de fabricación sobre pedido. En los demás casos, que son mayoría, se necesitan *stocks* a veces muy importantes.

Sin embargo, el papel de los depósitos no se limita a dar resguardo a los *stocks*. Si fuera así, bastaría con constituir para la gama de productos de cada fábrica, un *stock* único a la salida de las cadenas de producción. De hecho, los depósitos desempeñan principalmente el papel de centros de irradiación, ya que, al decrecer los costes de transporte en función de la dimensión de los lotes, en lugar de enviar pequeñas cantidades a cada uno de los clientes, resulta más económico enviar una gran cantidad a un gran almacén próximo a los mismos y luego distribuir desde allí a los clientes las pequeñas cantidades.

Los *stocks* almacenados en depósitos se deben aprovisionar en las cantidades mayores posibles, con el fin de minorar el coste de transporte. Sin embargo, hay un óptimo del que no procede pasar, debido a que no se ha de olvidar el aumento del coste de almacenamiento que suponen estas grandes cantidades.

Según la distribución geográfica de las fábricas y de la clientela, y en función del volumen de los lotes que hay que entregar, puede haber presupuestos de distribución que impliquen varios niveles sucesivos de irradiación, tal como se muestra en la Figura VIII.2. En los casos más complejos, uno o varios depósitos centrales permiten agrupar la producción de las diferentes fábricas; esta producción se envía a continuación a los depósitos regionales, cada uno de los cuales cubre una región de distribución. Sin embargo, cuando un cliente formula pedidos suficientemente importantes, éstos pueden entregarse directamente desde un depósito central o, si resulta más económico, desde las fábricas.

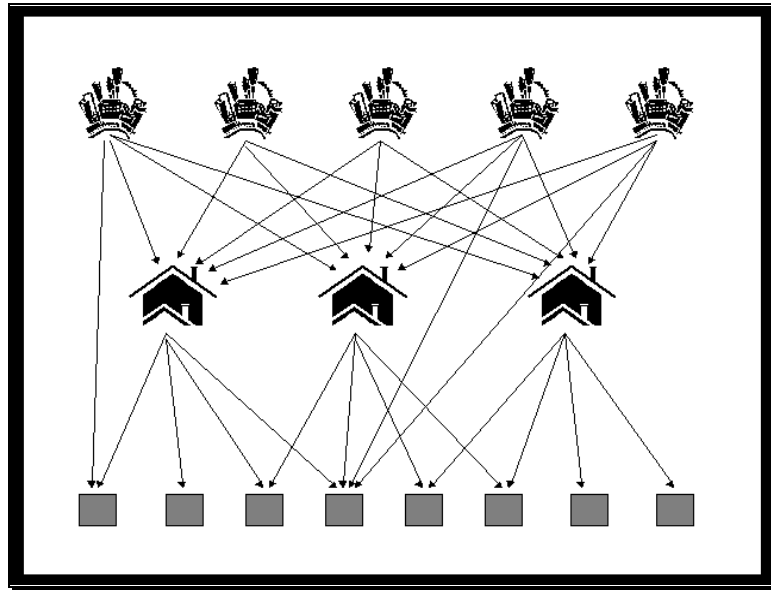


Figura VIII.2

Además, un depósito central puede estar situado en el mismo lugar que una fábrica o incluso desempeñar el papel de depósito de distribución para la región en que esté instalado. Así sucede con frecuencia en regiones que, por la importancia del mercado que representan para muchas empresas, justifican la implantación de un gran depósito regional al que, a veces, resulta rentable añadir un *stock* nacional para aprovisionar desde él una parte o todos los depósitos regionales.

Cualquier estudio que tenga como fin el establecimiento de un Presupuesto de Distribución debe llegar, partiendo de datos relativos a la producción y la demanda, a la determinación de parámetros que caracterizan el sistema de distribución. Estos parámetros se refieren a:

- el número de los sucesivos niveles necesarios de irradiación;
- el número y la localización de los depósitos que figuran en cada nivel;
- las cantidades de cada artículo que hay que almacenar en estos depósitos;
- los flujos de mercancías que circulan entre las fábricas, los depósitos y los clientes, y la regulación de los transportes correspondientes;

- las modalidades de transporte utilizadas para el aprovisionamiento de los depósitos y para las entregas a la clientela.

Asimismo, el estudio debe precisar los procedimientos administrativos de transmisión y tratamiento de la información y las principales reglas de gestión del sistema.

Por tanto, en un intento por diseñar el mejor sistema posible, se habrá de adoptar la solución que se caracterice por un conjunto de valores de los parámetros definidos anteriormente que deberá, en general, hacer mínimo el coste total de distribución, teniendo en cuenta la calidad del servicio que hay que ofrecer al cliente.

VIII.3. INFORMACIÓN NECESARIA Y LIMITACIONES DEL PROBLEMA

La información básica que hay que tener en cuenta en cualquier estudio de un Presupuesto de Distribución se refiere, esencialmente, a la demanda que hay que satisfacer, a la producción que hay que distribuir y a los costes de las operaciones de transporte y depósito. En cuanto a las limitaciones que a veces se imponen, pueden tratarse de una tasa de servicio que hay que respetar o de una limitación de las inversiones realizables [Ballou, 1991].

VIII.3.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Las características de la demanda (importancia de las ventas de cada artículo, volumen de los pedidos, variaciones en el tiempo, distribución geográfica) constituyen, en la mayoría de los casos, el conjunto de parámetros que influye de forma clara sobre la estructura del sistema de distribución. El establecimiento de un Presupuesto de Distribución debe comenzar por un análisis profundo de estas características.

En este sentido, este estudio ya ha sido tratado en capítulos anteriores, por lo que se propone seguir con la propuesta formulada anteriormente. En consecuencia, la demanda se manejará por medio de números borrosos que muestren las necesidades de los diferentes clientes.

VIII.3.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA GLOBAL ENTRE LOS DIFERENTES ARTÍCULOS

En general, no hay una sola demanda, sino varias referidas a cada uno de los diferentes artículos producidos y distribuidos. Conviene precisar, además, que el término demanda suele englobar al conjunto de pedidos de cada artículo, hechos a la empresa por sus clientes.

En consecuencia, cada uno de los artículos poseerá una demanda borrosa para cada cliente que lo solicite.

VIII.3.1.2. VARIACIONES EN EL TIEMPO

La observación de las ventas registradas en el pasado, tanto si ha sido realizada para cada una de las clases de artículos, como si lo ha sido para la demanda global, permite, frecuentemente, poner en evidencia variaciones de bastante envergadura, tanto a corto plazo como a largo plazo. La naturaleza de las variaciones observables depende del período de referencia que se haya escogido. En todo caso se suelen diferenciar varios fenómenos que afectan y actúan sobre la demanda en diferentes escalas de tiempo:

La tendencia. Cuando se trasladan a un gráfico los valores anuales de las ventas, de un grupo de productos, se observa generalmente que los puntos representativos se reparten según una línea de marcha regular: recta, parábola o exponencial. Esta evolución se explica por la acción de factores como el crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida o la difusión de la información. Todos estos factores aumentan el volumen del mercado de algunas categorías de productos o, por el contrario reducen el de otras.

El ciclo. Algunas veces, la tendencia presenta oscilaciones que no tienen nada que ver con el ritmo estacional. Se trata de variaciones cíclicas cuyo período puede ir de algunos meses a varios años. Estos movimientos no se diferencian prácticamente de la evolución general de la tendencia.

Las variaciones estacionales. La tendencia de una serie cronológica compuesta de valores mensuales se modula, a menudo, mediante variaciones que se reproducen regularmente cada año. La actividad del sector de la construcción, por ejemplo, disminuye durante los meses de invierno, mientras que las ventas de combustibles alcanzan su punto máximo en esta estación. Igualmente se observan fluctuaciones periódicas a escala de los días de la semana o de las horas del día. La actividad de un depósito de distribución está particularmente sometida a tales fenómenos.

Las variaciones aleatorias. Las variaciones estacionales no bastan para explicar las desviaciones registradas de un período al siguiente y que afectan a la evolución general de la tendencia. Estas desviaciones tienen un carácter aleatorio, es decir, que parecen ser el resultado únicamente de la acción del azar. Salvo accidente coyuntural grave, como una huelga general o una guerra, que origine tensiones importantes que se hagan notar en el ámbito económico, estas variaciones aleatorias se deben a la acción combinada de un gran número de fenómenos (condiciones atmosféricas, costumbres de los diferentes tipos de clientes, la adversidad que suponen las campañas publicitarias de la competencia, etc.) que actúan con una intensidad relativamente débil y cuyo aislamiento es prácticamente imposible.

El conocimiento de cada uno de los componentes principales de la evolución de la demanda es necesario para proceder al diseño de un sistema de distribución.

Un rápido crecimiento de la demanda obliga a tener en cuenta la evolución de la tendencia para fijar el volumen de los depósitos de la red y de los medios de transporte y manipulación. Sería insuficiente razonar sobre valores actuales, ya que el sistema correría el peligro de estar ya subestimado en el momento de su aplicación.

Mientras que la tendencia condiciona directamente la capacidad media que conviene dar a los elementos del sistema, las variaciones estacionales y aleatorias son la causa de puntas de actividad a las que siempre ha sido difícil encontrar una respuesta a la vez apropiada y económica.

Por consiguiente, la utilización de números borrosos para el establecimiento de la demanda, permitirá reflejar más fielmente la información disponible.

VIII.3.1.3. TAMAÑO Y COMPOSICIÓN DE LOS PEDIDOS

Puede decirse que el tamaño de los pedidos constituye el parámetro que influye, claramente, sobre el Presupuesto de Distribución, tanto en la estructura de la red de depósitos, como en la organización de los transportes de entrega.

En consecuencia, se precisa realizar un análisis del tamaño de los pedidos. El mismo debe determinar no sólo el volumen medio y el peso relativo de un pedido, sino también la evolución de estos dos parámetros. Pero además hay que construir, como en el análisis de la demanda por artículo, un histograma o una curva de frecuencias acumuladas. El primero muestra la distribución de los pedidos según pesos o volúmenes; la segunda permite determinar el porcentaje de pedidos cuyo tamaño es inferior o superior a un valor dado.

La composición de los pedidos desempeña un importante papel en el plano de las manipulaciones necesarias para su preparación y para la carga y descarga de los vehículos. El tiempo de preparación es tanto más largo para un número de pedidos y un tonelaje total dados, cuanto mayor sea el número de tipos diferentes de artículos que impliquen esos pedidos. Finalmente, la posibilidad de formar unidades complejas de carga depende de la cantidad de productos de un mismo tipo que figuran en una expedición.

VIII.3.1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA DEMANDA

Los tres conjuntos de parámetros analizados anteriormente no se presentan, por lo general, de forma rigurosamente idéntica en todas las zonas geográficas que suministra la empresa. Al menos en lo que se refiere al volumen de la demanda, siempre hay disparidad entre zonas, debido a la desigualdad de las densidades de población o de la actividad industrial. Por ello, es necesario realizar un estudio de la demanda sobre la base de un trazado geográfico lo suficientemente “fino” como para reflejar estas disparidades.

Además, la importancia relativa de las regiones puede evolucionar de forma diferente en función del desarrollo de las redes comerciales o al azar de las fusiones que modifican éstas aún más drásticamente.

Por todo lo anterior, el reflejo de la demanda mediante números borrosos permitirá incluir un gran número de posibles situaciones que pueden acontecer en la presupuestación del período de estudio.

VIII.3.2. LA PRODUCCIÓN

Las características de la demanda definen, en gran medida, las “salidas” del sistema de distribución. Se pueden considerar estas salidas como limitaciones impuestas al sistema, en la medida en que el estudio simultáneo de los costes de distribución y de la política comercial no lleva, por ejemplo, a replantarse los canales de distribución.

Por encima del Presupuesto de Distribución se encuentra el presupuesto de producción, siendo los parámetros que influyen en las entradas del sistema de distribución los siguientes:

- la situación geográfica de las fábricas;
- su presupuesto de producción en cada tipo de artículo;
- las variaciones en el ritmo de producción.

VIII.3.2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS FÁBRICAS

Las fábricas de la empresa constituyen los puntos de origen de las mercancías que hay que distribuir. Ciertamente, es más fácil replantearse la localización de un depósito que la de una fábrica, ya que, generalmente, la magnitud de las inversiones es muy distinta, pero no hay que olvidar que este replanteamiento se impondrá a largo plazo. No obstante, es posible considerar que una reorganización de la red de distribución puede hacerse la mayor parte de los casos considerando como dato la situación de las fábricas. En cambio, el desarrollo de la capacidad de producción mediante la creación de nuevas unidades obliga, casi necesariamente, a reconsiderar el Presupuesto de Distribución.

Si el plan de desarrollo de la empresa prevé a medio plazo tal eventualidad, es necesario tenerlo en cuenta al establecer dicho presupuesto. Así, el replanteamiento de la elección de los proveedores exteriores es más fácil si el estudio revela que las ventajas que se obtienen de su colaboración, no permiten compensar los costes de transporte que ocasionan.

VIII.3.2.2. GAMAS DE PRODUCTOS FABRICADOS Y PRESUPUESTOS DE PRODUCCIÓN

Es necesario conocer la naturaleza de los productos que cada fábrica elabora y su presupuesto de producción por artículo. En el Capítulo 4 se formuló un modelo de elaboración de presupuesto de producción. Con él, se consigue obtener las cantidades a producir que maximizan los beneficios de la empresa en función de su demanda.

VIII.3.2.3. PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN DE LAS FÁBRICAS

Las fábricas alimentan el Presupuesto de Distribución. Cada una de ellas tiene un presupuesto de producción, que debe ser regulado en función:

- de la demanda y de sus variaciones en el tiempo;
- de los costes de almacenamiento de los productos acabados;
- de los costes de aprovisionamiento de las materias primas.

Gracias al presupuesto de producción se consigue establecer las unidades a producir que consiguen maximizar los beneficios de la empresa.

VIII.3.3. LOS COSTES DE DISTRIBUCIÓN

Los costes de distribución comprenden:

- los costes de almacenamiento y de preparación de expediciones en el ámbito de:
 - las fábricas,
 - los depósitos centrales y regionales;
- los costes de transporte desde:
 - los depósitos centrales a los regionales,
 - las fábricas a los depósitos centrales, si se da el caso,
 - las fábricas directamente a los clientes.

VIII.3.3.1. COSTES DE ALMACENAMIENTO

En lo que se refiere al almacenamiento propiamente dicho, estos costes se trataron en capítulos anteriores. En este apartado se realizará únicamente la definición de los principales componentes.

El coste de almacenamiento comprende, esencialmente, una cuantía que depende de la cantidad de mercancías que pasan cada día por el depósito y otra, que depende del *stock* máximo que está destinado a permanecer allí. Las operaciones de entrada y salida condicionan la mano de obra y los medios de manipulación que hay que poner en servicio, mientras que las dimensiones del edificio dependen de la cantidad máxima de mercancías que debe almacenarse en él. Sin embargo, el coste de la inmovilización de la mercancía es proporcional a la suma de los *stocks* medios de cada tipo de artículo. Además, se han de determinar las variaciones del coste que se incurre por el paso de una unidad de productos a través de un depósito o un centro de irradiación.

Por otro lado, pueden adoptarse diferentes soluciones, según que la empresa subcontrate completamente la función de almacenamiento o explote, por sí misma, depósitos alquilados o comprados. La función de costes a determinar debe tenerlo en cuenta y permitir la elección de la solución más económica de acuerdo con el volumen de tráfico.

Normalmente, hasta un cierto umbral, la exigüidad del tráfico no hace rentable la adquisición de un depósito propio, siendo preferible arrendar el almacenamiento a un almacenista especializado que, utilizando importantes superficies sin especial adecuación, consigue un precio mucho más bajo. Más allá de este umbral, es preferible la explotación por cuenta propia.

VIII.3.3.2. COSTES DE TRANSPORTE

Dependen del medio de transporte (ferrocarril, carretera, mar, etc.), de la forma de explotación (transporte propio o subcontratado a transportistas públicos), de las rutas que hay que cubrir, y de la naturaleza de las mercancías y de los tonelajes que hay que transportar.

En cuanto al problema del diseño de un sistema de distribución en el ámbito nacional, para productos fabricados en grandes series y comercializados en pequeñas cantidades, la elección se limita esencialmente a dos formas de transporte por las rutas que unen las fábricas y los depósitos: la carretera y el ferrocarril. Salvo raras excepciones, la posterior entrega al cliente se hace por carretera.

En este sentido, hay que asociar a cada una de las líneas de unión fábricas-depósitos y depósitos-clientes una gama de costes correspondiente a las tarifas o a los costes de explotación de las diferentes formas posibles.

En este Memoria se sugiere utilizar números borrosos para representar tanto los costes de almacenamiento como los de transporte, debido a que, en la mayoría de los casos no se conocerá con total precisión su importe.

VIII.3.4. CALIDAD DEL SERVICIO A LOS CLIENTES

En este punto, hay que distinguir entre los plazos de entrega que se deben a los tiempos de tratamiento administrativo y de preparación y despacho de los pedidos y los retrasos suplementarios impuestos por las rupturas de *stock*. Por otro lado, los errores cometidos en la constitución de los lotes a entregar, que afectan también a la calidad del servicio, afectan a la organización y control de las operaciones de tratamiento y de preparación.

El plazo de entrega propiamente dicho es la suma de los tiempos elementales siguientes:

Transmisión del pedido desde el cliente al organismo de tratamiento. Si el pedido se hace por teléfono, este tiempo será mínimo. Sin embargo, pueden pasar varios días si un representante lo anota y espera a volver a casa para “pasarle a limpio” y enviarlo a la central o a un depósito.

Tratamiento propiamente dicho, es decir, control de las informaciones del cliente, facturación previa, edición de los documentos de preparación y de expedición.

Transmisión de estos documentos hasta el lugar de almacenamiento y de expedición, cuando éste no coincida con el lugar donde se ha efectuado el tratamiento administrativo.

Preparación (extracción de los artículos del depósito) y carga de los vehículos.

Transporte de entrega.

La reducción del plazo global de entrega, siempre deseada por los responsables comerciales, requiere una acción sobre uno u otro de estos tiempos elementales (o sobre todos ellos). Respecto a la preparación de los pedidos, la reducción del plazo sólo puede conseguirse mediante un aumento de personal, una racionalización de los procesos y la automatización de los medios utilizados.

La disminución del tiempo de transporte supone un acortamiento de la distancia que hay que cubrir, la supresión de descargas intermedias, o el empleo de un medio más rápido de transporte.

Por lo general, cuando se organiza correctamente la solución de partida, sólo podrá obtenerse una reducción del plazo de entrega con la contrapartida de un aumento sensible de los costes de distribución. En consecuencia, se debe realizar un profundo análisis coste-eficacia. La experiencia demuestra que, en un gran número de casos, un excesivo acortamiento de los plazos, aparte de difícil de realizar, es costoso y a menudo inútil. Por ejemplo, en automóviles, la mayoría de los clientes aceptan un plazo medio regular de siete días. Por el contrario, en algunos casos, como en las campañas de promoción, sería deseable un plazo de respuesta más corto.

Esto conducirá, a menudo, a diferenciar los circuitos y prever procedimientos acelerados en el sistema: comunicación rápida, tratamiento prioritario y entrega directa. Sin embargo, es importante evitar la aplicación general del tratamiento de excepción; éste sólo ha de aplicarse a los casos en los que esté justificado.

VIII.4. VARIABLES DETERMINANTES DE LA DISTRIBUCIÓN

Una vez analizados los datos que caracterizan las entradas y las salidas del estudio de elaboración de un Presupuesto de Distribución, se dispone de los elementos que permiten plantear el problema. Su solución consiste en determinar los parámetros que definen la configuración del Presupuesto de Distribución que conviene elegir [Kolb, 1975].

VIII.4.1. DEPÓSITOS Y CENTROS DE IRRADIACIÓN

Se trata de determinar el número de los sucesivos niveles de irradiación y el de los depósitos que deben figurar a cada nivel y su localización [Gil-Lafuente, 1997].

VIII.4.1.1. NÚMERO DE NIVELES DE IRRADIACIÓN

Frecuentemente, se encuentran uno o dos niveles sucesivos de depósitos entre las unidades de producción y los clientes. Cuando no existe ninguna limitación de tipo comercial, la solución depende, esencialmente, del tonelaje total que hay que distribuir y del tamaño de los lotes que constituyen cada uno de los pedidos. Pero, por razones puramente comerciales, puede resultar necesario disponer de puntos de almacenamiento en contacto directo con la clientela. Las Figuras VIII.3 a VIII.6 muestran algunas combinaciones posibles.

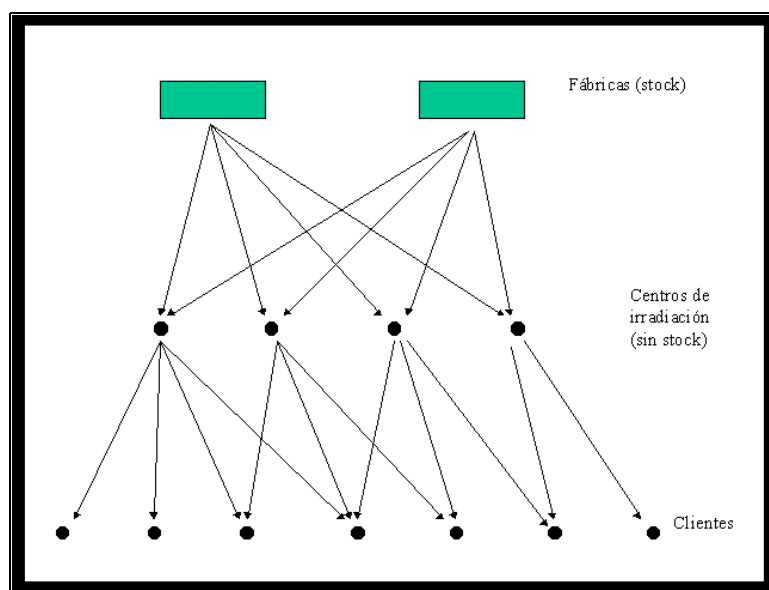


Figura VIII.3

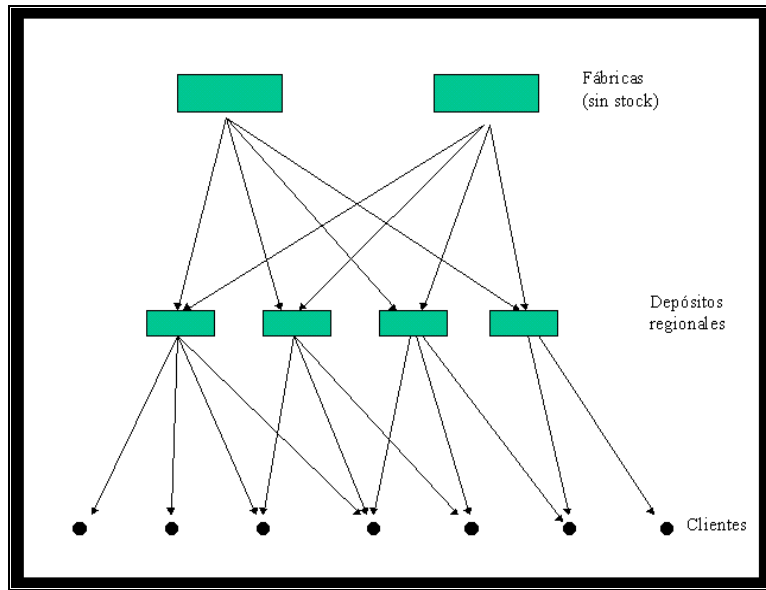


Figura VIII.4

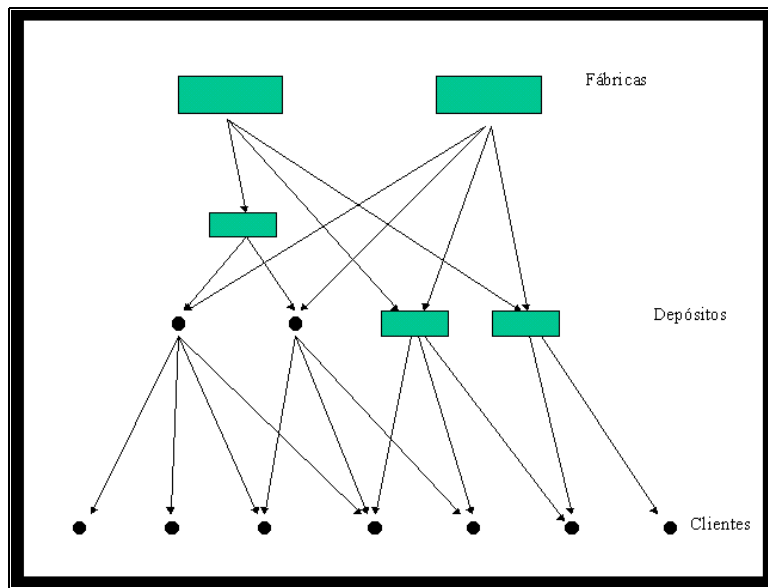


Figura VIII.5

VIII.4.1.2. NÚMERO Y LOCALIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS

En primer lugar, puede tratarse de depósitos en sentido estricto, es decir, que disponen efectivamente de un surtido de productos en stock; o de simples instalaciones (sin stock) de clasificación de las expediciones destinadas a los clientes de una misma región.

En ambos casos, hay que determinar el número de cada uno de ellos que debe figurar en cada nivel de irradiación.

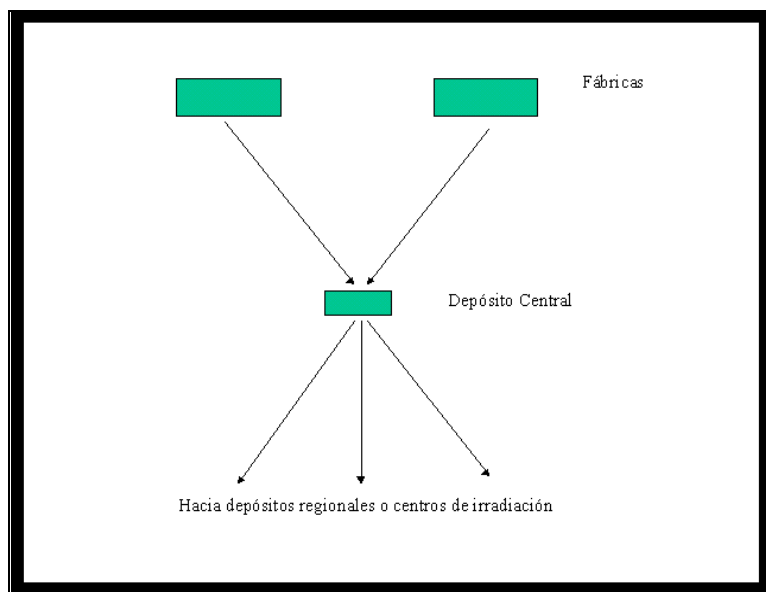


Figura VIII.6

VIII.4.2. VOLUMEN DE LOS STOCKS

Este estudio constituye una de las partes más importantes del establecimiento de un Presupuesto de Distribución. En efecto, no es extraño que una de las repercusiones de la reorganización sea un claro descenso del volumen global de los stocks repartidos por la red.

En consecuencia, se puede suponer que este problema está resuelto, es decir, que se conoce, efectivamente, la relación que existe entre una cierta demanda que hay que satisfacer (caracterizada, entre otros, por su carácter impreciso), el stock de seguridad y el stock activo (cantidad de reaprovisionamiento). Esta relación es necesaria para determinar los costes de almacenamiento, porque permite calcular los volúmenes máximo y medio del stock, conociendo el tonelaje que pasa por un depósito.

VIII.4.3. FLUJOS DE MERCANCÍAS

Hay que determinar cómo se reparten las mercancías sobre cada uno de los arcos de la red (uniones: fábricas-depósitos, depósitos-clientes, fábricas-clientes).

Cada depósito cubre una zona de distribución que hay que definir. Si es el único que sirve a todos los clientes de la zona, su tonelaje será la demanda total, variable según períodos, que debe ser distribuido en esa región. Por otra parte, una vez determinada la política de almacenamiento en los depósitos, los flujos sobre los ejes fábricas-depósitos se obtienen sumando las cantidades económicas de aprovisionamiento de cada artículo almacenado, teniendo en cuenta la frecuencia de los mismos.

Pero no siempre es deseable que todo el tráfico pase por los depósitos regionales. Se debe calcular, para cada zona elemental asignada a un depósito, el umbral de tonelaje por en-

cima del cual resulta preferible el envío directo desde la fábrica o desde el depósito central. Hay que hacer el cálculo para cada configuración posible, comparando:

- por una parte, la suma del coste de transporte hasta el depósito en condiciones económicas, del coste de almacenamiento en este depósito y del coste de entrega;
- por otra parte, el coste del transporte directo en régimen de detallista, al que hay que añadir un aumento del coste de preparación del pedido en el punto de partida.

Como el coste unitario de almacenamiento en un depósito privado está en función del tonelaje tratado, el cálculo debe tener en cuenta que toda reducción de este tráfico lleva consigo un aumento del coste unitario de almacenamiento del tráfico que continúa pasando por allí.

VIII.4.4. FORMAS DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Conociendo los programas de transporte (cantidades y frecuencias) en cada arco de la red, hay que definir, aún, las mejores formas de transporte para conseguir las condiciones más económicas para estos programas. Además, cuando, por ejemplo, se elige el transporte por carretera, éste puede adoptar dos formas totalmente diferentes, según que se decida recurrir a los servicios de transportistas ajenos a la empresa o utilizar vehículos propios.

Respecto a la gestión de los depósitos, se plantea un problema análogo: hay que escoger entre la explotación propia o la subcontratación con almacenistas.

VIII.4.5. ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA

Paralelamente a la concepción de los medios físicos que constituyen el sistema de distribución, hay que presupuestar los medios que deben aplicarse para asegurar la transmisión y el tratamiento de las informaciones necesarias para la explotación del sistema físico. Las dos operaciones, lejos de ser independientes, deben por el contrario, realizarse simultáneamente, porque las posibles estructuras del sistema físico dependen en parte de las posibilidades de control por parte del sistema de gestión. Por ello, es importante tener en cuenta las posibilidades reales de éste, si no se puede cambiar.

VIII.5. GESTIÓN PRESUPUESTARIA DE LA DISTRIBUCIÓN EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

El objetivo del Presupuesto de Distribución es satisfacer, durante el período de estudio, demandas geográficamente distintas de los lugares donde los productos están disponibles. Cabe denominar “fuentes” a estos últimos puntos, pudiendo tratarse de proveedores, de fábricas o de depósitos.

Dados los diferentes medios posibles de transporte (privados o públicos), el Presupuesto de Distribución debe determinar, por tanto:

- en qué proporciones contribuirá cada “fuente” a satisfacer las diferentes demandas;
- la afectación de los medios de transporte disponibles a cada una de estas transferencias;
- la presupuestación correspondiente.

El estudio del Presupuesto de Distribución permite definir las líneas clave de la organización de los transportes desde las fábricas. Dentro de las decisiones de un presupuesto a corto plazo que se encuadran en este ámbito tenemos: la afectación de las disponibilidades en función de la demanda y los circuitos de entrega.

VIII.5.1. AFECTACIÓN DE LAS DISPONIBILIDADES EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA

Se trata de un problema clásico de investigación operativa, que consiste en buscar el coste mínimo de la distribución cuando se aprovisionan puntos de destino en una proporción variable, a partir de diferentes “fuentes” [Anderson et al., 1993], tal como se muestra en la Figura VIII.7.

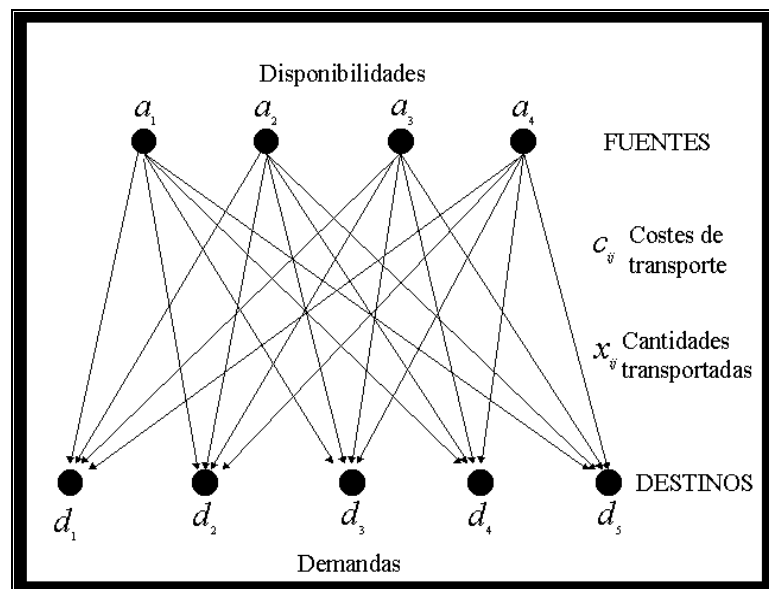


Figura VIII.7

Cuando existen varios puntos origen de transporte a múltiples puntos de destino, además de encontrar las mejores rutas entre ellos, también hay que solucionar el problema de la asignación de destinos a cada punto de origen. Esta situación se da normalmente cuando hay más de un vendedor, fábrica o almacén, para servir a más de un cliente el mismo producto. El

problema tiene una complicación adicional si se impone en los puntos de origen una restricción en cuanto a la cantidad de demanda que puede cubrir. Generalmente, este tipo de problemas se trata a través del método de programación lineal, conocido como método del transporte. Cada “fuente” i (depósito de materias primas, fabrica o depósito regional), dispone de un *stock* a_i ; cada destino (almacén, depósito regional o cliente) pide una cantidad d_j .

Hay que enviar cantidades x_{ij} , de cada “fuente” i , a cada destino j para satisfacer las demandas sin exceder las capacidades de las “fuentes” y de forma que la suma de los costes de transporte $\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$ sea mínima. Este esquema puede complicarse, sensiblemente, introduciendo costes de transporte decrecientes respecto al tonelaje transportado y, si es preciso, un nivel intermedio de irradiación [Gould y Eppen, 1987].

La manera más fácil de reconocer un problema de transporte es por su estructura o naturaleza “de-hacia”, de un origen hacia un destino, de una “fuente” hacia un usuario.

Al enfrentar este tipo de problemas, la intuición dice que debe haber una forma de obtener una solución. Se conocen las “fuentes”, las capacidades, las demandas y los costes de cada ruta; debe existir, pues, una combinación óptima que minimice el coste: la dificultad estriba en el gran número de combinaciones posibles.

Puede formularse un problema de transporte utilizando la programación lineal y aplicando, para su solución, el *Método Simplex*, sin embargo, para estos problemas existe una estrategia general, como se indica en el diagrama de flujo de la Figura VIII.8 [Camm y Evans, 1995].

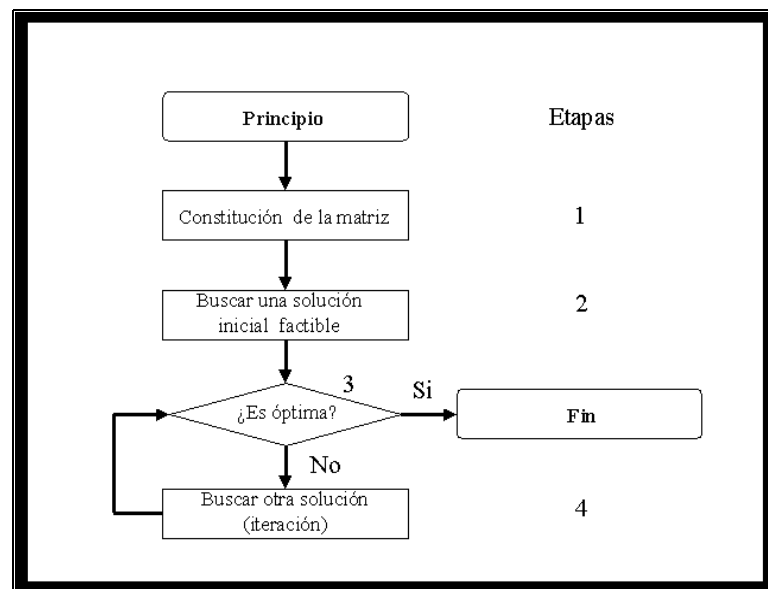


Figura VIII.8

Primero, se construye la matriz de transporte y, además, se encuentra una solución inicial factible que puede ser la óptima o no. La única manera de comprobarlo es efectuar una prueba, para lo cual existen varias técnicas como, por ejemplo, el método de la *Esquina Noroeste* [Charnes y Cooper, 1964] o el método de la aproximación de *Vogel*.

Si la solución no es óptima, se revisa repitiendo la prueba. De este modo, tras cada iteración, la solución alcanzada se aproxima más a la óptima [Hillier y Lieberman, 1980].

Entre los métodos que permiten pasar de una solución a otra se encuentra el *Stepping-Stone* ideado por el matemático americano Dantzig [Dantzig, 1963]. Con él se asegura que al cabo de un número finito de iteraciones se alcanza el mínimo.

Otro grupo de métodos que permiten obtener una buena solución rápidamente, son los heurísticos. También se pueden utilizar para generar la primera solución factible del problema. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

Método de Houthakker. Consiste en saturar, con prioridad, las uniones mutuamente preferibles, es decir, aquellas para las que el coste unitario de transporte es el más pequeño en su fila y en su columna. A partir de ese punto, se puede decidir entre detener el proceso o aplicar después el método del *Stepping-Stone* para llegar a la solución óptima.

Método de Hammer-Balas. Este método consiste en calcular, para cada fila y cada columna, la diferencia entre el coste más pequeño y el inmediatamente superior. A continuación, se acepta la línea (fila o columna) que presenta la mayor diferencia y, en la casilla correspondiente al coste más pequeño, la cantidad que satura la fila o la columna. Se repite el proceso suprimiendo las filas y las columnas saturadas. Este método se basa en la idea del *regret minimal*, que consiste en aceptar con el máximo nivel aquellas uniones origen-destino que, si no fueran adoptadas inicialmente, sería necesario incluirlas más adelante porque tienen unos costes de transporte inferiores.

VIII.5.1.1. EXTENSIONES DEL PROBLEMA DE LA AFECTACIÓN DE DISPONIBILIDADES

Se pueden considerar diversas extensiones de este problema. La primera consiste en tener en cuenta costes que varían escalonadamente en función de las cantidades transportadas. La función objetivo es, entonces, lineal a tramos y la solución del problema depende de algoritmos más complejos.

Otra extensión procede de la introducción de un tercer nivel, compuesto, por ejemplo, de puntos intermedios de reagrupamiento y de irradiación. Este problema surge cuando hay que decidir la elección de centro de irradiación mediante los cuales se da salida a la producción de las diferentes fábricas, con destino a clientes cuya distribución geográfica cambia cada día. Según los desplazamientos de los pedidos que hay que satisfacer diariamente, los puntos de irradiación a elegir pueden, efectivamente, ser diferentes [Turban y Meredith, 1991].

En este caso, el empleo del método Steping-Stone ya no es posible, dependiendo la solución del mismo de otras posibles alternativas.

Además, cuando se envían mercancías desde un mismo origen a varios destinos, se puede suponer que los costes de transporte se modificarán en función de la cercanía o lejanía de estos destinos. Se pueden entender como rutas que parten del origen, que recorren los destinos suministrando las mercancías y, finalmente, regresan al origen. De este modo se estarán suponiendo circuitos de entrega, problemática que se trata en la sección siguiente.

Por último, otro posible elemento de complejidad podría encontrarse en los medios de transporte se que se dispone. Esto es debido a que puede ocurrir que no todos sean iguales, que tengan capacidades y costes de transporte diferentes, etc.

VIII.5.2. ORGANIZACIÓN DE LOS CIRCUITOS DE ENTREGA

Además de establecer las cantidades transportadas desde cada fábrica a cada depósito o cliente, el Presupuesto de Distribución ha de determinar los circuitos que los vehículos han de realizar, constituyendo, frecuentemente, la fase final de las operaciones de distribución y, a veces, la fase inicial del aprovisionamiento [Arbones, 1990]. Se recurre a ellos, en particular, para la entrega de productos de gran consumo (alimentación, droguería, ferretería), de la prensa, del correo, de productos farmacéuticos y, en general, de todas las mercancías distribuidas en pequeñas cantidades a numerosos clientes. De forma semejante, dan lugar a circuitos la recogida de leche, paquetes de muestra y desperdicios.

Centrándose en las entregas, en lo que concierne a los problemas de presupuestación planteados por la fase terminal de la distribución, pueden distinguirse tres categorías, según el horizonte en el que se coloque:

- a largo plazo, se trata de concebir la estructura general del sistema de distribución: número y localización de los depósitos;
- a medio plazo, una vez fijados los depósitos, hay que determinar, en su caso, el parque de vehículos necesario para cubrir la clientela afectada a cada depósito;
- a corto plazo, hay que utilizar lo mejor posible este parque para construir los circuitos de entrega que cubren la clientela.

VIII.5.2.1. PRINCIPIOS GENERALES DE LOS CIRCUITOS

La organización de los circuitos de entrega consiste en determinar, por una parte, la composición del parque de vehículos necesario y, por otra, las reglas de su utilización cotidiana.

Para poder proceder correctamente a la presupuestación, es preciso, ante todo, disponer de informaciones que pueden agruparse en cuatro categorías diferentes:

Estructura de la demanda y sus fluctuaciones. Dada la zona que hay que cubrir, que puede ser tanto una sola aglomeración como una región de muchos kilómetros cuadrados, hay que subdividirla, en primer lugar, en zonas elementales (barrios, municipios, etc.) cuyas dimensiones sean pequeñas con relación a las de la zona global.

Posteriormente, en cada una de estas zonas elementales, hay que determinar la demanda por unidad de tiempo que debe distribuirse allí, así como el número de clientes a los que hay que servir. Todo ello se puede reflejar de una manera más acertada mediante la utilización de números borrosos [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986].

Grafo de las distancias y de los tiempos recorridos. Hay que evaluar, respecto a cada par de puntos que hay que atender, el camino más corto (en distancia y en tiempo) para ir de uno a otro. El resultado puede simbolizarse mediante un grafo (conjunto de puntos y de arcos): cada punto representa una localidad o un cliente; y, cada arco, una distancia o un tiempo de recorrido, tal como se muestra en la Figura VIII.9.

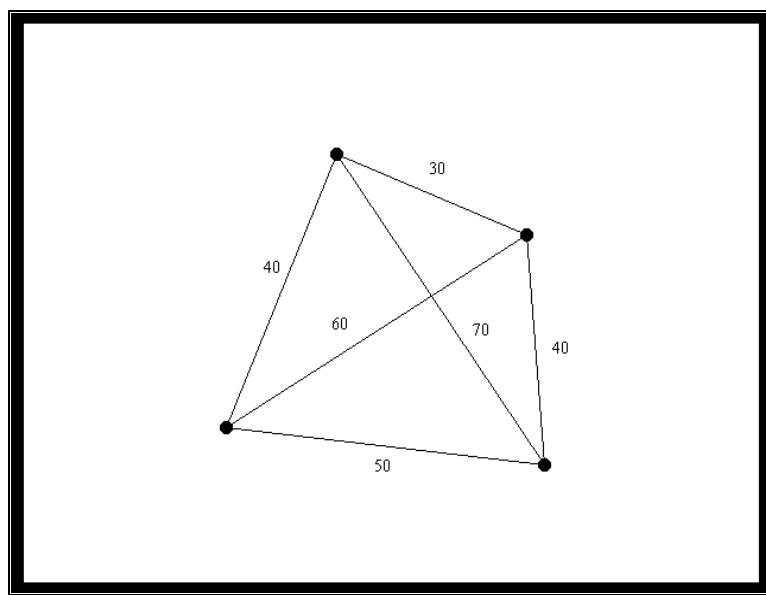


Figura VIII.9

Se debe tener en cuenta, además, que se pueden modificar los valores que figuran en los arcos, por ejemplo, según las estaciones del año (puertos de montaña cerrados, nieblas, etc.). Asimismo, en las grandes aglomeraciones urbanas, en las que las condiciones de circulación del tráfico fluctúan de manera elevada, resulta imposible establecer un grafo con valores precisos de los tiempos de recorrido.

Por ello, la utilización de números borrosos incluirá un gran número de posibles situaciones que pueden acontecer.

Cuantía de los costes de entrega. Los costes que intervienen en el transporte se encuadran dentro de diversas categorías. Así, puede incurrirse en costes fijos, independientes de los kilómetros recorridos, variables proporcionales, progresivos, regresivos u otros. Su cuantificación precisa resulta, en general imposible, por lo que la utilización de números borrosos para tal fin supone una mejor representación de la información que, sobre ellos, se dispone [Kaufmann y Gil-Aluja, 1986].

Métodos de organización de circuitos. Aunque los problemas de organización de circuitos de entrega sean muy frecuentes, la utilización de métodos científicos se encuentra todavía lejos de conocer el desarrollo que justificaría su importancia. Esto es consecuencia, en gran medida, de su misma naturaleza, que hace, frecuentemente, compleja la construcción de un modelo matemático para representar los fenómenos de que se trata.

En esencia, el problema afecta a los circuitos urbanos, debido a que resulta difícil integrar de forma simple en un modelo los azares de la circulación. Los programas matemáticos de optimización de los circuitos de entrega (en el sentido estricto de búsqueda de la mejor solución) son complejos y de difícil solución si es que ésta existe, precisando, casi siempre, el empleo de un computador.

Por ello, los responsables de estos transportes recurren, en la mayoría de los casos, a su conocimiento empírico de los fenómenos para construir “por tanteo” los circuitos. En los problemas de mediana importancia, sin embargo, suele ocurrir que el coste de la solución obtenida no se aleje mucho de la óptima.

En los casos más complejos, la desviación puede ser mayor, y sobre todo, el tiempo necesario para determinar los circuitos según un método puramente manual es, a veces, imposible. Pero, entre un método óptimo y uno de tanteo total, hay sitio para toda una gama de métodos racionales, que llevan generalmente a soluciones cercanas al óptimo, es decir, cuyo coste excede sólo un pequeño porcentaje al de la solución óptima.

VIII.6. ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE DISTRIBUCIÓN EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

Dado que los costes de transporte normalmente representan entre una tercera y dos terceras partes del total de costes logísticos, uno de los principales objetivos debe ser mejorar la eficiencia del mismo a través de una utilización máxima del equipo y del personal empleado en dicha actividad. La cantidad de tiempo que las mercancías están en tránsito se refleja en el número de envíos que se pueden hacer en un vehículo en un período determinado de tiempo y en el coste total de transporte de todos los envíos. Para reducir estos costes y mejorar el servicio al cliente, hay que seleccionar rutas y hacer planificaciones que minimicen el tiempo y la distancia de transporte.

En un intento por globalizar el Presupuesto de Distribución, se han de combinar los dos problemas a los que la empresa se enfrenta a corto plazo, es decir, elegir la ruta de una red de transporte en la que los puntos de origen y destino sean diferentes y obtener la ruta en una red en la que los puntos de origen y destino sean los mismos.

Por otro lado, debido a que la información que se maneja es de tipo previsional y cuyo conocimiento presenta ciertas dosis de imprecisión, se sugiere representarla mediante números borrosos. Así, se conseguirá mostrar el problema de la elaboración de un presupuesto de una manera más realista, proponiéndose para la resolución del mismo la utilización de Algoritmos Genéticos, ya que este planteamiento más global se aleja de las hipótesis exigidas por los métodos tradicionales.

VIII.6.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el Presupuesto de Distribución se pretende suministrar las cantidades demandadas por los clientes desde las fábricas o los almacenes a un coste mínimo. La información necesaria para establecerlo se refiere a las siguientes variables:

Número de clientes y sus demandas. La empresa ha de satisfacer las necesidades de sus clientes, siendo la misma información de tipo previsional. Por ello, se sugiere utilizar números borrosos trapezoidales para representarlas. Así, para n clientes tendremos:

$$\tilde{C} = \{ \tilde{C}_1, \tilde{C}_2, K, \tilde{C}_n \}$$

Número de fábricas y sus producciones. Cada fábrica, tiene un presupuesto de producción establecido para el período en estudio. Por ello, se conoce de manera precisa cuál va a ser la cantidad elaborada de cada producto en el período presupuestario.

$$F = \{ F_1, F_2, K, F_m \}$$

Capacidad del vehículo de cada fábrica. Se supone que cada fábrica dispone de un vehículo para realizar el transporte de sus mercancías a los clientes. El número de viajes que el mismo realice dependerá de su capacidad.

$$V = \{ V_1, V_2, K, V_m \}$$

Coste de transporte del vehículo vacío por unidad de distancia. En algunos casos el vehículo deberá realizar recorridos encontrándose vacío. Esto se deberá a que se tiene que rellenar de nuevo para abastecer a otro cliente, una vez agotado su contenido. Además, en el último viaje el vehículo volverá a su fábrica sin llevar nada. Debido a ello, se ha de conocer cual es el coste de transporte del vehículo vacío por unidad de distancia. Así, por ejemplo, si

la distancia se mide en kilómetros, el coste de transporte será por cada uno de ellos que recorra el vehículo.

$$cv = \{cv_1, cv_2, K, cv_m\}$$

Aumento del coste de transporte por unidad de distancia y por cada unidad de mercancías. Al distribuir cada uno de los productos a los clientes en función de sus necesidades, se aumentan los costes de transporte de los vehículos vacíos. Este aumento se ha de expresar en las unidades de medida de la distancia. Además, la información relativa al mismo no suele ser del todo precisa, por lo que la utilización de los números borrosos trapezoidales permitirá un mejor acercamiento a su representación.

$$\tilde{cv} = \{\tilde{\Delta}cv_1, \tilde{\Delta}cv_2, K, \tilde{\Delta}cv_m\}$$

Distancia entre fábricas y clientes. La distribución se efectúa desde las fábricas a los clientes, siendo necesario conocer la distancia que los separa.

$$D = \left\{ \begin{array}{l} D_{11}, D_{12}, K, D_{1n} \\ D_{21}, D_{22}, K, D_{2n} \\ M \qquad \qquad M \\ D_{m1}, D_{m2}, K, D_{mn} \end{array} \right\}$$

Distancia entre destinos. Si se supone que las mercancías transportadas desde un origen a varios destinos constituyen una ruta, se han de tener en cuenta las distancias que separan dichos destinos, pues determinarán el coste de transporte de la misma. De este modo, se considera que una vez se ha partido de una fábrica se recorren todos los clientes que se abastecen de ella.

$$D' = \left\{ \begin{array}{l} -, D'_{12}, K, D'_{1n} \\ D'_{21}, -, K, D'_{2n} \\ M \qquad \qquad M \\ D'_{n1}, D'_{n2}, K, - \end{array} \right\}$$

En consecuencia, con este planteamiento se consigue acercarse más al planteamiento real de los problemas que se dan en el establecimiento de presupuestos de distribución de las empresas.

Sin embargo, también se puede considerar que para que se ajuste de manera fidedigna a lo que se da, en mayor medida, en las empresas, se tienen que considerar situaciones tales como los ritmos de producción, los ritmos de demanda de los clientes, la distribución de múl-

tiples productos, la posibilidad de incluir depósitos intermedios, etc. Un planteamiento que recogiera todos estos supuestos sería el más acertado, pero quizás representaría un trabajo de demasiada envergadura para constituir un solo capítulo. En consecuencia, en este caso se partirá del planteamiento anteriormente expuesto que, si bien no es perfecto, se acerca más que los tradicionales a lo que ocurre en la empresa.

VIII.6.2. ELECCIÓN DEL PRESUPUESTO DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE UN ALGORITMO GENÉTICO

Para resolver el problema planteado en la sección anterior, se ha de recurrir a alguna herramienta diferente a las tradicionales, debido a que se rompe con las hipótesis de partida de estos métodos. Por ello, se sugiere utilizar un Algoritmo Genético que optimice las rutas de distribución de la empresa en condiciones de imprecisión respecto a la información disponible.

VIII.6.2.1. GENERACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Las soluciones del problema serán un conjunto de rutas de distribución, compuestas por las cantidades a transportar desde cada origen a cada destino, y el orden en el que estos últimos se van a abastecer. Para codificar cada una de ellas de manera que resulte manejable por el algoritmo, se sugiere utilizar dos matrices de $(n \times m)$ elementos, siendo n el número de fábricas y m el número de clientes. La primera de ellas contendrá las cantidades que se envían desde cada origen a cada destino. Mientras, la segunda, recogerá el orden en el que se recorren los clientes que abastece cada fábrica.

De este modo, se consigue abarcar todas las posibles combinaciones de Presupuesto de Distribución que se puedan presentar.

VIII.6.2.2. EVALUACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Con el fin de seleccionar las mejores soluciones, se evalúa cada una en función de los costes que se incurrirían si se lleva a la práctica dicha solución. De este modo, aquellas que tienen menor coste serán las más interesantes para la empresa.

En concreto, para una fábrica, primero se determina el coste de transportar el vehículo de la misma lleno de mercancías al primer destino. Allí, se descarga la cantidad asignada a ese cliente, siguiendo el vehículo en dirección al segundo destino o volviendo al origen si quedara vacío. Una vez que se han recorrido todos los clientes que la solución determina que abastece dicha fábrica, el vehículo regresará vacío al origen, completándose el circuito. La suma de todos los costes de estos transportes y recorridos será una parte del coste de la solución. Su

importe total se obtendrá añadiéndole los costes de la distribución del resto de las fábricas que la solución plantea.

Las soluciones más adecuadas tendrán un menor coste, por ello, la adecuación se puede obtener como la inversa del coste de cada solución.

VIII.6.2.3. PROCESO DE SELECCIÓN

Los individuos que se van a convertir en los padres de la siguiente generación han de ser elegidos por su menor coste de transporte.

Para ello, al calcular la adecuación como la inversa del coste de puede utilizar un *Ranking de Selección con Ruleta* que utilice ésta como indicador de las posibilidades que tiene cada cadena de pasar el proceso de selección.

VIII.6.2.4. OPERADOR DE CRUCE

Para generar mejores soluciones de las que se disponen en cada generación, se deben cruzar las soluciones buenas que hayan sido seleccionadas en el paso anterior. Al tratarse de cadenas complejas, se ha de practicar un cruce que mantenga la factibilidad en los “hijos”. Por ello se diferencian dos tipos de cruce:

Cruce de las matrices de cantidades a distribuir. Para combinar la información de la primera matriz de cada solución, la que indica las cantidades que se llevan desde cada origen a cada destino, se ha optado por un cruce especial que trabaja con las matrices de los “padres”, obteniendo unos “hijos” con características de ambos y que siguen siendo soluciones factibles. El proceso, ilustrado con un ejemplo. es el siguiente:

Si se tienen las dos matrices siguientes seleccionadas para el cruce:

S_1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	15	0	0	70	0	85
Cliente 2	0	40	0	0	0	40
Cliente 3	25	10	40	0	50	125
Cliente 4	0	0	60	0	5	65
Total	40	50	100	70	55	315

S_2	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	0	0	50	0	35	85
Cliente 2	0	40	0	0	0	40
Cliente 3	5	0	50	70	0	125
Cliente 4	35	10	0	0	20	65
Total	40	50	100	70	55	315

A partir de los padres, se crean dos matrices temporales, una que contiene el valor medio en enteros de cada celda para ambas matrices (*MED*), y otra que contiene un 1 en aquellas celdas que se haya tenido que redondear la media (*RED*) [Vignaux y Michalewicz, 1991]. Así, en el ejemplo tendremos:

MED	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	7	0	25	35	17	84
Cliente 2	0	40	0	0	0	40
Cliente 3	15	5	45	35	25	125
Cliente 4	17	5	30	0	12	64
Total	39	50	100	70	54	313

RED	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	1	0	0	0	1	2
Cliente 2	0	0	0	0	0	0
Cliente 3	0	0	0	0	0	0
Cliente 4	1	0	0	0	1	2
Total	2	0	0	0	2	4

La matriz *RED* tiene algunas propiedades interesantes: el número de *unos* en cada fila y en cada columna es par. Es decir, que los valores de las disponibilidades de las fábricas y de las necesidades de los clientes son enteros pares. Por ello, se puede transformar la matriz *RED* en dos matrices *RED1* y *RED2*, tales que:

$$RED = RED1 + RED2,$$

que las disponibilidades de *RED1* y *RED2* para cada fábrica sean iguales y que las necesidades de *RED1* y *RED2* para cada cliente sean iguales.

Así, en el ejemplo, se pueden obtener las dos matrices *RED1* y *RED2* siguientes:

RED 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	1	0	0	0	0	1
Cliente 2	0	0	0	0	0	0
Cliente 3	0	0	0	0	0	0
Cliente 4	0	0	0	0	1	1
Total	1	0	0	0	1	2

RED 2	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	0	0	0	0	1	1
Cliente 2	0	0	0	0	0	0
Cliente 3	0	0	0	0	0	0
Cliente 4	1	0	0	0	0	1
Total	1	0	0	0	1	2

Finalmente, los descendientes de las matrices S_1 y S_2 se obtienen como sigue:

$$S'_1 = MED + RED1$$

$$S'_2 = MED + RED2$$

En el ejemplo, los hijos resultantes del cruce planteado serían:

S'_1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	8	0	25	35	17	85
Cliente 2	0	40	0	0	0	40
Cliente 3	15	5	45	35	25	125
Cliente 4	17	5	30	0	13	65
Total	40	50	100	70	55	315

S'_2	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Fábrica 1	Total
Cliente 1	7	0	25	35	18	85
Cliente 2	0	40	0	0	0	40
Cliente 3	15	5	45	35	25	125
Cliente 4	18	5	30	0	12	65
Total	40	50	100	70	55	315

Por otro lado, además de un cruce en las cantidades transportadas, se practica otro cruce en los circuitos realizados. Así, una vez elegidos dos padres, se selecciona una fábrica y se intercambian los circuitos de distribución de la misma entre ellos.

VIII.6.2.5. OPERADOR DE MUTACIÓN

Para introducir características no incluidas en la población inicialmente generada, se incluye en el algoritmo desarrollado la mutación. Debido a que las soluciones se componen de dos matrices, una con cantidades y otra con circuitos, se diferencian dos mutaciones a practicar en cada una de ellas.

Mutación de las cantidades a distribuir. Para mutar las matrices de las cantidades a distribuir y que sigan siendo soluciones factibles se sugiere emplear el siguiente método:

Paso 1. Se selecciona una fábrica de la solución que va a sufrir la mutación (fábrica 1) y un cliente (cliente 1) de la misma que reciba alguna cantidad de mercancías.

Paso 2. Se genera un número aleatorio entre 0 y esa cantidad.

Paso 3. Se busca, en el resto de fábricas, un cliente (cliente 2) diferente al primero que reciba, de esta última fábrica (fábrica 2), una cantidad mayor a la generada aleatoriamente.

Paso 4. Al cliente 1 en la fábrica 1 y al cliente 2 en la fábrica 2 se les quita la cantidad generada aleatoriamente. A su vez, al cliente 1 en la fábrica 2 y al cliente 2 en la fábrica 1 se les añade la cantidad.

Con los pasos anteriormente descritos se consigue mutar la matriz de cantidades sin que deje de ser una solución factible al problema.

Mutación de los circuitos de distribución. Por otro lado, para mutar las matrices de las rutas que recorren los vehículos de cada fábrica en la distribución, primero se selecciona aleatoriamente una fábrica. Posteriormente se eligen dos clientes de la misma y, finalmente, se intercambian los puestos que ocupaban en el circuito de distribución de la fábrica. Con ello, se consigue modificar la matriz, manteniendo su viabilidad como solución del problema.

VIII.6.2.6. CONDICIÓN DE PARADA EN LA BÚSQUEDA DE LA MEJOR SOLUCIÓN

Se propone que el algoritmo ejecute un número de generaciones a elección del usuario hasta mostrar la mejor solución alcanzada.

Además, con el fin de no perder buenas soluciones se ha introducido la característica denominada *Elitismo* [Goldberg, 1989], proceso consistente en mantener el mejor individuo de una generación en las siguientes hasta que otro no lo supere en adecuación al problema. Este procedimiento evita que se pierda la mejor solución de una generación hasta que no sea sobrepasada por otra superior en adecuación al problema.

Con las características descritas anteriormente, el Algoritmo Genético desarrollado, permite llevar a cabo un proceso de elaboración de presupuestos de distribución en ambientes inciertos y cuando existe no linealidad en el comportamiento de las variables implicadas.

A modo de resumen, en la Figura VIII.10 se muestra una recopilación de todos los pasos descritos anteriormente.

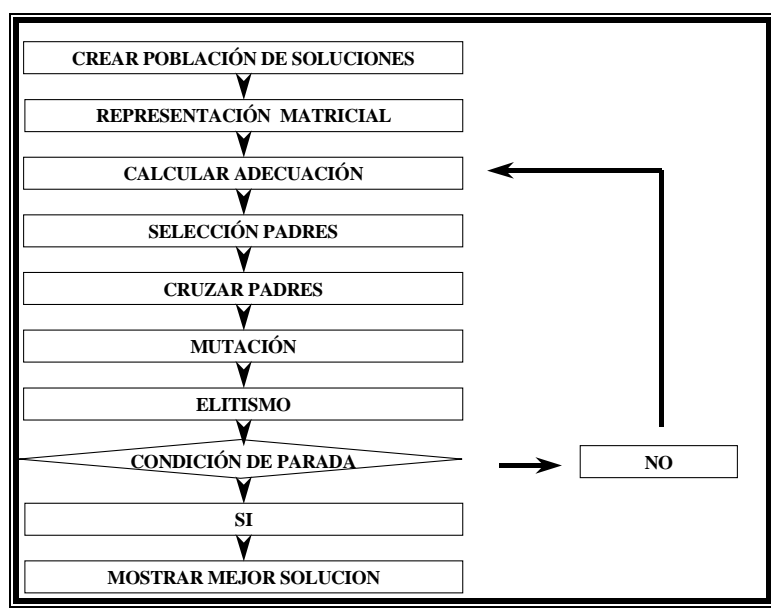


Figura VIII.10

VIII.7. EJEMPLO DE EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA

Con objeto de contrastar el modelo de elaboración del Presupuesto de Distribución, se introdujeron diversos ejemplos. Entre ellos el que se muestra a continuación, que hace referencia al sistema de distribución de una empresa de fabricación de muebles. Con él, se pretende demostrar las posibilidades que se abren con la utilización de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y los Algoritmos Genéticos en la elaboración de un Presupuesto de Distribución.

VIII.7.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una empresa de fabricación de muebles posee cuatro instalaciones en las que elabora, entre otros productos, sillas de madera de roble, que se venden a los clientes, normalmente distribuidores de la zona, en lotes de 5 sillas.

De acuerdo con la información previsional que dispone la empresa, se ha establecido un presupuesto de producción para cada una de las instalaciones, tal como se muestra en el Cuadro VIII.1. Además, en cada fábrica de la empresa se dispone de un vehículo encargado de transportar las mercancías desde los lugares donde se elaboran hasta los almacenes de los clientes, que al ser adquiridos a lo largo de la vida de la empresa, resultan ser todos diferentes.

Debido a ello, cada uno tiene diferente capacidad, diferente coste de transporte por kilómetro recorrido vacío y diferente aumento en el coste de transporte por unidad de mercancía y kilómetro recorrido, tal como se muestra en el Cuadro VIII.1. Éste último, se estima de forma imprecisa por lo que se representa como un número borroso trapezoidal.

Fábrica	Presupuesto de producción (lotes)	Capacidad Vehículo	Coste de transporte por kilómetro vacío	Aumento del coste de transporte por unidad y kilómetro (NBT)
A	1000	500	30	(2; 4; 4; 5)
B	2000	700	20	(4; 5; 5; 6)
C	3000	100	40	(1; 2; 2; 3)
D	1000	200	10	(3; 3; 3; 3)

Cuadro VIII.1

Por otro lado, la empresa abastece a ocho distribuidores diferentes ubicados en distintas localidades de su zona de influencia. Para cada uno, se ha estimado la demanda de sillas de roble que solicitará a la empresa en el período siguiente, siendo representada mediante números borrosos trapezoidales, tal como se muestra en el Cuadro VIII.2.

Para realizar una distribución lo más económica posible, la empresa conoce además las distancias en kilómetros que separan sus cuatro instalaciones de los clientes y también las que separan los clientes entre sí, como se muestran en el Cuadro VIII.3 y Cuadro VIII.4, respectivamente. Todo ello es necesario para encontrar las rutas de distribución que resulten óptimas, es decir, con menor coste.

Cientes	Demandas de lotes de 5 sillas (NBT):
Cliente Uno	(450; 500; 500; 600)
Cliente Dos	(1450; 1500; 1500; 1650)
Cliente Tres	(600; 800; 800; 950)
Cliente Cuatro	(1500; 1600; 1600; 1650)
Cliente Cinco	(600; 600; 600; 600)
Cliente Seis	(450; 500; 500; 550)
Cliente Siete	(950; 100; 100; 1050)
Cliente Ocho	(450; 500; 500; 600)

Cuadro VIII.2

Distancia en kilómetros	Fábrica A	Fábrica B	Fábrica C	Fábrica D
Uno	50	30	60	10
Dos	30	35	40	20
Tres	35	60	10	40
Cuatro	25	40	30	55
Cinco	50	30	60	10
Seis	40	45	15	30
Siete	35	30	20	50
Ocho	70	50	20	30

Cuadro VIII.3

Kilómetros	Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco	Seis	Siete	Ocho
Uno	-	25	35	40	10	20	50	40
Dos	40	-	25	45	30	60	70	20
Tres	25	35	-	30	50	40	30	20
Cuatro	40	45	25	-	40	35	55	25
Cinco	40	35	55	10	-	15	50	20
Seis	20	35	45	50	15	-	35	10
Siete	40	25	65	40	15	25	-	45
Ocho	10	75	65	55	30	60	70	-

Cuadro VIII.4

De acuerdo con la información anterior, la empresa desea saber cual será su Presupuesto de Distribución económico. Para ello, es necesario resolver tres cuestiones:

- ¿qué fábricas abastecerán a los diferentes clientes?,
- ¿en qué cantidad? y
- ¿cuál será la ruta que sigan los vehículos en la distribución de las mercancías?.

VIII.7.2. APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO BORROSO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE DISTRIBUCIÓN

El planteamiento del ejemplo anterior se ajusta a las hipótesis del modelo genético de establecimiento de un Presupuesto de Distribución propuesto en el presente capítulo.

En consecuencia, se ha resuelto el problema del ejemplo, utilizando el Algoritmo Genético desarrollado. En este sentido, los valores de los parámetros empleados en la resolución del anterior caso práctico con el Algoritmo Genético, fueron los siguientes:

- Probabilidad de cruce inicial: 50%
- Probabilidad de cruce final: 50%
- Probabilidad de mutación inicial: 30%
- Probabilidad de mutación final: 20%
- Número de generaciones: 100
- Número de individuos: 10

De acuerdo con los anteriores valores de los parámetros del Algoritmo Genético utilizado y, con la información recogida en el planteamiento del problema, los resultados obtenidos con el modelo propuesto tras las 100 generaciones, tanto para las lotes a distribuir desde cada fábrica a cada cliente, como para los circuitos a realizar en ese proceso de distribución, fueron:

Cantidades	Fábrica A	Fábrica B	Fábrica C	Fábrica D	TOTAL
Uno	11	469	7	13	500
Dos	175	426	882	17	1500
Tres	187	330	256	27	800
Cuatro	510	133	800	157	1600
Cinco	78	224	74	224	600
Seis	19	249	209	23	500
Siete	17	57	592	334	100
Ocho	3	112	180	205	500
TOTAL	1000	2000	3000	1000	7000

Circuitos	Fábrica A	Fábrica B	Fábrica C	Fábrica D
Uno	5°	3°	8°	7°
Dos	2°	2°	3°	5°
Tres	6°	5°	2°	1°
Cuatro	8°	7°	1°	2°
Cinco	3°	8°	5°	4°
Seis	1°	1°	4°	6°
Siete	7°	4°	6°	3°
Ocho	4°	6°	7°	8°

Para este Presupuesto de Distribución, el coste que se estima incurrir en el período analizado es:

Coste borroso de transporte (NBT) = (1.259.475; 1.581.050; 1.581.050; 1.902.625)

Finalmente, como contraste de la efectividad del modelo plantado, en la Figura VIII.11, se muestra la evolución que experimentó el coste esperado en cada generación, pudiendo observarse la tendencia decreciente que el mismo experimenta a medida que pasaron las generaciones.

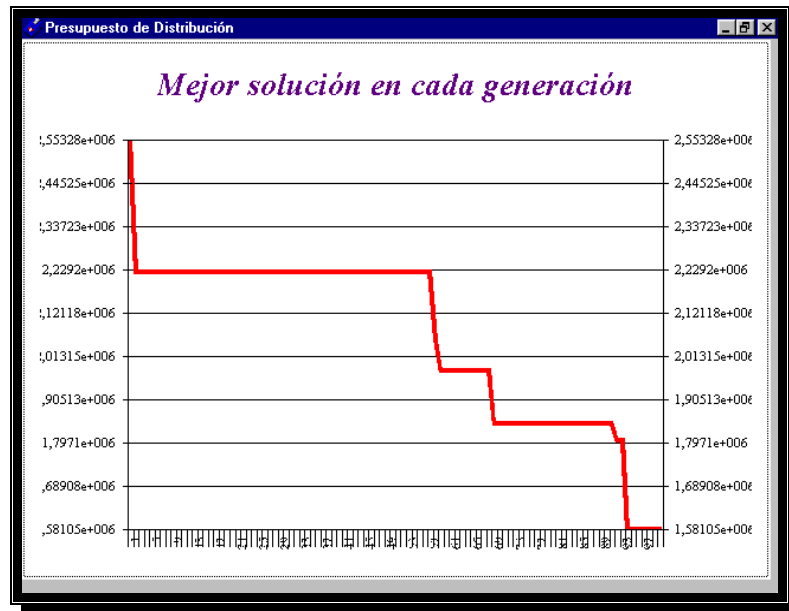


Figura VIII.11

CAPÍTULO IX. PRESUPUESTO DE TESORERÍA

IX.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las ciencias de la gestión permite observar como, con objeto de que la empresa pueda sobrevivir a largo plazo, ésta debe generar una cantidad de ingresos superior a los gastos que permita reemplazar su activo, mejorar las condiciones de trabajo de sus empleados, obtener un rendimiento adecuado para el capital de los accionistas y proporcionar un superávit que contribuya al crecimiento de la empresa en una situación inflacionaria. La supervivencia y el crecimiento a largo plazo dependen, pues, de la generación continua de cierta cantidad de beneficios después de impuestos. Los objetivos a largo plazo o los planes de crecimiento siempre hacen alguna referencia al beneficio. Pero ¿se deduce de ello que el beneficio es el objetivo también a corto plazo?. La respuesta no resulta clara: por una parte, tan necesario es obtener beneficio a corto plazo como a largo plazo, pero, por otra, a corto plazo hay algo más apremiante que la necesidad de obtener beneficio. Lo más importante es, ni más ni menos, seguir funcionando, evitar la quiebra. Por ello, la dirección debe asegurarse al menos que la empresa no entra en quiebra a corto plazo, si desea que ésta viva para recoger los frutos del beneficio a largo plazo.

La quiebra se produce cuando la empresa se queda sin fondos y es incapaz de hacer frente a sus obligaciones de pago a su vencimiento, es decir, cuando los ingresos no son suficientes o no se reciben a tiempo para hacer frente a los pagos. La quiebra representa un caso extremo pero incluso sin llegar a este punto, la empresa puede sufrir una fuerte escasez de fondos y verse forzada a aceptar considerables restricciones a su libertad de movimientos. La falta de fondos no resulta tan desastrosa para la empresa como la insolvencia, aún así, supone también una situación crítica, de ahí que el objetivo de la gestión de tesorería consiste en asegurar la entrada de fondos en cantidad suficiente y a su debido tiempo, para poder hacer frente a sus obligaciones de pago [Cañibano-Calvo y Bueno-Campos, 1978].

No se puede señalar una única causa de mala gestión de tesorería, aunque, sin duda, un factor que muchas veces contribuye a ella se deriva de la exigencia de beneficio a largo plazo.

Dicho factor es la creencia de que el beneficio y la tesorería son, en cierto sentido, la misma cosa; en otras palabras, no parece muy acertada la idea de que el beneficio obtenido por la empresa, se refleja automáticamente en un aumento correspondiente de la cantidad de dinero en efectivo, pues, desgraciadamente, muchas empresas rentables llegan a la suspensión de pagos, mientras que empresas con pérdidas tiene incluso superávit de tesorería.

IX.2. MEDICIÓN Y PREVISIÓN DEL FLUJO DE TESORERÍA

Una vez destacada la importancia de la tesorería, parece lógico el interés por hacer una previsión de los flujos de fondos y tomar las medidas necesarias para controlarlos.

Por otro lado, también resulta evidente la necesidad de que la información financiera se presente de manera adecuada y a su debido tiempo, con el fin de guiar a la dirección en sus decisiones, ya que ha de servir para:

- Proporcionar información sobre los movimientos pasados de fondos.
- Seguir los movimientos actuales de fondos a fin de determinar posibles campos de actuación por parte de la dirección.
- Prever los movimientos futuros de fondos.

IX.2.1. MARCO DEL ANÁLISIS

El marco adecuado para presentar la información sobre tesorería depende, en gran medida, de la información que la dirección necesite para la toma de decisiones. Las necesidades de información de la dirección dependen, a su vez, de elementos clave sobre los cuales la dirección puede ejercer su control.

Por lo tanto, al determinar el marco del análisis, cabe plantearse cuáles son los elementos clave del movimiento de la tesorería que la dirección tiene que controlar.

Cada empresa tiene, evidentemente, sus propios factores críticos que deben ser objeto de seguimiento y control, por lo que el marco de presentación de la información sobre la tesorería debe ajustarse a las características específicas de cada caso.

En principio, cabe destacar dos métodos tradicionales de análisis de la información relativa a la tesorería, a saber:

1. Análisis del libro de caja.
2. Análisis del depósito de fondos.

IX.2.1.1. MÉTODO DE ANÁLISIS DEL LIBRO DE CAJA

Cuando la empresa recibe o paga dinero en efectivo o por medio de cheques, en el curso normal de sus operaciones, cada ingreso o pago tiene un fin específico; por ejemplo, cobro de clientes, pagos en concepto de sueldos y salarios, alquileres, teléfono, etc. El concepto por el cual se recibe o se paga cada cantidad constituye la base de la clasificación contable que, resumida a través del proceso contable, proporciona la información necesaria para los informes de rutina que culminan en la elaboración de la cuenta de pérdidas y ganancias y el balance. El registro básico contable es el libro de caja. Muchos son los conceptos que pueden incluirse en la clasificación contable, aunque para el propósito de la gestión de tesorería no es necesaria una clasificación pormenorizada, basta con indicar los principales grupos que recogen los ingresos y pagos. También importa, además, si el análisis indica en qué grado puede la dirección controlar cada partida de tesorería, bien en su cantidad o en su aspecto temporal. De acuerdo con ello, a continuación se presenta una relación de las principales rúbricas de cobros y pagos.

- Ingresos:

1. De los clientes, por ejemplo, cobros de cuentas a cobrar o de deudores.
2. De ventas al contado.
3. De otras fuentes de naturaleza periódica, como alquileres, intereses, dividendos y derechos de patentes y “royalties”.
4. De carácter no periódico, como desinversiones (venta de activos sobrantes o de inversiones) y de nuevas fuentes de financiación (como préstamos bancarios, empréstitos y nueva emisión de acciones).

- Pagos:

1. A proveedores de materias primas y otros suministros, que comportan una reducción de cuentas a pagar o acreedores.
2. A empleados en concepto de salarios y sueldos, incluidos otros gastos salariales, como contribuciones a la Seguridad Social y a los fondos de pensiones, e impuestos sobre los rendimientos del trabajo personal, deducidos previamente de las remuneraciones.
3. Pagos varios de carácter repetitivo no incluidos en otra rúbrica; su cuantía suele ser muy pequeña y no suele variar, significativamente, de un mes a otro.
4. Pagos periódicos, por ejemplo trimestrales, semestrales o anuales, de servicios públicos o de proveedores de otros servicios, como alquileres, recibos de la luz y de teléfono y tasas (contribución territorial).

5. Pagos de otros impuestos, como el impuesto sobre el beneficio de la empresa y, en su caso, el impuesto sobre el valor añadido.

6. Pagos para gastos de capital, por ejemplo, para adquisición de terrenos, edificios, instalaciones y equipos que constituyan pagos regulares de importante cuantía.

7. Pagos para satisfacer las obligaciones financieras contraídas, tanto de carácter regular (intereses o dividendos), como irregular (amortización de préstamos).

8. Otros pagos de cuantía importante de carácter no periódico o extraordinario, por ejemplo pagos derivados de litigios.

La relación anterior es representativa, pero no tiene carácter exhaustivo, pues pueden existir otras partidas que tengan mayor importancia para una determinada empresa. En la lista se recogen, sin embargo, agrupados en sus principales rúbricas, los flujos de entrada y de salida más importantes. Según se va bajando de rúbrica, se entra en áreas en las que las decisiones de la dirección puede tener una creciente incidencia a corto plazo sobre la tesorería; por ejemplo, la dirección puede hacer muy poco a corto plazo para cambiar el flujo de salida en concepto de sueldos y salarios, pero tiene mayor libertad de acción para determinar la cuantía y la distribución en el tiempo de los gastos de capital.

IX.2.1.2. MÉTODO DE ANÁLISIS DEL DEPÓSITO DE FONDOS

Cuando la empresa agota sus disponibilidades de capital, tal eventualidad podría, en el peor de los casos, conducirla a la quiebra, o al menos forzarla a aceptar importantes limitaciones en su libertad de movimientos. Por esta razón, la dirección debe tomar las medidas necesarias para no agotar sus disponibilidades de capital.

El análisis del depósito de fondos se concentra en aquellas áreas responsables de decisiones que determinen el flujo de fondos. En ello estriba el principal punto de diferencia con el método de análisis del libro de caja, que concentra su atención a través de las clasificaciones de cuentas, en la fuente del flujo de entrada y en el destino del flujo de salida.

En este sentido, cabría considerar como áreas principales en las que las decisiones tomadas tiene repercusión el flujo de tesorería, las siguientes:

1. Decisiones de explotación que culminan en el posible flujo de fondos de las operaciones antes de impuestos.

2. Decisiones sobre gastos de capital:

- Adquisición (compra).
- Disposición (venta).

3. Decisiones sobre existencias:
 - Aumento del nivel de existencias.
 - Reducción del nivel de existencias.
4. Decisiones sobre créditos a clientes:
 - Aumento o ampliación del crédito.
 - Reducción del crédito.
5. Decisiones sobre crédito de proveedores:
 - Aumento o ampliación del crédito.
 - Reducción del crédito.
6. Otras condiciones de crédito aceptadas.
7. Impuestos sobre el beneficio.
8. Obligaciones financieras:
 - Pago de intereses.
 - Pago de dividendos.
 - Amortización del capital prestado.
9. Decisiones de inversión, utilización de fondos temporales sobrantes:
 - Compra.
 - Venta.
10. Decisiones de financiación, adquisición de nuevos fondos:
 - De accionistas.
 - Mediante préstamo.

Una representación gráfica del funcionamiento del sistema del depósito de fondos se muestra en la Figura IX.1 [Hartley, 1984].

IX.2.2. PREVISIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE FONDOS

Hasta aquí, el presente capítulo se ha centrado en el estudio de los métodos de medición del flujo de tesorería en un contexto histórico.

A continuación, se tratarán los principios de medición de los flujos de caja, siendo, también, los dos métodos anteriormente comentados los aplicados tradicionalmente.

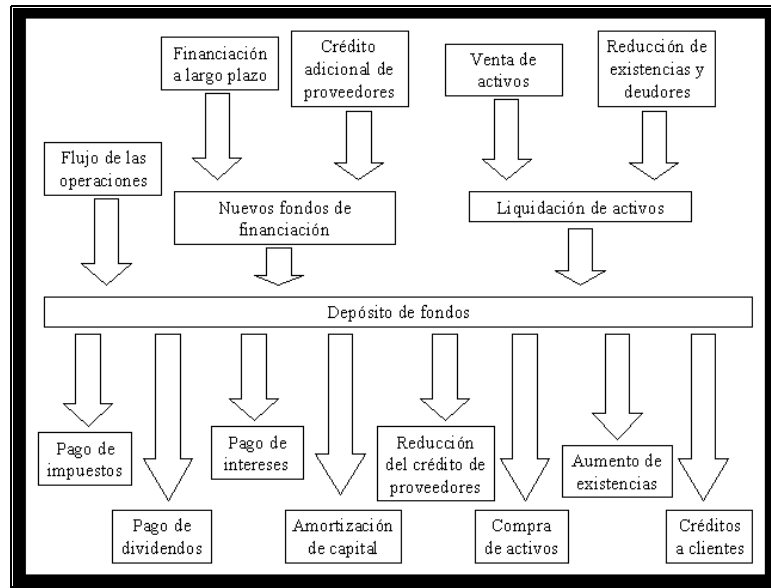


Figura IX.1

Dada la importancia vital que la gestión de tesorería tiene para la empresa, la dirección debe intentar, por todos los medios, hacer una previsión sobre su posible desarrollo en el futuro, como precaución mínima contra el riesgo de quiebra. Esta previsión no resultará totalmente exacta *a posteriori*, pero, en cualquier caso, arrojará la suficiente luz para que la dirección sepa si hay que tomar medidas, cuando deben adoptarse y qué tipo de medidas han de ser para que la empresa pueda evitar una catástrofe o aprovechar una oportunidad financiera. Ello vale para todo tipo de previsiones; una “buena” previsión no es un pronóstico que después demuestre haber sido correcto, sino que debe proporcionar, a medida que se va revelando el futuro, los criterios guía e indicar los momentos adecuados para la toma de medidas por parte de la dirección.

La elaboración de una previsión de tesorería exige mucho tiempo y mucho esfuerzo, por lo que se podría cuestionar si vale la pena hacerla. Se puede responder a esta pregunta, considerando los beneficios que la empresa obtendrá de esta pérdida de tiempo y de esos esfuerzos. He aquí los beneficios que pueden derivarse de un método sistemático de previsión de tesorería:

Evitar la quiebra. Éste es claramente el fin último de cualquier empresa, que debería justificar por sí mismo la elaboración de previsiones de tesorería.

Evitar errores costosos. Sin llegar a la quiebra, muchas empresas sufren las consecuencias financieras del inicio apresurado de operaciones arriesgadas. Una previsión de tesorería podría revelar con anticipación la posible incidencia de tales operaciones en los flujos de fondos. Conociendo las posibles consecuencias por adelantado, todavía habría tiempo de reconsiderar la acción a llevar a cabo o su realización en el tiempo.

Ayudar al control de la dirección. La previsión de tesorería avisará, con tiempo, sobre un inminente problema de tesorería e indicará los pasos que la dirección debe dar para reducir o eliminar sus efectos.

Aumentar la confianza del prestamista. Resulta menos difícil obtener fondos cuando se necesitan, si la dirección puede demostrar que procura dominar la situación mediante la previsión de las posibles necesidades de tesorería, del momento en que deben obtenerse los recursos, durante cuánto tiempo y en qué cuantía. Podría ser demasiado tarde esperar a obtener fondos una vez que han comenzado las dificultades financieras.

Mejorar la utilización del capital. Las previsiones de tesorería no se hacen únicamente para descubrir la falta de fondos o las necesidades de tesorería, sino también para indicar si va a obtenerse superávit de tesorería. En estas condiciones, la dirección puede tomar las medidas adecuadas para utilizar de la mejor manera posible tal excedente.

En esta fase del análisis, debe hacerse hincapié en la dimensión temporal de los flujos de fondos, pues no debe olvidarse que al elaborar la previsión de tesorería no sólo se pretende prever las cantidades, sino también la distribución temporal del flujo. Incluso si todas las cantidades del flujo futuro hubieran sido correctamente previstas, la empresa podría encontrarse en graves dificultades financieras si la previsión de aquellas en su dimensión temporal contuviera graves errores.

La empresa necesita conocer su posible situación de tesorería futura, no sólo a corto, sino también a largo plazo. Sin embargo, en un intento por mantener la problemática previsional del resto del presupuesto de la empresa, el resto del presente capítulo se centrará en el primero de ellos.

IX.2.3. PREVISIONES DE TESORERÍA A CORTO PLAZO

El principal objetivo de las previsiones a corto plazo es el de asegurarse que la empresa pueda pagar sus deudas en un futuro inmediato, por lo que ese tipo de previsiones pretenden orientar a la dirección sobre las medidas de control a corto plazo. Ello exige que las previsiones estén actualizadas y tengan un suficiente nivel de detalle, debiéndose preparar periódicamente para intervalos cortos de tiempo que pueden ir, por ejemplo, de seis a doce meses. Cualquiera de los dos métodos de análisis descritos en este capítulo puede proporcionar un marco adecuado de previsión, aunque suele utilizarse más el método del libro de caja, debido a las siguientes razones:

1. Indica de forma detallada los cobros y pagos reales en efectivo que la dirección tiene que controlar.

2. Proporciona una base más adecuada de comparación con el análisis real del libro de flujos de tesorería.

3. Facilita el conocimiento de algunos de los datos necesarios para el análisis del depósito de fondos.

IX.2.3.1. OBJETO DE LAS PREVISIONES A CORTO PLAZO

Como se ha podido comprobar, la dirección no puede dejar al azar la evolución de los flujos de tesorería de la empresa, sino que debe controlarlos en la medida de lo posible. Para ello, ha de prever la posibilidad de que se produzca un superávit o un déficit de tesorería, cuándo puede producirse, durante cuánto tiempo y en qué cuantía. El objeto inicial de las previsiones de tesorería a corto plazo es el de determinar los saldos de caja y bancos estimados al final de cada etapa de control, por ejemplo, al final de cada mes, a lo largo del siguiente período de planificación, etc. Ello implica hacer una previsión de los flujos de entrada y de salida de cada una de las etapas de control.

El objetivo último de la preparación de las previsiones de tesorería debe ser contar con un medio útil y eficaz que permita a la dirección mejorar el control de los flujos de fondos; en ello radica el valor de tales previsiones. Las medidas a tomar por la dirección dependen del momento y de las circunstancias del mismo, pero siempre deben ir dirigidas a uno o varios de los siguientes fines:

1. Planificar la gestión de los flujos futuros de entrada y de salida, a fin de conseguir al cierre del período de control los saldos más favorables posibles.

2. Tomar las medidas adecuadas (a su debido tiempo) para asegurarse los medios financieros en la medida y en el momento en que éstos sean necesarios para hacer frente al déficit de tesorería previsto.

3. Tomar las medidas adecuadas para asegurar la plena utilización de los superávits de tesorería previstos de la forma más beneficiosa posible para la empresa.

4. Tomar las medidas de control adecuadas para asegurar la estabilidad financiera de la empresa en su situación presente y según se vaya revelando la situación real de los flujos de fondos.

IX.2.3.2. MÉTODOS DE PREVISIÓN

Es difícil indicar el método de previsión a utilizar, ya que la forma en que la actuación de la dirección puede controlar el flujo de tesorería varía según el sector y, dentro de éste, de

empresa a empresa. Las medidas de la dirección a corto plazo van, no obstante, casi siempre dirigidas hacia determinadas partidas de ingresos y de gastos, por lo que en todo caso se recomienda el método de análisis del libro de caja.

Ante todo, debe determinarse el grado de detalle con que han de presentarse los ingresos y pagos. No se trata de hacer una previsión de cobros y de pagos aplicando unas normas subjetivas de detalle, se trata más bien de hacer agrupaciones generales de cobros y pagos que revelen las partidas más significativas y, en especial, aquellas que la dirección puede controlar.

Otra decisión previa que debe tomarse consiste en elegir el horizonte de planificación, es decir, determinar cuánto tiempo debe abarcar la previsión y el número de períodos de control de plazo corto que debe comprender el horizonte de planificación. Éste debe ser lo suficientemente largo como para poder contener en el mismo las partidas anuales importantes de cobros y pagos, así como las fluctuaciones estacionales previstas, ya que un período de tiempo más corto podría dar una imagen distorsionada y poco representativa. Por ello, se sugiere un horizonte de planificación de un año; con este plazo de tiempo, la dirección puede obtener un aviso anticipado de las posibles crisis financieras.

En lo que respecta a la elección de los períodos de control de plazo corto, éstos deben ser realistas y todo lo más adecuados posible. Muchos cobros y pagos se liquidan con una periodicidad mensual, por lo que muchas veces se elige un período de control de un mes. No obstante, hay que asegurarse que el saldo previsto al cierre de caja y de bancos de cada uno de los períodos de control sea en realidad el de cierre; el saldo puede ser muy diferente en distintos momentos dentro del período de control. Por ello, tales períodos no deben ser demasiado largos, ya que, de otro modo, no habría tiempo para reaccionar cuando uno se encuentra en el punto central de la crisis.

En cambio, la razón principal del desglose del plan anual en períodos de control más cortos es conocer el posible desarrollo del flujo de fondos entre los momentos de comienzo y de cierre. Así pues, si la situación financiera es precaria en el futuro inmediato o si es previsible que en el período se produzca una incidencia irregular de los ingresos y pagos durante el mes, tal vez el período mensual de control sea inadecuado. En tal caso puede ser conveniente utilizar períodos de control semanales para, por ejemplo, el primer mes y mensuales para los siguientes. Algunas empresas pueden considerar que, a medida que va transcurriendo el tiempo, no necesitan intervalos tan cortos como al principio, por lo que la previsión de tesorería podría ser la siguiente:

1. Semanal para el primer mes.
2. Mensual para el resto del primer trimestre.
3. Trimestral para el resto del ejercicio.

IX.2.3.3. FRECUENCIA DE LAS PREVISIONES

Aunque el ciclo de planificación sugerido es el de un año, ello no quiere decir que la elaboración de las previsiones de tesorería deba hacerse anualmente. El plan global o presupuesto de una empresa se hace normalmente para un año, posiblemente con una revisión semestral; las previsiones de tesorería forman parte de la elaboración del presupuesto. De esta forma, quedarán reflejadas las consecuencias sobre los flujos de fondos de todas y cada una de las decisiones presupuestarias. No obstante, la situación de tesorería es un aspecto demasiado importante para la empresa para hacerla anual o semestralmente; una vez incorporadas al presupuesto anual, las previsiones de tesorería deben seguir realizándose después independientemente de forma continuada.

En consecuencia, las previsiones de tesorería deben hacerse, si es posible, mensualmente de forma encadenada (o con una frecuencia mayor si así se desea). De esta forma, puede obtenerse muy pronto información sobre las crisis financieras en ciernes, que permita a la dirección la toma de decisiones adecuadas, evitando medidas urgentes en el último momento.

Si las previsiones se hacen con una periodicidad mensual, la comparación de cada mes con los siguientes revelará su grado de acierto o el efecto de las medidas adoptadas por la dirección. Obviamente, si las previsiones posteriores no indican cambios significativos en las cifras de los meses intermedios, hay una buena razón para reducir la frecuencia bimensual o incluso trimestral.

En cualquier caso, es absolutamente necesario seguir durante ese tiempo intermedio los presupuestos sobre la base de los cuales se hizo la previsión, a fin de evitar que se introduzcan cambios imprevistos en el sistema que cojan por sorpresa a la dirección. Cuando se presentan problemas financieros, lo más grave no suele ser la naturaleza del problema en sí, sino la rapidez con la que la dirección puede hacerse cargo de la situación y responder, adecuadamente, a la misma. Y es precisamente aquí donde radica el mayor peligro de reducir el intervalo de las previsiones de fondos.

IX.2.3.4. ANÁLISIS DEL PASADO

Una vez determinados el modelo, la periodicidad y la frecuencia de las previsiones de tesorería hay que realizar los cálculos propiamente dichos. La experiencia facilita, sin duda, la elaboración de las previsiones, pero, generalmente, se parte del análisis del comportamiento de los flujos de fondos en el pasado. El punto de partida para determinar los pormenores y calcular las cifras a insertar en las previsiones de tesorería consiste, pues, en analizar los flujos de fondos históricos.

Se debe puntualizar que las previsiones de tesorería no son una mera extrapolación ciega de los flujos de fondos del pasado, sin embargo, en la elaboración de las previsiones de

tesorería, el análisis de los flujos de fondos históricos proporciona una gran ayuda, por las siguientes razones:

- El comportamiento de la tesorería de una empresa puede enfocarse quizá de una manera que no ha sido posible hasta ahora.
- Puede adquirirse experiencia en la realización del análisis de los flujos de fondos reales, base necesaria para el seguimiento del desarrollo futuro, ya que carecería de sentido elegir una base de previsión para la cual no pudiera proporcionarse posteriormente información real.
- Puede recopilarse, asimismo, información vital sobre la relación de causa-efecto en los flujos de fondos, por ejemplo, el plazo medio de demora en el cobro de clientes.
- Permite determinar el efecto sobre los flujos de fondos de determinadas decisiones de la dirección, por ejemplo, de una decisión sobre aumento de los niveles de existencias.

El que realiza la previsión debe conocer todos esos detalles cuando proceda a su ejecución; si estos datos son ya conocidos, la necesidad del análisis de los flujos de fondos pasados es, por supuesto, menos evidente.

IX.2.3.5. REGISTRO DE ACONTECIMIENTOS IMPORTANTES

Si para preparar la previsión se considera necesario hacer un análisis de los flujos de fondos históricos, el problema de la determinación de las relaciones causa-efecto resulta más fácil si se dispone de un registro de los acontecimientos más relevantes. Factores a registrar que tienen una considerable incidencia sobre la tesorería son los sucesos externos importantes, tales como vacaciones anuales y fiestas oficiales, huelgas, imposición de controles por parte de la Administración; o acontecimientos internos, tales como la introducción de turnos de trabajo, cumplimiento de un gran pedido de exportación, etc.

Este registro debe utilizarse en un principio para facilitar el análisis de los flujos de fondos históricos. Un registro o pago aparentemente inexplicable o un cambio súbito en la tesorería que hasta entonces había mantenido una pauta regular, puede ser fácilmente explicable por el efecto de uno o varios de estos hechos. Una vez conocido el resultado de estos acontecimientos, ello facilitará, sobremanera, la inclusión en las siguientes previsiones del efecto de hechos parecidos. Si se ha conseguido determinar el efecto de acontecimientos impredecibles del pasado, tales como una huelga, ello proporcionará una información valiosa para la toma de decisiones por parte de la dirección, en caso de que sucediera un acontecimiento similar en el futuro.

IX.2.3.6. SUPUESTOS DE LA PREVISIÓN

Pocos directivos tienen el sentido de la clarividencia, por lo que la previsión no es algo dado para ellos. En realidad, la previsión no es otra cosa que la creencia de uno en el porvenir, basada en ciertas presunciones sobre acontecimientos futuros. Si las presunciones son incorrectas, la previsión tampoco puede ser correcta. Por ello, es necesario establecer formalmente los supuestos que alerten a la dirección con la mayor antelación posible de las dificultades financieras inminentes.

De la misma forma que el registro de acontecimientos es un elemento esencial de análisis del pasado, debería llevarse un registro similar de los supuestos más importantes que se han tenido en cuenta al hacer la previsión. Los supuestos deben referirse, tanto al acaecimiento del suceso clave, como al momento en que se produce, aspecto este último con frecuencia más importante que el primero. El registro de los supuestos de la previsión se parece mucho al registro de acontecimientos.

IX.2.3.7. FIABILIDAD DE LAS PREVISIONES

Si se quiere ser sincero, lo único que puede decirse con certeza de una previsión es que no se cumplirá exactamente en la realidad. Pero este hecho incontestable no debe quitar valor a las previsiones; una previsión que resulta ser incorrecta no es necesariamente por ello una mala previsión. Debe recordarse que el objetivo último de las previsiones es el de dirigir eficazmente la actuación de la dirección para mejorar el control de los flujos de fondos. Por ello, una buena previsión no es aquella que demuestra ser correcta, sino aquella que, a medida que el futuro va revelándose y comienzan a aparecer desviaciones con respecto a lo previsto, proporciona una base válida para dirigir la actuación de la dirección.

De hecho, en toda previsión de tesorería se dan varios grados de fiabilidad, ya que, en su preparación, intervienen los siguientes componentes:

1. Previsiones basadas en hechos recientes conocidos, por ejemplo, el cobro del primer mes de ventas realizadas o los pagos de compras; o en hechos futuros conocidos, como el pago de impuestos o los ingresos de intereses devengados de préstamos.

2. El efecto de las decisiones conocidas a tomar por la dirección en el presente o en el futuro en las áreas de decisión que constituyen los principales factores determinantes de los flujos de fondos.

3. Conocimiento de las pautas de conducta y de las relaciones causa-efecto obtenidas del análisis de los hechos pasados.

4. Presunciones críticas en cuanto a la incidencia y producción en el tiempo de futuros hechos y sucesos.

Es evidente que las previsiones más próximas en el tiempo deben tener un grado de fiabilidad más alto, por su cercanía y, por consiguiente, menor nivel de incertidumbre; las últimas, sin embargo, tendrán un grado mayor de incertidumbre, por lo que sólo pueden utilizarse como indicadores generales. No obstante, esta distinta calidad de la información se adapta bien a las necesidades de la dirección, ya que en el futuro más inmediato, cuando la dirección no tiene apenas tiempo para tomar decisiones, se necesita una información más exacta. Cuanto más lejano está el futuro, menos imperiosa es la necesidad de la dirección de actuar rápidamente, por lo que tampoco se exige el mismo grado de precisión en la información.

Así pues, puede admitirse un cierto grado de inseguridad en las previsiones que no les priva de valor, siempre que la dirección acepte este grado de inseguridad y obre en consecuencia al tomar decisiones.

IX.2.3.8. PLAN DE ACTUACIÓN DE LA DIRECCIÓN

Una vez hecha, la previsión puede revelar una situación de tesorería totalmente inaceptable para la dirección, durante un tiempo determinado del siguiente período de planificación. Un ejemplo de esta situación se da en las representaciones gráficas del movimiento de los saldos de caja que se muestran en la Figura IX.2. Si las líneas discontinuas representan el déficit máximo de tesorería que permiten los actuales créditos bancarios, la situación del gráfico *B* es aceptable, mientras que la del gráfico *A* no la es. Para evitar que se produzca esta situación inaceptable, la dirección debe reconsiderar algunas de las decisiones que sirvieron de base a la previsión y elaborar planes de actuación futura que adelanten determinados ingresos y retrasen determinados pagos, en cuantía suficiente como para permitir reestructurar la previsión y lograr un nivel aceptable de flujos de fondos futuros. Los planes de actuación de que dispone la dirección, en estos casos, son en principio similares a las medidas que deberían tomarse para equilibrar una posición real de tesorería negativa en las circunstancias actuales [López-Martínez, 1987].

IX.3. GESTIÓN PRESUPUESTARIA DE LA TESORERÍA

La dirección de la empresa debe abogar por la minimización de las inversiones en capital circulante incluyendo la propia de la liquidez ociosa. De hecho, se presentan tres problemas principales: primero, no mantener saldos de liquidez ociosos, es decir, produciendo una rentabilidad por debajo de una alternativa mejor conseguible; segundo, no financiar descubiertos a tasas más altas que otras posibles; y tercero, evitar que de forma simultánea se esté utilizando una línea de financiación a tipo alto y se tengan recursos excedentes a tipos menores.

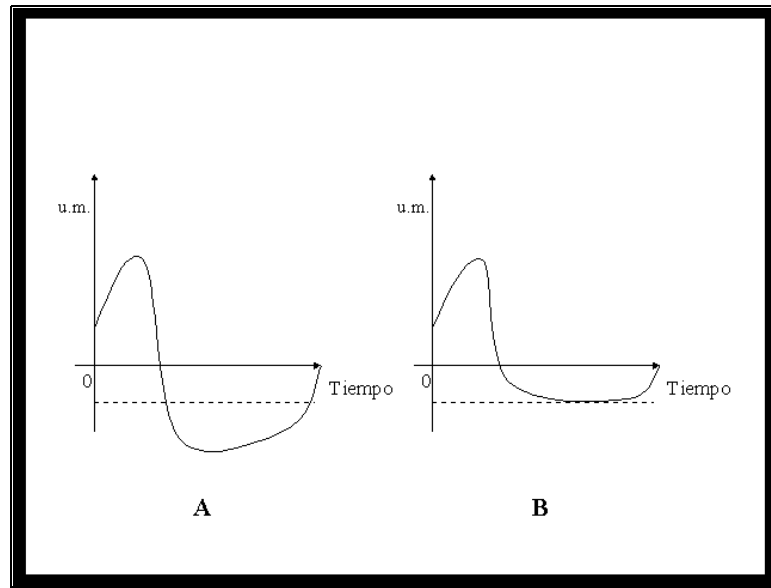


Figura IX.2

En la Figura IX.3 se ilustra un sistema típico de gestión presupuestaria de tesorería [López-González, 1992b]. Diariamente pueden tener lugar flujos monetarios positivos y negativos. En cuanto a los primeros, pueden servir para cubrir los segundos cuando estos se produzcan, pero puede existir un período de tiempo entre unos y otros en el cual sería absurdo mantener saldos de caja ociosos, tal como se mencionó anteriormente. En este sistema hay dos costes relevantes a considerar:

1. El coste de oportunidad por mantener valores en efectivo en lugar de tenerlos en la cartera de valores.
2. El coste de transacción que ocurre al mudar valores de la cartera a la caja o viceversa y que están relacionados con las comisiones percibidas por el agente o corredor que, en último término, realiza la operación de compraventa.

En consecuencia, la gestión presupuestaria de la tesorería supone la resolución de dos cuestiones interdependientes: la fijación del nivel óptimo de liquidez y la determinación de la periodicidad y montante de las transferencias entre la caja y la cartera de inversiones.

Históricamente, la posición de liquidez se ha mantenido en cuentas bancarias a la vista, siendo controlada mediante anotaciones contables, más o menos puntuales, y tratando de equilibrarla con el recurso del descuento de efectos, según se acercaban los pagos previstos.

Además, se ha tendido a mantener saldos ociosos para evitar quedar en descubierto, lo que significa peligro de impagar un cheque o una letra, que podría acarrear una acción ejecutiva, aparte del desprestigio de la empresa. En el mejor de los casos, el banco puede atender el pago por la empresa, pero siempre con el cobro de intereses elevados.

Por ello, la empresa debe realizar un Presupuesto de Tesorería que le permita planificar los flujos de fondos que acaecerán en el futuro y manejar de manera eficiente las situaciones de posible déficit o superávit que se puedan dar en el futuro.

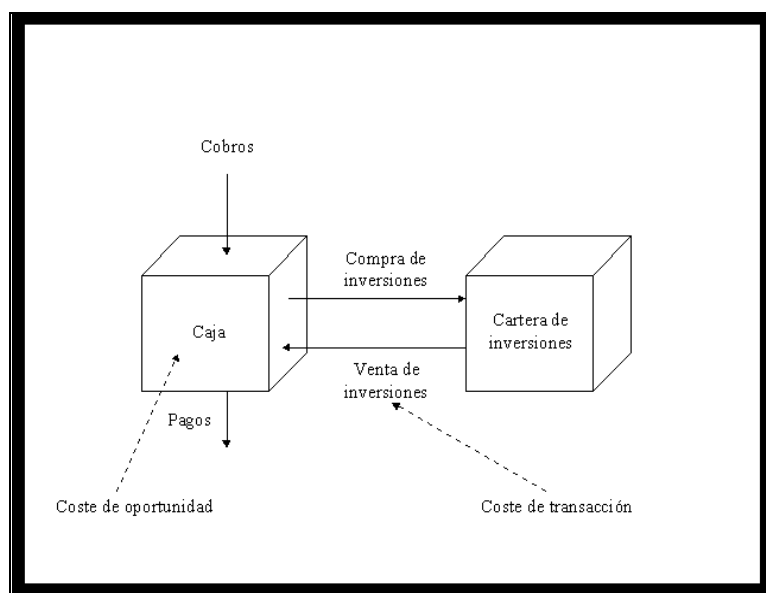


Figura IX.3

IX.3.1. PRESUPUESTO DE TESORERÍA

La optimización de la gestión de la tesorería exige cierta anticipación. Sin ella resulta prácticamente imposible llevar una gestión racional de la posición.

Por tanto, se debe conseguir que la empresa sea quien controle su tesorería y no que se deje llevar por ella, actuando sólo en los momentos de urgencia.

La dirección debe mantener siempre una estimación tanto de lo que van a ser sus cobros y pagos venideros, como de sus necesidades o excedentes de tesorería a un horizonte temporal de un año.

Más allá de un año se entra en el campo de la planificación financiera a largo plazo, cuyo estudio, como se apuntó anteriormente, queda fuera del ámbito de este trabajo.

Por otro lado, el horizonte anual es conveniente distribuirlo en cuatro tramos:

- La proyección de la situación actual, que puede abarcar un máximo de 7 a 10 días.
- La previsión a corto plazo, que abarca los próximos 30 días.
- La previsión a medio plazo, que abarca los próximos 3 a 6 meses.
- El presupuesto, que suele abarcar un año.

IX.3.1.1. PROYECCIÓN DE LA POSICIÓN

Lo primero que interesa conocer es cuál es la actual posición de la empresa, en valor, en cada banco, como consecuencia de las operaciones que ha registrado, e incluso de las órdenes de pago, cheques y remesas que ha realizado y que pueden no estar registradas aún por el banco.

Esa posición en valor toma una forma de proyección, ya que no es un saldo estático a hoy, sino que se proyecta en los próximos 5 ó 10 días.

Con este sistema de control de la posición, se ha de permitir a la empresa disponer de este dato diariamente, a ser posible, en tiempo real.

IX.3.1.2. PREVISIONES A CORTO PLAZO

Se ha de disponer del máximo de datos concretos y conocidos sobre:

- Los vencimientos de las reposiciones de clientes.
- Los vencimientos de los pagos a proveedores.
- La estimación de los cobros y pagos al contado.
- Los cargos por servicios y suministros.
- La nómina.
- Los ingresos y desembolsos financieros.

Con ello, se trata de hacer una previsión día a día, a 30 días, de los mismos para:

- Decidir en qué banco ubicar los cobros y los pagos que sean desplazables.
- Ver qué necesidades o excedentes globales se tendrán y tomar decisiones de financiación o inversión a corto plazo.

Además de la previsión global a 30 días, se puede hacer un volcado de la misma a nivel de banco, a su sistema de control de la posición, consiguiendo una proyección del saldo en valor de cada banco a 30 días vista.

La previsión a corto puede revisarse diariamente y, como mínimo, una vez al mes, hacia el 20 ó 25, debe plantearse la previsión para el mes siguiente.

IX.3.1.3. PREVISIÓN A MEDIO PLAZO

Con los mismos conceptos de la previsión a corto, se trata de ampliar el plazo de previsión, al máximo plazo para el que se pueda disponer de datos fiables con relación a cobros

y, sobre a todo, a pagos. Este plazo viene dado, principalmente, por nuestras condiciones de compra y de venta. Es decir, si se compra y se vende a 90 días, se ha de poder prever nuestros cobros y pagos a 3 meses con un alto grado de aproximación.

Hay que recurrir a las mismas fuentes de información que en la previsión a corto, pidiéndoles un esfuerzo suplementario. Cuanto más se aleje en el tiempo, mayor margen de desviación se ha de admitir.

Aparte del desglose del saldo de cuentas a cobrar y a pagar por vencimientos, es muy útil analizar los albaranes pendientes de contabilizar, los pedidos pendientes de servir a los clientes o de recibir de proveedores y las ventas previstas a corto plazo, convirtiéndolo, todo ello, en cobros o pagos previsibles.

Las necesidades o excedentes globales que apunte la previsión a medio plazo para los próximos meses van a permitir realizar, sin prisas, las gestiones financieras y bancarias necesarias para cubrirlos, en la persecución del objetivo saldo ocioso cero.

Normalmente, las gestiones bancarias que se realicen, a este nivel, se enmarcan en la política definida anualmente, a partir de los datos del presupuesto anual.

La previsión a medio se revisa al menos una vez al mes, coincidiendo, normalmente, con la revisión de la previsión a corto.

IX.3.1.4. PRESUPUESTO DE TESORERÍA

Así como los tres anteriores tramos entran de lleno en las funciones de tesorería, y son de uso casi exclusivo de dicho departamento, el presupuesto anual de tesorería debe enclavarse en los presupuestos globales de la compañía y ser coherente con los mismos. Por ello, debe realizarse en colaboración con el departamento responsable de los mismos.

Hasta ahora, se ha hablado de previsiones, sin embargo a partir de este punto se hablará de presupuesto. Ello se debe a que en este ámbito se juega con supuestos, con objetivos, con metas; y menos con datos ciertos y reales, como debe ser en el ámbito más próximo de las previsiones.

El formato y los conceptos utilizados en el presupuesto anual pueden ser los mismos que los utilizados en las previsiones. Suele realizarse en los meses finales del año anterior al que se está presupuestando y, al menos, se debe revisar una vez.

La mayor utilidad del presupuesto anual le viene dada por dos vías:

- La anticipación a los posibles desajustes del fondo de maniobra, como consecuencia de una política de circulante inadecuada o de problemas de capitalización.

- La evaluación de las necesidades de financiación bancaria en el período, que permite negociar con datos el marco anual de las relaciones bancarias.

IX.3.2. GESTIÓN DEL DÉFICIT DE TESORERÍA

La existencia o la previsión anticipada de un déficit de tesorería no implica, necesariamente, la búsqueda de fuentes de financiación externas a la empresa. La primera respuesta de la dirección debe ser intentar eliminar o reducir el déficit mediante un mejor control interno de las áreas que determinan el depósito de fondos, buscando aquella medida que consiga eliminar el déficit a un menor coste para la empresa. Las medidas de carácter interno adoptadas por la dirección tal vez resulten considerablemente más baratas que recurrir a una fuente externa; ésta sólo debería considerarse como una operación provisional hasta encontrar una fuente de financiación interna.

Cuando hay déficit, su magnitud, duración y la antelación con que se prevea serán factores críticos en la selección de las medidas que debe adoptar la dirección, siendo las partidas sobre las que actuar las siguientes:

Cobros a clientes. La cantidad a cobrar está en función de las ventas facturadas y del plazo de cobro, dejando aparte el factor del volumen de ventas. Para acortar el plazo de cobro, se deben analizar minuciosamente todas las actividades administrativas relacionadas con la facturación, presentación de los estados de cuentas y otras peticiones a clientes.

En términos generales, debe evitarse utilizar los descuentos por pronto pago para adelantar el cobro en efectivo, ya que el costo de tal medida podría ser considerable.

Además, no se puede estar seguro de que algunos clientes poco escrupulosos no se beneficiarán del descuento y prolongarán al mismo tiempo el plazo de pago.

Alquileres e intereses recibidos. En principio, es posible que puedan renegociarse las condiciones de forma que tengan un efecto acelerador en los flujos de entrada, bien sea adelantando el cobro o aumentando la frecuencia de los mismos.

Venta de activos. Sin que ello suponga la reducción a gran escala de la actividad, la dirección debe revisar la actual distribución de fondos en activos fijos, existencias y depósitos a corto plazo.

Pagos a proveedores. En algunos casos se puede renegociar la ampliación del plazo de crédito. También pueden buscarse otras fuentes de suministro que ofrezcan mejores condiciones. Los intereses ahorrados al conseguir mejores condiciones de crédito, quizá justifiquen el pago de un precio algo superior al nuevo proveedor.

Siempre debe considerarse, cuidadosamente, el costo porcentual equivalente anual que representa la pérdida de los descuentos por pronto pago al retrasar el pago a los proveedores que los ofrecen.

Salarios, sueldos y gastos de personal. Dado que el espacio de maniobra en cuanto al momento de liquidación de estas partidas es muy pequeño o inexistente, sólo podrán tener algún efecto ciertas medidas específicas. No obstante, la determinación de las medidas de producción destinadas a satisfacer los niveles máximos estacionales de demanda, sí repercutirán en la distribución de los gastos salariales.

Pagos varios. También aquí el margen de maniobra es pequeño, aunque, naturalmente, se tomará la cantidad máxima de crédito permitida.

Impuestos. Los impuestos deben pagarse en la fecha o en las fechas establecidas por la ley, por lo que aquí tampoco existe mucho margen de maniobra. Sin embargo, la determinación legal de la última fecha de pago debe tenerse en cuenta para que la empresa pueda, cuando ello sea posible, beneficiarse del máximo período legal de crédito.

Compra de edificios, instalaciones y equipos. Ésta es una partida que permite un amplio margen de control a la dirección. Las decisiones sobre las inversiones de capital repercuten, obviamente, en los flujos de fondos; la dirección debe elegir, por ejemplo, con cuidado especial la fecha en que debe comenzar cada proyecto. La naturaleza misma de éste tendrá repercusiones sobre la tesorería, es decir, si es intensivo en capital, mano de obra, etc.

En cuanto a las formas de pago, puede haber varias alternativas que pueden ser examinadas, como son las de aplazar el pago o comprar al contado; la fórmula de compra a plazos o la de alquiler-compra; o la fórmula de leasing en vez de la compra. En todos estos casos, debe calcularse cuidadosamente el coste real derivado del aplazamiento del pago, a fin de evitar la elección de una fórmula innecesariamente cara. En este supuesto, deben hacerse las mismas consideraciones que con relación a la decisión de aplazar el pago a los proveedores, con pérdida de los descuentos por pronto pago.

Pago de intereses y dividendos; amortizaciones de préstamos. Éste es un apartado de la gestión de los flujos de fondos que comprende el pago de intereses y la amortización de préstamos, obligaciones contractuales cuyo incumplimiento puede tener gravísimas consecuencias para la empresa; el pago de dividendos de acciones preferentes; el pago de dividendos de acciones ordinarias, que es una obligación moral más que contractual. Por todas estas razones, parece que la dirección dispone, en este aspecto, de un espacio de maniobra reducido, excepto en lo relativo a la determinación de la cuantía del dividendo de las acciones ordinarias. Pero no es totalmente así, ya que, en principio, la dirección tiene un gran margen de maniobra para determinar las fechas de pago.

Por comodidad administrativa, es habitual transferir fondos suficientes a una cuenta bancaria especial contra la cual se paguen los cheques de intereses y dividendos a medida que estos se presenten. Como en el caso del pago de impuestos, la dirección debe acordar lo necesario con su banco para disponer de fondos suficientes en la fecha precisa para atender a los pagos de intereses y de dividendos. De igual modo que sucede con el pago a proveedores, también hay aquí un lapso de tiempo natural entre el momento que se firma el cheque y el momento en que se carga a la cuenta bancaria; por esta razón, la dirección tiene la posibilidad de ajustar el momento de disponer los fondos necesarios para hacer frente al pago de intereses y dividendos.

Saldo de caja y bancos al final del mes corriente. En estas partidas, se muestra el efecto neto acumulado de todos los flujos de entrada y de salida de cada mes. Si se tienen en cuenta las distintas medidas indicadas anteriormente al examinar las partidas que componen este saldo, se ve, claramente, que la dirección tiene un gran abanico de posibilidades de reestructurar el esquema de los flujos de fondos futuros para reducir a un mínimo, el posible déficit de tesorería o para reaccionar ante una situación amenazadora. Cuando se hayan considerado todas las medidas posibles, esta línea dirá si todavía hay déficit. Solamente entonces, cuando se sepa que ésa es la situación menos mala posible, podrá comenzar la dirección a buscar fondos adicionales fuera de la empresa.

IX.3.3. GESTIÓN DEL SUPERÁVIT DE TESORERÍA

Aunque el superávit de tesorería quizá sea menos grave que el déficit, exige también una actuación ponderada por parte de la dirección. Estas medidas van dirigidas también aquí a la elaboración de unas previsiones más correctas o a la corrección de una situación presentada. En cualquiera de los casos, el superávit de tesorería no es nada bueno, por cuanto expresa el grado de infrautilización de los recursos por parte de la empresa. El superávit de tesorería, si no tiene un empleo positivo, reduce la tasa total de rendimiento actualmente obtenido por la empresa con el capital total empleado en la misma.

Si el superávit de tesorería se mantiene en efectivo en caja, no rendirá nada (al contrario, su valor probablemente se reducirá debido a la inflación). En cambio, si el superávit se coloca en depósitos bancarios en la entidad con que trabaje la empresa, quizá se obtenga un pequeño rendimiento en forma de intereses. Pero es obvio que la dirección debe ser capaz de emplear el superávit de la forma más ventajosa para la empresa, con un rendimiento superior al de los intereses bancarios. A continuación, se detallan alguna de las medidas que puede tomar la empresa en caso de exceso de tesorería. Las circunstancias serán, por supuesto, distintas en cada caso, por lo que sólo se pueden sugerir medidas generales; mucho depende, en este aspecto, del tiempo en que se tenga superávit de tesorería, de su cuantía y del grado de información que la dirección tenga de su existencia.

Si el superávit de tesorería tiende a ser permanente o a prolongarse durante un largo período de tiempo, deben tomarse medidas para emplear rentablemente estos recursos dentro de la empresa, quizá adelantando algunos planes de reequipamiento, expansión o ampliación de la gama de productos. Debe subrayarse que el superávit de tesorería permite adelantar alguno de los planes ya evaluados, que están en la lista de espera, pero sin despilfarrar temerariamente esos fondos en proyectos “descabellados”, solamente porque están disponibles.

Si el superávit de tesorería lo es sólo por un corto período de tiempo, existen diversos tipos de inversiones a corto plazo, por ejemplo, en deuda a corto plazo del Estado o de las entidades locales, depósitos bancarios a plazo e incluso préstamos día a día en el mercado de dinero. Cualquier rendimiento del dinero, por bajo que sea, es mejor que ninguno, pero debe tenerse en cuenta que estas inversiones deben ser seguras y fácilmente realizables en una fecha determinada de antemano. Los superávits de tesorería a corto plazo no deben emplearse nunca en inversiones especulativas o faltas de liquidez.

Existen otras medidas de carácter temporal que pueden adoptarse cuando existe superávit de tesorería, como, por ejemplo, adelantar el pago a los proveedores y anticipar las compras de materias primas. Toda medida de este tipo debe tomarse después de haber hecho una evaluación cuidadosa de la tasa de rendimiento de dicha inversión. Los proveedores suelen ofrecer descuentos por pronto pago, que la empresa quizá esté perdiendo actualmente por no hacer los pagos dentro del plazo exigido para beneficiarse de ellos. De igual modo, adelantando las compras de materiales podría, quizá, negociarse un precio ventajoso con el proveedor, si a éste le conviene adelantar la entrega o bien podría, quizá, evitarse una subida prevista de precios adelantando la entrega. Así, teniendo en cuenta los gastos específicos derivados del adelanto de la entrega, podría calcularse también, en este caso, la tasa de rendimiento anual equivalente representada por el beneficio neto obtenido de la operación.

Si el superávit de tesorería es permanente y tiene otro destino, como último recurso podría utilizarse para adelantar la amortización de préstamos u otras deudas. El rendimiento obtenido empleando así el superávit de tesorería lo representa el ahorro de intereses sobre el capital amortizado.

El Presupuesto de Tesorería permite, a veces, desglosar los recursos sobrantes en distintas cantidades para su empleo a distintas escalas de tiempo.

IX.3.4. ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE TESORERÍA

Los presupuestos de tesorería están ligados a los presupuestos anuales de explotación que les sirven de soporte, responden a preocupaciones tácticas y permiten asegurar, en el marco de un plan de tesorería más amplio, la tesorería del ejercicio. Su establecimiento facilita la determinación del volumen y la naturaleza de los créditos a corto plazo que puede necesitar la

empresa, como margen de seguridad o como medio de financiación de necesidades de corta duración, eventualmente como prefinanciación hasta la obtención de capitales permanentes venideros.

Para preparar un presupuesto de caja se necesitan tres datos: saldos de caja al comienzo del período, cobros esperados durante el período y pagos previsibles durante el mismo [Carbutt, 1990].

IX.3.4.1. SALDO DE CAJA AL COMIENZO DEL PERÍODO

Todas las formas de dinero posible se deben tener en cuenta, siempre y cuando sean significativas. Las cantidades insignificantes se deben desechar, siendo este montante dependiente del tamaño de la empresa.

Este saldo es conocido al principio del ejercicio con lo que su representación puede mantenerse como un número exacto.

IX.3.4.2. COBROS ESPERADOS

Los principales cobros de una empresa provienen de las ventas al contado y a crédito. Las ventas a crédito se materializan cuando los deudores pagan, predominando entre los cobros del capital circulante, los que proviene de las actividades de explotación de la empresa.

También puede haber entradas de fondos de plazo largo, como por ejemplo, la venta de un activo fijo o un aumento de capital, pero no es lo típico.

Aparejados con cada cobro, se ha de conocer el momento de su concreción, es decir, la componente temporal del mismo. Ésta indica la previsión que se realiza sobre el día en el que dicho cobro se va a materializar.

Tanto para el importe, como para el momento del cobro, el conocimiento que se dispone sobre tales variables suele ser impreciso, con lo que su representación por medio de números borrosos puede constituir una mejor información [Kaufmann y Gil-Aluja, 1991; Gil-Lafuente, 1990].

IX.3.4.3. PAGOS ESPERADOS

Desde el punto de vista operativo, los pagos también tienden a estar dominados por dos elementos: los pagos a proveedores y los pagos de los sueldos y salarios. Aunque existen muchas variaciones de una empresa a otra, en general se puede decir que las materias primas y los sueldos y salarios representan el 70 u 80 por ciento de los gastos presupuestados. Por

esta razón, en estas rúbricas se deben concentrar los esfuerzos si se desea tener un presupuesto de caja adecuado.

Los otros pagos pueden requerir una atención detallada, aunque, a veces, es posible llegar a una estimación global de ellos cuando el ejercicio del presupuesto ya se ha realizado a través de varios períodos. Sin embargo, puede haber sorpresas muy desagradables con alguna de estas partidas. Además, las exigencias tributarias también pueden ocasionar desajustes si no se han previsto adecuadamente.

Además, puede haber pagos a largo plazo, o sea, rúbricas que surgen del capital obtenido a largo plazo, tales como los dividendos, los pagos de intereses, la compra de nuevos activos o el pago de préstamos, pero son poco comunes.

Para todas las partidas anteriores, tradicionalmente se utiliza una representación precisa tanto de su importe como del momento en el que acaecerán, sin embargo, normalmente la información que de las mismas se dispone suele ser imprecisa por lo que su representación mediante números borrosos puede ser más adecuada [Gil-Lafuente, 1990].

IX.3.4.4. FINANCIACIÓN DE LOS DÉFICITS O INVERSIÓN DE LOS SUPERÁVITS

Tal como se comentó anteriormente, cuando la empresa se encuentre en situación de tesorería deficitaria, deberá buscar aquella fuente de fondos que le permita corregirla a un menor coste.

Por otro lado, si se encuentra en situación de superávit, la dirección deberá invertir ese excedente en el activo que le permita obtener mayores rendimientos.

El encadenamiento de las diferentes estrategias de inversión o de financiación a medida que se producen situaciones de superávit o déficit en el período de estudio, constituirá el Presupuesto de Tesorería de la empresa para el mismo.

IX.4. ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE TESORERÍA EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

En este apartado, se pretende presentar un modelo de elaboración del presupuesto de caja cuando la información disponible es imprecisa. El objetivo último será facilitar a la empresa las decisiones que debe tomar, con el fin de optimizar su posición de liquidez en el período presupuestario. Para ello, en primer lugar se realizará una descripción del planteamiento del problema del presupuesto de caja. A continuación, se desarrollará el modelo operativo de elaboración del mismo. Y, finalmente, se mostrará una aplicación práctica de dicho modelo.

IX.4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la representación de la información relativa a la elaboración de un Presupuesto de Tesorería, puede resultar interesante realizar un intento por adecuar instrumentos conocidos a las nuevas situaciones, para estimar valores en los que se moverán las variaciones de efectivo. La consecución de lo anterior permitirá conocer, aunque sea de manera incierta, la evolución de la liquidez, con lo que se podrán tomar las eventuales medidas tendentes a su corrección [Gil-Lafuente, 1993].

De este modo, siguiendo con las fases del modelo tradicional de elaboración de un Presupuesto de Tesorería, se identifican los siguientes componentes:

Saldo inicial. Este saldo inicial representa el montante total de efectivo disponible al principio del período presupuestario. Es una cantidad conocida por lo que su representación puede hacerse con números exactos, denotándose en este trabajo por S_0 .

Previsión de cobros. A medida que se desarrolla la actividad de la empresa, comienzan a producirse operaciones que provocan la entrada de efectivo en la tesorería de la empresa. Cada uno de estos cobros tiene dos componentes: el importe y el momento de su materialización. Al tratarse de previsiones, la información referida a los mismos puede ser imprecisa, por lo que es este trabajo se sugiere representar ambas variables como números borrosos trapezoidales, con lo que la cuantía y el momento de n cobros quedaría como:

$$\tilde{C} = \{\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, K, \tilde{C}_n\}$$

$$\tilde{T} = \{\tilde{T}_1, \tilde{T}_2, K, \tilde{T}_n\}$$

Previsión de pagos. Al igual que para los cobros, la empresa dispone de información, normalmente imprecisa, sobre los pagos que tendrá que cubrir en el período presupuestario. Por ello, se sugiere representar el montante del pago y el momento en que se va a producir como números borrosos trapezoidales. Así, suponiendo que acontecerán m pagos quedaría como:

$$\tilde{P} = \{\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, K, \tilde{P}_m\}$$

$$\tilde{T}' = \{\tilde{T}'_1, \tilde{T}'_2, K, \tilde{T}'_m\}$$

Inversión de excedentes de tesorería. Durante el período presupuestario, se pueden producir situaciones de exceso de tesorería. Por ello, en un intento por optimizar la rentabilidad de la empresa, se deben invertir dichos excedentes en activos que proporcionen algún rédito y que a su vez permitan disponer del montante cuando sea necesario. Estas inversiones,

desde un punto de vista financiero, se caracterizan por tres variables: el interés que proporcionan, el plazo en el que el efectivo tiene que permanecer invertido y los costes de cancelación anticipada. En este trabajo se sugiere representar las variables determinantes de las inversiones como números borrosos trapezoidales, ya que, con ello, se consigue no sólo incluir las inversiones propias del mercado financiero, sino también aquellas que se materializan en activos de la propia empresa.

De este modo, si la empresa tiene l posibilidades de inversión, el interés, el plazo y el coste de la cancelación anticipada quedaría como:

$$\tilde{I} = \{\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, K, \tilde{I}_l\}$$

$$\tilde{T}^* = \{\tilde{T}_1^*, \tilde{T}_2^*, K, \tilde{T}_l^*\}$$

$$C\tilde{a} = \{C\tilde{a}_1, C\tilde{a}_2, K, C\tilde{a}_l\}$$

Financiación de los déficits de tesorería. Del mismo modo que se pueden producir situaciones de exceso de tesorería, también pueden acontecer situaciones de necesidad de fondos.

En estos casos, la empresa debe elegir de entre las posibles fuentes, aquella que le permite cubrir esa situación a un menor coste. La información de las fuentes de fondos se concreta en el tipo de interés que tiene que soportar la empresa para disponer de ese efectivo y el máximo disponible que se puede obtener, no siendo, en algunos casos, todo lo precisa que se desearía. Por ello se sugiere, al igual que en los casos anteriores, utilizar números borrosos trapezoidales para representar la información relativa a las fuentes de financiación, con lo que el interés de k fuentes de financiación quedaría como:

$$\tilde{I}' = \{\tilde{I}'_1, \tilde{I}'_2, K, \tilde{I}'_l\}$$

$$\tilde{M} = \{\tilde{M}_1, \tilde{M}_2, K, \tilde{M}_l\}$$

A partir de la información anterior, la empresa debería establecer un Presupuesto de Tesorería que le permita cumplir con todos sus compromisos de pago y obtener la máxima rentabilidad de sus excedentes de liquidez.

Para tal fin, se precisa de alguna herramienta que pueda manejar la información imprecisa referida a este planteamiento del problema y que facilite una solución suficientemente buena. Por ello, se propone utilizar un Algoritmo Genético que busque la sucesión de estrategias de inversión y financiación óptima para la tesorería de la empresa.

IX.4.2. UN ALGORITMO GENÉTICO PARA LA ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO DE TESORERÍA

Como ya se ha descrito anteriormente, en todo modelo de Algoritmo Genético, la fase inicial consiste en la codificación de las soluciones de manera que sean adecuadas para los parámetros que lo caracterizan. Posteriormente, se aplicaran los operadores de selección, cruce y mutación que permitirán ir mejorando las soluciones inicialmente generadas.

En los siguientes epígrafes, se describe detalladamente el proceso seguido para la construcción de un Algoritmo Genético que permita seleccionar el mejor Presupuesto de Tesorería.

IX.4.2.1. CODIFICACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Las soluciones tienen que representar la estrategia de inversión de superávits y financiación de déficits que debe desarrollar la empresa para optimizar la rentabilidad de su tesorería. En este sentido, la información sobre los flujos de fondos viene dada por variables de carácter impreciso, utilizándose para su manejo números borrosos trapezoidales.

Así, a la hora de calcular los saldos en cada momento, se pueden producir situaciones en las que el número borroso resultante represente, tanto un superávit, como un déficit. Por ello, las soluciones han de contemplar estas circunstancias, codificando tanto una posible inversión como una posible financiación de los saldos.

De este modo, los saldos inicialmente calculados que supongan tanto un posible superávit como un posible déficit, se dividirán en dos, manteniendo la misma ocurrencia en el tiempo para ambos, tal como se muestra en la Figura IX.4.

Así, si por ejemplo se tiene que el saldo inicial es:

$$200.000,$$

y el primer flujo de fondos es:

$$(-250.000, -200.000, -150.000, -100.000),$$

y el vencimiento del mismo en días es:

$$(25, 30, 35, 40),$$

entonces, el saldo resultante a esa fecha sería:

$$(-50.000, 0, 50.000, 100.000).$$

Por tanto, la empresa ha de esperar tanto un déficit como un superávit, siendo consecuentes con ello, se podía producir tanto una inversión como una financiación, con la siguientes cuantías respectivamente:

Inversión: $(0, 0, 50.000, 100.000)$,

Financiación: $(-50.000, 0, 0, 0)$,

cuya posible ocurrencia sería la misma, es decir:

$(25, 30, 35, 40)$.

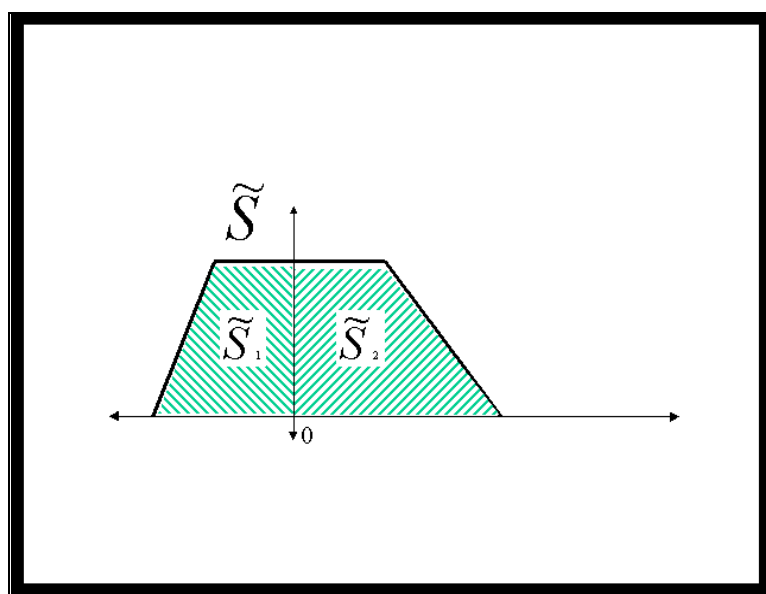


Figura IX.4

Con este proceso, todos aquellos saldos que representan tanto un posición de déficit como de superávit, se transformarán en dos posibles estrategias de gestión de la tesorería. Así, las soluciones tendrán un tamaño igual al número de saldos, considerando como dos aquellos anteriormente mencionados.

En cada una de sus posiciones, las soluciones contendrán una posible fuente de financiación, si el saldo es negativo o una posible inversión, en el caso de que sea positivo. El proceso de generación asignará, aleatoriamente, una de las posibles alternativas que dispone la empresa, contemplando además que si se trata de financiar un déficit, puede ocurrir que la fuente elegida no sea capaz de cubrir todo el importe. Por ello, en estos casos, se asignarán tantas fuentes de financiación como sean necesarias para cubrir el descubierto en su totalidad.

IX.4.2.2. FUNCIÓN DE ADECUACIÓN

La función de adecuación debe permitir que las mejores soluciones sean las que tengan un mayor valor en la misma. Por ello, al ser el objetivo optimizar la rentabilidad de la

tesorería de la empresa, se plantea utilizar como función de adecuación la rentabilidad esperada de cada solución.

Para calcular la rentabilidad trabajando con números borrosos trapezoidales, se ha de operar de acuerdo con las características de los mismos [Kaufmann *et al.*, 1994; Terceño, 1995]. En este caso, se trata de calcular la rentabilidad de las inversiones de superávits que contiene la solución y restarle el coste de financiación de los déficits de la misma. Se ha de tener en cuenta para ello que, si el tiempo que se mantienen las inversiones en una determinada alternativa es inferior al mínimo exigido para el mismo, supondrá que se incurren en costes de cancelación y su importe disminuirá la rentabilidad anteriormente calculada.

IX.4.2.3. PROCESO DE SELECCIÓN

Al igual que en la mayoría de los modelos de anteriores capítulos, se propone utilizar un *Ranking de Selección con Ruleta*, utilizándose para obtener la probabilidad de selección, la distancia borrosa de la rentabilidad de cada solución con respecto al origen (*singleton 0*).

IX.4.2.4. OPERADOR DE CRUCE

Se propone utilizar el cruce Uniforme [Syswerda, 1989], ya que ello permitirá combinar las soluciones sin peligro de generar cadenas no viables. Además, con él, se consigue igual probabilidad en el intercambio de trozos de las buenas cadenas entre ellas.

IX.4.2.5. OPERADOR DE MUTACIÓN

Con la mutación, se han de producir cambios inesperados en las cadenas. Por lo tanto, se propone elegir una posición al azar dentro de ella y regenerar el elemento de la misma. Así, tanto si se trata de una inversión, como de una financiación, se introducirá una de las restantes de cada tipo.

IX.4.2.6. CRITERIO DE PARADA EN LA BÚSQUEDA

Se propone que el algoritmo ejecute un número de generaciones a elección del usuario hasta mostrar la mejor solución alcanzada. Además, con el fin de no perder buenas soluciones se ha introducido la característica denominada *Elitismo* [Goldberg, 1989], proceso consistente en mantener el mejor individuo de una población en las siguientes hasta que otro no lo supere en adecuación al problema. Este procedimiento evita que se pierda la mejor solución de una población hasta que no sea sobrepasada por otra superior en adecuación.

De acuerdo con lo expuesto, la aplicación del modelo así propugnado permite llevar a cabo un proceso de elaboración de un Presupuesto de Tesorería en condiciones de incertidumbre.

A modo de resumen, en la Figura IX.5 se muestra una recopilación de todos los pasos descritos anteriormente.

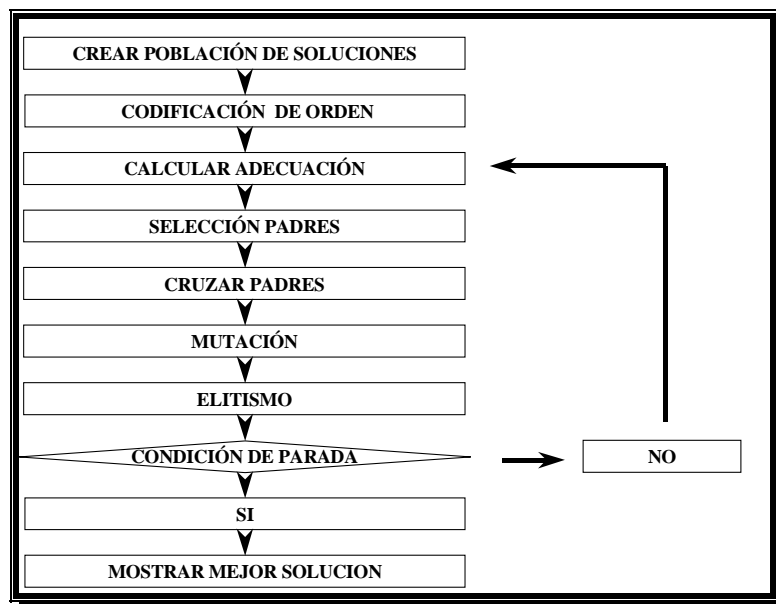


Figura IX.5

IX.5. EJEMPLO DE EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA

Para el contraste del modelo operativo desarrollado se analizaron diversos ejemplos, entre ellos el que a continuación se detalla que hace referencia a la elaboración del Presupuesto de Tesorería de una empresa de muebles.

IX.5.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una fábrica de muebles elabora mesas, sillas, camas, etc., a partir de tablas de madera que adquiere de sus proveedores.

Al comienzo del período presupuestario, que coincide con el año natural, dispone de un saldo total de tesorería de 200.000 unidades monetarias. Además, se conocen los flujos de fondos previstos, así como el vencimiento esperado de cada uno de ellos, tal como se muestra en el Cuadro IX.1.

Para invertir posibles superávits existen varias alternativas, diferenciándose cada una de ellas en el interés recibido, en el plazo necesario para su concreción y en el coste de cancelación anticipada. Todas estas variables se muestran en el Cuadro IX.2, incluyéndose la posibilidad de mantener el excedente en caja sin realizar ningún tipo de inversión con él.

Flujo	Concepto	Importe (\tilde{C} o \tilde{P})	Vencimiento (\tilde{T} o \tilde{T}')
1	Pago de gastos de transporte	(-60.000, -55.000, -55.000, -50.000)	(5, 5, 5, 5)
2	Nómina	(-170.000, -170.000, -170.000, -170.000)	(20, 25, 25, 28)
3	Cobro de clientes	(150.000, 155.000, 155.000, 160.000)	(45, 45, 45, 45)
4	Pago a proveedores	(-120.000, -110.000, -105.000, -100.000)	(60, 61, 62, 62)
5	Venta al contado	(500.000, 550.000, 560.000, 575.000)	(80, 85, 85, 90)
6	Nómina	(-170.000, -170.000, -170.000, -170.000)	(130, 135, 135, 140)
7	Pago de gastos de transporte	(-60.000, -55.000, -55.000, -50.000)	(145, 145, 145, 145)
8	Adquisición de sierra	(-420.000, -415.000, -405.000, -400.000)	(200, 201, 202, 205)
9	Cobro de clientes	(150.000, 155.000, 155.000, 160.000)	(235, 235, 235, 235)
10	Pago de seguros	(-60.000, -55.000, -55.000, -50.000)	(250, 255, 265, 270)
11	Venta al contado	(210.000, 215.000, 225.000, 225.000)	(280, 280, 285, 285)
12	Dividendos cobrados	(40.000, 45.000, 45.000, 50.000)	(300, 325, 335, 340)
13	Pago a proveedores	(-260.000, -245.000, -235.000, -230.000)	(350, 350, 350, 350)
14	Intereses	(100.000, 110.000, 120.000, 130.000)	(355, 356, 357, 358)
15	Pago de gastos de transporte	(-60.000, -55.000, -55.000, -50.000)	(360, 363, 365, 365)

Cuadro IX.1

Inversión	Concepto	Interés (\tilde{I})	Plazos (\tilde{T}^*)	Coste de cancelación ($C\tilde{a}$)
I1	Plazo fijo a un mes	(0,03; 0,03; 0,03; 0,03)	(30, 30, 30, 30)	(0,01; 0,01; 0,01; 0,01)
I2	Anticipo proveedores	(0,05; 0,06; 0,06; 0,07)	(45, 45, 45, 45)	(0,03; 0,03; 0,03; 0,03)
I3	Madera	(0,09; 0,1; 0,1; 0,11)	(60, 65, 68, 70)	(0,08; 0,08; 0,08; 0,08)
I4	Plazo fijo	(0,15; 0,16; 0,17; 0,18)	(100, 100, 100, 100)	(0,12; 0,14; 0,15; 0,15)
I5	Liquidez	0	0	0

Cuadro IX.2

Finalmente, la empresa puede disponer de financiación obtenida de diferentes fuentes que se la ofrecen a distintos tipos de interés. Además, cada una de ellas no tienen el mismo límite, es decir, la cantidad máxima que es posible obtener de cada una. Así, las diferentes alternativas que existen en el período de estudio se muestran en el Cuadro IX.3.

Fuentes	Concepto	Interés (\tilde{I}')	Cantidad disponible máxima (\tilde{M})
F1	Venta de acciones	(0,03; 0,04; 0,04; 0,05)	(20.000, 20.000, 20.000, 20.000)
F2	Línea de crédito	(0,05; 0,05; 0,05; 0,05)	(50.000, 50.000, 50.000, 50.000)
F3	Descuento de efectos	(0,08; 0,09; 0,09; 0,1)	(100.000, 110.000, 110.000, 120.000)
F4	Pagaré	(0,1; 0,1; 0,1; 0,1)	(200.000, 200.000, 200.000, 200.000)
F5	Préstamo	(0,15; 0,15; 0,15; 0,15)	(1.000.000, 1.000.000, 1.000.000, 1.000.000)

Cuadro IX.3

Con toda la información anterior la empresa desea conocer cuál será su Presupuesto de Tesorería, concretándose en las estrategias de inversión o de financiación a emplear en cada momento.

IX.5.2. RESOLUCIÓN CON EL ALGORITMO GENÉTICO DESARROLLADO

El ejemplo anterior fue introducido en el modelo desarrollado a fin de contrastar el funcionamiento del mismo.

Tras diversas pruebas se eligieron los siguientes parámetros como los idóneos para la resolución del problema:

- Número de generaciones: 50
- Número de individuos: 10
- Probabilidad de cruce inicial: 50 %
- Probabilidad de cruce final: 50 %
- Probabilidad de mutación inicial: 10 %
- Probabilidad de mutación final: 40 %

En el caso práctico analizado, la solución final obtenida tras la ejecución del Algoritmo Genético se muestra en el cuadro IX.4.

Nº de saldo	Días	Importe	Inversión/ Financiación
1	(5, 5, 5, 5)	(200.000, 200.000, 200.000, 200.000)	I3
2	(15, 20, 20, 13)	(140.000, 145.000, 145.000, 150.000)	I2
3	(17, 20, 20, 25)	(-30.000, -25.000, -25.000, -20.000)	F5
4	(15, 16, 17, 17)	(120.000, 130.000, 130.000, 140.000)	I4
5	(18, 23, 24, 30)	(0, 20.000, 25.000, 40.000)	I3
6	(40, 50, 50, 60)	(500.000, 570.000, 585.000, 615.000)	I2
7	(5, 10, 10, 15)	(330.000, 400.000, 415.000, 445.000)	I4
8	(55, 56, 57, 60)	(270.000, 345.000, 360.000, 395.000)	I4
9	(30, 33, 34, 35)	(-150.000, -70.000, -45.000, -5.000)	F1 F2 F4
10	(15, 20, 30, 35)	(0, 85.000, 110.000, 155.000)	I2
11	(10, 15, 30, 35)	(-6.000, 30.000, 55.000, 105.000)	F3 F1 o I1
12	(15, 40, 55, 60)	(150.000, 45.000, 280.000, 330.000)	I4
13	(10, 15, 25, 50)	(190.000, 290.000, 325.000, 380.000)	I4
14	(5, 6, 7, 8)	(-70.000, 45.000, 90.000, 150.000)	F1 F4 o I4
15	(2, 6, 9, 10)	(-60.000, 56.000, 102.000, 163.000)	F3 F5 o I4
16	(0, 0, 2, 5)	(-120.000, 1.000, 47.000, 113.000)	F1 F2 o I5

Cuadro IX.4

siendo la rentabilidad esperada:

(98.560, 249.536, 310.968, 426.344)

En el transcurso de las generaciones las soluciones existentes en cada momento se fueron mejorando, siendo la representación gráfica del mejor individuo en cada población la que se muestra en la Figura IX.6.



Figura IX.6

CAPÍTULO X. CONCLUSIONES

A modo de conclusiones, se sintetizan los aspectos más relevantes del trabajo realizado a lo largo de la presente Memoria, intentando relacionarlos adecuadamente con las proposiciones formuladas al presentar la misma.

1ª PROPOSICIÓN

La información de carácter previsional de la que disponen las empresas no debe ser alterada para adecuarla a las necesidades de los métodos utilizados en su tratamiento, sino que debe mantenerse en su naturaleza sin intentar deformarla. Por consiguiente, la metodología utilizada en su manejo debe ser la adecuada, sugiriéndose como posible alternativa la Teoría de los Subconjuntos Borrosos.

A partir de la contrastación de la existencia de carencias significativas en los métodos que tratan de manejar la información previsional, ya sea por la exclusiva dependencia del comportamiento pasado o por su incapacidad para representar conocimiento impreciso, se justificó que podría ser de interés la aplicación de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos, enunciada por L. Zadeh en 1965, como alternativa que permita representar la información imprecisa, ambigua o subjetiva que se posea en la toma de decisiones empresariales de ámbito presupuestario.

Asimismo, siguiendo las aportaciones de A. Kaufmann y J. Gil Aluja en las que se introduce la aplicación de los Subconjuntos Borrosos a diversos ámbitos de la gestión de empresas, se ha profundizado en las implicaciones que provocaría realizar una formulación de los problemas de toma de decisiones presupuestarias más cercana a lo que la realidad económica demanda, es decir, no sujeta a las necesidades de las herramientas o modelos utilizados.

2ª PROPOSICIÓN

El comportamiento no lineal de las variables determinantes en los sistemas económicos exige que los métodos cuantitativos empleados para asistir a la toma de decisiones de ca-

rácter previsional sean adecuados a tales situaciones, por lo que se propone utilizar los Algoritmos Genéticos.

En el estudio, se contrastó que los modelos cuantitativos tradicionalmente facilitados por la Investigación Operativa se encuentran con dificultades importantes a la hora de afrontar problemas que incluyen variables de comportamiento impreciso y no lineal. Para salvarlas, intentan transformar los problemas con objeto de que sean manejables o accesibles a los modelos desarrollados.

Sin embargo, con esta manera de operar no sólo se está cambiando el planteamiento del problema sino que la solución facilitada aunque perfecta, según los razonamientos matemáticos, resulta inaceptable en la práctica. De este modo, se justifica la necesidad de utilizar alguna herramienta que no modifique sustancialmente el planteamiento real del problema a resolver.

En consecuencia, se ha razonado el empleo de los Algoritmos Genéticos, herramienta heurística de optimización ampliamente utilizada, ya que consiguen plantear los problemas de gestión sin necesidad de modificarlos de manera relevante. Con ellos, aunque las soluciones pueden no ser las óptimas, sí que alcanzan un mayor grado de representatividad.

3ª PROPOSICIÓN

La elaboración de un Presupuesto de Producción precisa no sólo una representación de la realidad incierta en la que se mueve la empresa, sino también la optimización del proceso que se va a desarrollar con toda la complejidad que las producciones múltiples o los comportamientos no lineales en los costes pueden conllevar.

El modelo operativo desarrollado en el Capítulo 4 permitió contrastar que, en aras de una correcta formulación del Presupuesto de Producción, se ha de tener en cuenta las posibles sinergias que pueden surgir entre los costes de producción de procesos múltiples.

Además, cuando la información previsional disponible es imprecisa, se justifica la necesidad de realizar su tratamiento sin deformarla.

En consecuencia, se formuló un modelo específico que permite la elaboración de un Presupuesto de Producción en tales circunstancias, contrastándose su operatividad gracias al ejemplo práctico desarrollado.

De esta forma, se demuestra que una combinación de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos, para el manejo de la información de carácter previsional; y los Algoritmos Genéticos, como método de optimización, supone una herramienta eficaz en la elaboración de un Presupuesto de Producción en condiciones de incertidumbre y no linealidad.

4ª PROPOSICIÓN

El Presupuesto de Materiales de las empresas necesita planteamientos más ajustados a la realidad, que optimicen los recursos utilizados en situaciones de no linealidad y con información imprecisa, incluyéndose todos los costes en los que incurren las organizaciones en el desarrollo de esta actividad.

La evidencia de que el comportamiento no lineal de los costes que se incurren en la gestión de materiales, así como la contrastación de que al tratarse de variables previsionales no pueden manejarse de manera precisa, justifica el empleo de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos.

En consecuencia, se formuló una metodología en el Capítulo 5 que permite resolver el problema del cálculo de la cantidad económica de pedido en condiciones de incertidumbre y cuando no existe linealidad en el comportamiento de los costes. Sin embargo, el planteamiento se podría complicar aún más incluyendo otras situaciones, tales como costes de capacidad, limitaciones, múltiples productos o proveedores, etc. Aún en las situaciones más complejas, la utilización de los Algoritmos Genéticos cobraría mayor justificación, por cuanto resulta menos restrictivo que otros métodos.

5ª PROPOSICIÓN

La gestión presupuestaria del factor humano requiere una aproximación “realista” al manejo de la información disponible, que permita su representación sin distorsión. Además, se ha de conseguir una metodología de elaboración del Presupuesto de Personal capaz de optimizar los recursos sin restringir la operatividad de los modelos desarrollados y que consiga manejar valoraciones de carácter cualitativo, características este ámbito de la gestión.

A partir de las justificaciones expuestas en el Capítulo 6, se ha contrastado la posibilidad de utilizar una representación más realista tanto de la información disponible, como de las situaciones que acontecen en el entorno de trabajo, en la elaboración del presupuesto de personal. De hecho, resulta de evidencia empírica que las valoraciones realizadas por los expertos de la gestión del personal se encuadran dentro del ámbito cualitativo.

Además, se ha justificado que la mayoría de las decisiones de gestión del factor humano se encuadran dentro de las de formación de grupos de trabajo, con las connotaciones que en las relaciones interpersonales tienen en el desarrollo del trabajo común.

En el estudio realizado, se propuso la utilización de los Subconjuntos Borrosos para manejar etiquetas lingüísticas y las opiniones que los encargados de la gestión del personal tienen y son capaces de emitir. Adicionalmente, se justificó que la aplicación de los Algoritmos Genéticos facilita la inclusión de situaciones de complejidad y no linealidad, contrastándose, como en los capítulos anteriores, con la aplicación práctica desarrollada.

6ª PROPOSICIÓN

La elaboración del Presupuesto de Promoción ha de permitir incluir objetivos cualitativos en la concreción del mismo. Para ello, se debe manejar la información tal cual se presenta en las tomas de decisiones reales de las empresas y optimizar los recursos asignados para dicho propósito, sin que las soluciones suministradas puedan ser inconsistentes o llevar a resultados no deseados.

En congruencia con la idea de que los objetivos que se establecen para la elaboración de Presupuestos de Promoción no se deben reducir a una mera cuota de mercado a alcanzar, se justificó el empleo variables cualitativas y valuaciones lingüísticas para el establecimiento de los mismos.

Además, queda evidenciado en el Capítulo 7 que la evolución de los costes de las diferentes herramientas de promoción no es lineal con lo que se sustenta la utilización de metodologías alternativas a las tradicionales.

En consecuencia, se desarrolló un modelo que permite la selección del presupuesto de promoción en condiciones de incertidumbre, cuando la información disponible es de tipo lingüístico y cuando no hay linealidad en los comportamientos de los costes.

En un intento por acercarse más a ciertas situaciones que acontecen en la realidad empresarial, se sugiere como una vía de investigación futura la combinación de objetivos cuantitativos, como el número de impactos en el público objetivo, con otros de tipo cualitativo, como la calidad o nivel del impacto en referencia a los objetivos promocionales de la empresa.

7ª PROPOSICIÓN

El Presupuesto de Distribución debe facilitar respuestas a las preguntas clave en la satisfacción de necesidades de clientes cuando la información tiene carácter impreciso, aportando soluciones que permitan una utilización óptima de los recursos, aún en los casos en que los planteamientos requeridos para su concreción posean altas dosis de incertidumbre y complejidad.

En contraste con la precisión a la que se reduce el conocimiento previsional de las necesidades de los clientes en los modelos tradicionales de elaboración del Presupuesto de Distribución, se contrastó que con los Subconjuntos Borrosos se conseguía un mayor acercamiento a la información disponible.

Además, con objeto de no pecar de simplicidad en el planteamiento del problema, se ha de incluir diversas consideraciones relativas a la distribución, como los vehículos las rutas,

los costes no lineales, etc. De esta forma se sustenta la idea de que con la utilización conjunta de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y los Algoritmos Genéticos se mejora en la elaboración de presupuestos operativos de distribución de los productos.

Asimismo, el acercamiento a la complejidad de los problemas reales de las empresas queda demostrado con la aplicación práctica desarrollada que, aunque puede resultar simple, sólo constituye una de las posibles vías que se abren con la utilización de estas técnicas.

8ª PROPOSICIÓN

El Presupuesto de Tesorería debe elaborarse con la información previsional de carácter impreciso y facilitar una plan de gestión de recursos monetarios que optimice la rentabilidad esperada de los flujos de fondos de la empresa, sirviendo como una guía detallada que evite situaciones o imprevistos de elevada peligrosidad para la organización y anticipe la evolución de las variables que determinan la posición financiera.

A partir del modelo desarrollado en el Capítulo 9, se muestran las posibilidades de manejo de información y de obtención de soluciones satisfactorias a problemas complejos de establecimiento de Presupuestos de Tesorería. Por ello, aún reconociendo la simplicidad del ejemplo práctico, conviene comentar que, mientras las herramientas tradicionales de optimización de este tipo problemas, como la Programación Dinámica, exigen el cumplimiento de hipótesis restrictivas en el comportamiento de las variables relativas al mismo, los Algoritmos Genéticos no exigen ninguna.

En consecuencia, cuanto mayor dificultad tenga el planteamiento considerado y mayores sean los comportamientos no lineales de las variables, mayor será la justificación del empleo de esta metodología.

De acuerdo con las proposiciones anteriores, es posible poder contrastar la Proposición Principal propugnada al inicio de la presente Memoria, cuyo enunciado cabe recordar:

Los métodos tradicionales de elaboración de un Presupuesto Maestro no facilitan información suficiente o adecuada, en la actual situación de incertidumbre, competencia y complejidad del entorno empresarial, para la adopción de decisiones de gestión.

Por ello, es necesario el desarrollo de modelos alternativos que, mediante la utilización de metodologías y técnicas emergentes como la Teoría de los Subconjuntos Borrosos y los Algoritmos Genéticos, consigan satisfacer, en mayor grado, las necesidades presupuestarias de las empresas.

La Gestión Presupuestaria, en los entornos económicos actuales, precisa de planteamientos más acordes con la información disponible, no sólo en cuanto al carácter de la misma

sino también, en cuanto a su comportamiento. Con la Teoría de los Subconjuntos Borrosos se ha conseguido una representación del conocimiento previsional tal como se dispone en la empresa, sin deformarlo.

Por otro lado, con aplicación de los Algoritmos Genéticos se ha dotado a la Gestión Presupuestaria de una herramienta versátil, capaz de afrontar los problemas complejos que en la toma de decisiones puedan encontrarse.

Finalmente, la combinación de ambas metodologías genera una sinergia capaz de afrontar mayores dosis de complejidad que de manera aislada, posibilitando adaptar el modelo al planteamiento y no viceversa.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Ackoff, 1972] R.A. Ackoff. *Un concepto de planeación de empresas*. Limusa Wiley, México (1972).

[Ackoff, 1986] R.A. Ackoff. *Management in Small Doses*. John Wiley, Nueva York (1986).

[Anderson *et al.*, 1991] D.R. Anderson, D.J. Sweeney y T.A. Williams. *Introduction to Management Science*. West Publishing Company, Londres (6ª Ed. 1991).

[Anderson *et al.*, 1993] D.R. Anderson, D.J. Sweeney y T.A. Williams. *Introducción a los modelos cuantitativos para administración*. Grupo Editorial Iberoamérica, México (1993).

[Aranda *et al.*, 1993] J. Aranda, J.L.Fernández y F. Morilla. *Lógica Matemática*. Sanz y Torres, Madrid (1993).

[Arbones, 1990] E.A. Arbones. *Logística Empresarial*. Marcombo, Barcelona (1990).

[Arnold, 1996] J.R. Arnold. *Introduction to Materials Management*. Prentice-Hall, Nueva Jersey (1996).

[Bäck y Hoffmeister, 1992] T. Back y F. Hoffmeister. Genetic Algorithms y Evolution Strategies: Similarities and Differences. *Technical Report No, SYS-1/92*, Dept. de Ciencias de la Computación, Universidad de Dortmund, Alemania, Febrero (1992).

[Bäck, 1996] T. Bäck. *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice*. Oxford, Londres (1996).

[Backer *et al.*, 1983] M. Backer, L. Jacobsem y D. N. Ramírez. *Contabilidad de costos: un enfoque administrativo para la toma de decisiones*. McGraw-Hill, México (1983).

[Baker, 1985] J.E. Baker. Adaptative Selection Methods for genetic Algorithms. Proc. First Int. Conf. on Genetic Algorithms (1985), Learlbaum Associates, Hillsdale, 101-111.

[Ballou, 1991] R.H. Ballou. *Logística Empresarial: Planificación y Control*. Díaz de Santos, Madrid (1991).

[Bangs, 1989] D.H. Bangs. *Controlling Cash-Flow*. Kogan Page, Londres (1989).

[Banzhaf, 1990] W. Banzhaf. The “Molecular” Travelling Salesman. *Biological and Cybernetics* 64 (1990): 7-14.

[Bauer, 1994] R.J. Bauer. *Genetic Algorithms and Investments Strategies*. John Wiley & Sons, Nueva York (1994).

[Beaumont, 1993] P.B. Beaumont. *Human Resources Management: Key concepts and skills*. Sage Publications, Londres (1993).

[Bellandi *et al.*, 1997] G. Bellandi, R. Dulmin y V. Mininno. Study of a Supply Chain from a Buyer/Seller point of view: Planing and Application of an Indicators Model Fuzzy Logic Based. *Fuzzy Economic Review* 1 (1997), vol. II: 73-89.

[Beyth-Marom, 1982] R. Beyth-Marom. How probable is probable?. A Numerical Taxonomy Traslation of Verbal Probability Expressions. *Journal of Forecasting* 1 (1982): 257-269.

[Biethahn y Nissen, 1995] V. Biethahn y V. Nissen. *Evolutionary Algorithms in Management Applications*. Springer-Verlag, Berlín (1995).

[Bojadziev y Bojadziev, 1997] G. Bojadziev y M. Bojadziev. *Fuzzy Logic for Business Finance and Management*. World Scientific, Singapur (1997).

[Bonissone y Decker, 1986] P.P. Bonissone y K.S. Decker. Selecting Uncertainty Calculi and Granularity: An Experiment in Trading-off Precision and Complexity. Incluido en: *Uncertainty in Artificial Intelligence*, L.H. Kanal y J.F. Lemmer (Eds), North-Holland (1986): 217-247.

[Booker, 1987] L. Booker. *Improving Search in Genetic Algorithms and Simulated Annealing*. L. Davis (Ed.), Morgan Kaufmann, San Mateo (1991): 100-107.

[Bordogna y Passi, 1993] G. Bordogna y G. Passi. A Fuzzy Linguistic Approach Generalising Boolean Information Retrieval: A Model and Its Evaluation. *Journal of American society on Information Systems* 44 (1993): 70-82.

[Bramlette, 1991] M.F. Bramlette. *Initialization, Mutation and Selection Methods in Genetics Algorithms and Simulated Annealing*. L. Davis (Ed.), Morgan Kaufmann, San Mateo (1987): 61-73.

[Broekmeulen, 1995] R. Broekmeulen. Facility Management of Distribution Centres for Vegetables and Fruits. Incluido en: *Evolutionary Algorithms in Management Applications*, J. Biethahn y V. Nissen (Eds.), Springer-Verlag, Berlín (1995): 199-210.

[Bueno-Campos, 1974] E. Bueno-Campos. *El sistema de información en la empresa*. Confederación Española de Cajas de Ahorros, Madrid (1974).

[Camm y Evans, 1995] J.D. Camm y R.E. Evans. *Management Science: Modelling Analysis and Interpretation*. International Thomson Publishing, Cincinnati (1995).

[Cañibano-Calvo y Bueno-Campos, 1978] L. Cañibano Calvo y E. Bueno Campos. *Cash flow, autofinanciación y tesorería*. Pirámide, Madrid (1978).

[Cassú *et al.*, 1996] C. Cassú, P. Planas, J.C. Ferrer y J. Bonet. Accumulated capital for the retirement plans in fuzzy finance mathematics, *Fuzzy Economic Review* 1, vol. I (1996).

[Claver *et al.*, 1996] E. Claver, J.L. Gasco y J.Llopis. *Los Recursos Humanos en la empresa: un enfoque directivo*. Civitas, Madrid (1996).

[Corcoran y Sen, 1994] A.L. Corcoran y S. Sen. Using Real-Valued Genetic Algorithms to Evolve Sets for Classification. Proc. *IEEE Conference on Evolutionary Computation* (1994): 120-124.

[Corcoran, 1983] A.W. Corcoran. *Costos: Contabilidad, Análisis y Control*. Limusa Wiley, México (1983).

[Curwin y Slater, 1996] J. Curwin y R. Slater. *Quantitative Methods for Business Decisions*. International Thomson Business Press, Londres (4ª Ed. 1996).

[Charnes y Cooper, 1964] A. Charnes y W.W. Cooper. *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. John Wiley, Nueva York (1964).

[Checkley, 1994] K. Checkley. *Cash is King*. Pitman Publishing, Londres (1994).

[Chiavenato, 1992] I. Chiavenato. *Administración de Recursos Humanos*. McGraw Hill, México (1992).

[Dantzig, 1963] G.B. Dantzig. *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press (1963).

[Darwin, 1859] C. Darwin. *On the Origin of Species by means of Natural Selection*. John Murray, Londres (1859).

[Darwin, 1996] C. Darwin. *Textos fundamentales*. Altaya, Barcelona (1996).

[Davidor, 1991] Y. Davidor. *Genetic Algorithms and Robotics: A heuristic Strategy for Optimization*. World Scientific, Singapur (1991).

[Davis, 1985] L. Davis. Job Shop Scheduling with Genetics Algorithms. Proc. First *Int. Conf. On Genetic Algorithms*, J.J. Grefrenstette (Ed.), L. Erlbaum Associates, Hillsdale (1985): 136-140.

[Degani and Bortolan, 1988] R. Degani and G. Bortolan, The Problem of Linguistic Approximation in Clinical Decision Making. Proc. *International Journal of Approximate reasoning* 2 (1988): 143-162.

[Delgado *et al.*, 1993a] M. Delgado, J.L. Verdegay, y M.A. Vila. Linguistic Decision Making Models. *Int. Journal Intelligent Systems* 7 (1993): 479-492.

[Delgado *et al.*, 1993b] M. Delgado, J.L. Verdegay, y M.A. Vila, On Aggregation Operations of Linguistic Labels. *Int. Journal Intelligent Systems* 8 (1993): 351-370.

[Domínguez *et al.*, 1990] J.A. Domínguez, S. Durbán y E. Martín. *El subsistema productivo de la empresa*. Pirámide, Madrid (1990).

[Dubois y Prade, 1980] D.Dubois y H. Prade. *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Press, Nueva York (1980).

[Dupuy y Rolland, 1992] Y. Dupuy y G. Rolland. *Manual de control de Gestión*. Díaz de Santos, Barcelona (1992).

[Fang, 1992] H Fang. *Investigating Genetic Algorithms for Scheduling*. Msc Dissertation, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh (1992).

[Fayol, 1950] H. Fayol. *Administration industrielle et generale*. Dunod, París (1950).

[Filipic, 1995] B. Filipic. A Genetic Algorithm Applied to Resources Management in Production Systems. Incluido en: *Evolutionary Algorithms in Management Applications*, J. Biethahn y V. Nissen (Eds.), Springer-Verlag, Berlín (1995).

[Fogel *et al.*, 1966] L.J. Fogel, A.J. Owens y M.J. Walsh. *Artificial Intelligence Through Simulated Evolution*. John Wiley, Nueva York (1966).

[Fogel, 1995] L.J. Fogel. *Evolutionary Computation*. IEEE Press (1995).

[Fonseca y Fleming, 1993] C. Fonseca y J. Fleming. Genetic algorithms for Multiobjective Optimisation: Formulation, Discussion and Generalisation. Proc. Fifth *Int. Conference on Genetic Algorithms* (1993): 416-432.

[Fonseca y Fleming, 1995] C. Fonseca y J. Fleming. An Overview of Evolutionary Algorithms in Multiobjective Optimisation. *Evolutionary Computation* 3 (1995): 1-16.

[Fox y McMahon, 1991] B.R. Fox y M.B. McMahon. Genetic Operators for Sequencing Problems. *Foundation of Genetics Algorithms 1*, G.J.E. Rawlin (Ed.), Morgan Kaufmann, San Mateo (1991): 284-300.

[Garbutt, 1990] D. Garbutt. *El control de Flujos de Fondos*. Carbajal, Colombia (1990).

[Gil-Aluja, 1996] J. Gil-Aluja. *La Gestión Interactiva de los Recursos Humanos en la Incertidumbre*. Pirámide, Madrid (1996).

[Gil-Aluja, 1998] J. Gil Aluja. *The Interactive Management of the Human Resources Function*. Kluwer Academic Publishers, Boston (1998)

[Gil-Lafuente, 1990] A.M. Gil Lafuente. *El análisis financiero en la incertidumbre*. Ariel, Barcelona (1990).

[Gil-Lafuente, 1993] A. M. Gil Lafuente. *Fundamentos de Análisis Financiero*. Ariel Economía, Barcelona (1993).

[Gil-Lafuente, 1997] J. Gil Lafuente. *Marketing para el nuevo milenio. Nuevas técnicas para la gestión comercial en la incertidumbre*. Pirámide, Madrid (1997).

[Goguen, 1967] J.A. Goguen. L-Fuzzy Sets. *Journal of Mathematics Analysis and Application* (1967): 145-174.

[Goldberg, 1989] D.E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*. Addison Wesley, Boston (1989).

[González-Crespo, 1993] A. González-Crespo. Un Triángulo Mágico. *AEDIPE* (1993): 63-68.

[Gould y Eppen, 1987] G.D. Eppen y F.J. Gould. *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. Prentice-Hall, México (1987).

[Grefenstette, 1995] J.J. Grefenstette. *Genetic Algorithms for Machine Learning*. Kluwer Academic Publishers, Boston (1995).

[Harris, 1915] F.W. Harris. *Operations and Costs*. Factory Management Series, Chicago (1915).

[Hartley, 1984] W.C. Hartley. *Cash flow: su planificación y control*. Deusto, Bilbao (1984).

[Heizer y Render, 1996] J. Heizer y B. Render. *Production and operations management*. Prentice-Hall, Nueva Jersey (1996).

[Hernández et al., 1994] C. Hernández, R. del Olmo y J. García. *El Plan de Marketing Estratégico*. Gestión 2000, Barcelona (1994).

[Herrera et al., 1995] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, y J.L. Verdegay. A Sequential Selection Process in Group Decision Making with Linguistic Assessment. *Information Sciences* 85 (1995): 223-239.

[Herrera et al., 1996] F. Herrera, E. Herrera-Viedma y J.L. Verdegay. Direct Approach Processes in Group Decision Making Using Linguistic OWA Operators. *Fuzzy Sets and Systems* 79 (1996): 175-190.

[Herrera et al., 1996] F. Herrera, M. Lozano y J.L. Verdegay. Dynamic and Heuristic Fuzzy Connectives Based Crossover Operators for Controlling the Diversity and Convergence of Real Coded Genetic Algorithms. *International Journal Intelligent Systems* (1996).

[Herrera et al., 1997a] F. Herrera, E. Lopez, C. Mendaña y M. Rodriguez. A Linguistic Decision Model for Personnel Management solved with a Linguistic Biobjective Genetic Algorithm. Por aparecer en: *Fuzzy Sets and Systems* (1997).

[Herrera et al., 1997b] F. Herrera, E. Lopez, C. Mendaña y M. Rodriguez. A Linguistic Decision Model to Suppliers Selection in International Purchasing. Por aparecer en: *Computing with words in information intelligent systems*, L.A. Zadeh y J. Kacprzyk (Eds.), Physica Verlag (1997).

[Herrera et al., 1998a] F. Herrera, E. Lopez, C. Mendaña y M. Rodriguez. Solving an Assignment-Selection Problem under Linguistic Valuations with Genetic Algorithms. Por aparecer en: *European Journal of Operations Research* (1998).

[Herrera et al., 1998b] F. Herrera, E. Lopez, y M. Rodriguez. A Linguistic Decision model for Promotion Mix Management with Genetic Algorithms. Por aparecer en: *Frontiers in Soft Decision Analysis*, C. Carlson y R. Fuller (Eds.), Physica Verlag (1998).

[Herrera y Herrera-Viedma, 1997] F. Herrera y E. Herrera-Viedma. Aggregation Operators for Linguistic Weighted Information. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Systems and Humans* 5 (1997), Vol. 27: 646-656.

[Herrera y Verdegay, 1993] F. Herrera y J.L. Verdegay Linguistic Assessments in group decision. Proc. First *European Congress on Fuzzy and Intelligent Technologies* (1993), Aachen: 941-948.

[Herrera y Verdegay, 1996] F. Herrera y J.L. Verdegay. Genetic Algorithms and Soft Computing. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Physica Verlag 8 (1996).

[Hillier y Lieberman, 1980] F. Hillier y G. Lieberman. *Introduction to Operations Research*. Holden-Day, San Francisco (1980).

[Holland, 1975] J.H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor (1975) (MIT Press, 1992).

[Horngren *et al.*, 1996] C.T. Horngren, W.T. Harrison y M.A. Robinson. *Accounting*. Prentice-Hall, Nueva Jersey (3ª Ed. 1996).

[Horngren, 1977] C.T. Horngren. *Contabilidad de Costos. Un enfoque gerencial*. Prentice-Hall, México (1977).

[Ichikawa e Ishii, 1993] Y. Ichikawa y Y. Ishii. Retaining Diversity of Genetic Algorithms for Multivariable Optimization and Neural Network Learning. Proc. *IEEE Int. Conf. On Neural Networks*, San Francisco, California (1993): 1110-1114.

[Iglesias-Otero, 1997] M.T. Iglesias Otero. *Algoritmos Genéticos Generalizados: Variaciones sobre un Tema*. Tesis Doctoral, Universidad de La Coruña (1997).

[Iglesias-Otero *et al.*, 1996] M.T. Iglesias Otero, C. Vidal y A. Verschoren. A Global Approach to Schemata. Proc. *International Conference on Human Related Sciences I*, León (1996): 147-152.

[Kaufmann *et al.*, 1994] A. Kaufmann, J. Gil-Aluja y A. Terceño. *Matemáticas para la economía y la gestión de empresas*. Foro Científico, Barcelona (1994).

[Kaufmann y Gil Aluja, 1986] A. Kaufmann y J. Gil Aluja. *Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos en la Gestión de Empresas*. Milladoiro, Santiago de Compostela (1986).

[Kaufmann y Gil Aluja, 1987] A. Kaufmann y J. Gil Aluja. *Técnicas operativas de Gestión para el tratamiento de la incertidumbre*. Hispano Europea, Barcelona (1987).

[Kaufmann y Gil Aluja, 1990] A. Kaufmann y J. Gil Aluja. *Las matemáticas del azar y de la incertidumbre*. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid (1990).

[Kaufmann y Gil-Aluja, 1991] A. Kaufmann y J. Gil-Aluja. *Nuevas técnicas para la dirección estratégica*. Universidad de Barcelona (1991).

[Kaufmann y Gil Aluja, 1992] A. Kaufmann y J. Gil Aluja: *Técnicas de Gestión de Empresas. Previsiones, decisiones y estrategias*. Pirámide, Madrid (1992).

[Klir y Yuan, 1995] G.J. Klir y B. Yuan. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice-Hall, Nueva Jersey (1995).

[Kohonen, 1988] T. Kohonen. An introduction to Neural Computing. *Neural Networks I* (1988): 3-16.

[Kolb, 1975] F. Kolb. *La Logística: Aprovechamiento, Producción y Distribución*. Deusto, Bilbao (1975).

[Kotler, 1991a] P. Kotler. *Dirección de Marketing*. Prentice-Hall, Madrid (7ª Ed. 1991).

[Kotler, 1991b] P. Kotler. *Marketing Management.: Analysis, Planning, Implementation and Control*. Prentice-Hall, Londres (1991).

[Koza, 1991] J.R. Koza. *Genetic Programming*. The MIT Press, Cambridge (1992).

[Law, 1996] C.K. Law. Using Fuzzy Numbers in Educational Grading System. *Fuzzy Sets and Systems* 83 (1996): 311-323.

[Lilien y Kotler, 1983] P. Lilien y P. Kotler. *Marketing Decision Making: A Model Building Approach*. Harper & Row, Nueva York (1983).

[López-Díaz y Menéndez-Menéndez, 1989] A. López Díaz y M. Menéndez Menéndez. *Curso de Contabilidad Interna*. Alfa Centauro, Madrid (1989).

[López-González y Álvarez-Estaban, 1990] E. López González y R. Álvarez Esteban. Aplicación de la hoja electrónica SYMPHONY en el control de gestión: costes estándar y presupuesto flexible. *Revista Técnica del Instituto de Censores Jurados de Cuentas de España* 21 (1990).

[López-González *et al.*, 1996] E. López González, C. Mendaña Cuervo, J.R. Mieres Fuertes y M.A. Rodríguez Fernández. The selection of an Entry Mode Strategy into Foreign Markets under Conditions of Environmental Uncertainty. *Fuzzy Economic Review* 1 (1996), vol. I: 93-118.

[López-González *et al.*, 1997a] E. López González, C. Mendaña Cuervo y M.A. Rodríguez Fernández. La Selección de Personal con un Algoritmo Genético Borroso. *Rev. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa* 2 (1997), Vol. II: 61-76.

[López-González *et al.*, 1997b] E. López González, C. Mendaña Cuervo y M.A. Rodríguez Fernández. Global Sourcing: An Approach to Suppliers Selection Problems using Genetic Algorithms and Linguistic Valuations. *Proc. VI International Conference European Association of Management and Business Economics*, Chania, Greece (1997): 117-130.

[López-González *et al.*, 1998a] E. López González, C. Mendaña Cuervo y M.A. Rodríguez Fernández. The Election of a Portfolio Through a Fuzzy Genetic Algorithm: The Pofugena Model. Incluido en: *Operational Tools in the Management of Financial Risks*, C. Zopunidis (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Boston (1998).

[Lopez-González *et al.*, 1998b] E. López González, C. Mendaña Cuervo y M.A. Rodríguez Fernández. La gestión de inventarios con algoritmos genéticos. *Inteligencia Artificial* 2, Vol. 4 (1998).

[López-González y Rodríguez-Fernández, 1995] E. López González, C. y M.A. Rodríguez Fernández, GENia: A Genetic Algorithm for Inventory Analysis. A Spreadsheet Approach. Proc. *IV International Conference of Association for the Advancement of Modelling and Simulation Techniques in Enterprises* (1995), Breno: 200-223.

[López-González, 1992a] E. López González. The role of Chaos and Fuzzy Subsets Theories in Strategic Management. Accounting to the Competitive Advantages: Emergence of a New Paradigm. Incluido en: *Advances in Fuzzy Sets and Applications*, I. Tofan, J. Gil Aluja y H.N. Teodorescu (Eds.), Iasi University Press (1992): 131-140.

[López-González, 1992b] E. López González. Técnicas operativas para el control de gestión de la liquidez en entornos de certidumbre, aleatoriedad e incertidumbre. Incluido en: *Gestión económica en la incertidumbre*, José Carlos Domínguez (Ed.). Fundación Alfredo Brañas, Santiago de Compostela (1992).

[López-González, 1993a] E. López González. La Contabilidad de gestión del Sector Público ante incertidumbre. Incluido en: *Análisis y Contabilidad de Gestión en el Sector Público*, Universidad de Santiago de Compostela (1995): 71-95.

[López-González, 1993b] E. López González. Nuevas tendencias en la contabilidad directiva: Contabilidad estratégica e incertidumbre. El caso de la decisión de hacer o comprar. Proc. *III Congreso Internacional de Costos y I Congreso Nacional de la Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI)*, Madrid (1993).

[López-González y Mandaña-Cuervo, 1994] E. López González y C. Mendaña Cuervo. The Outsourcing Decision in Fuzzy Economic environments. *International AMSE Conference Fuzzy Systems and Neural Networks*, Lyon (1994).

[López-Martínez, 1987] F.J. López Martínez. *Manual del cash management*. Deusto, Bilbao (1987).

[Lucasius y Kateman, 1989] C.B. Lucasius y G. Kateman. Applications of Genetic Algorithms in Chemometrics. Proc. *III Conf. On Genetic Algorithms*, J.D. Schaffer (Ed.). Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo (1989): 170-176.

[Lynch y Williamson, 1885] R.M. Lynch y R.W. Williamson. *Contabilidad para la gerencia*. C.E.C.S.A., México (1985).

[Mallo, 1986] C. Mallo. *Contabilidad Analítica: Costes Rendimientos Precios y Resultados* (3ª Ed.). Ministerio de Economía y Hacienda, Instituto de Planificación Contable, Madrid (1986).

[Mallo *et al.*, 1994] C. Mallo, F. Mir, J.M. Requena y V. Serra. *Contabilidad de Gestión (Contabilidad Interna). Cálculo análisis y control de costes para la toma de decisiones*. Ariel Economía, Barcelona (1994).

[Mendaña-Cuervo, 1995] C. Mendaña Cuervo. Análisis del Umbral de Rentabilidad Borroso: Un desarrollo operativo en Hoja Electrónica de Cálculo para el análisis de sensibilidad en incertidumbre. Proc. *II Congreso de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy*, Santiago de Compostela (1995): 277-307.

[Mendaña-Cuervo, 1997] C. Mendaña Cuervo The profitability threshold in pricing policy under conditions of uncertainty. Proc. VI International Conference of the European Association of Management and Business Economics, Chania (1997).

[Mansur, 1995] Y.M. Mansur. *Fuzzy Sets and Economics: Applications of fuzzy mathematics to non-cooperative oligopoly*. Edward Elgar. Cambridge (1995).

[McNamee, 1989] P. McNamee. *Management Accounting: Strategic planning and marketing*. Heinemann, Londres (1989).

[Meunier *et al.*, 1987] H. Meunier, F. de Barolet y P. Boulmer. *La tesorería de las empresas*. Bordas, París (1987).

[Meyer, 1989] J. Meyer. *Gestión Presupuestaria*. Deusto, Bilbao (1989).

[Michalewicz, 1992] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag, Berlín (1992).

[Michalewicz, 1992] Z. Michalewicz. A Genetic Algorithm for the Linear Transportation Problem. *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics 21* (1991): 445-452.

[Michell, 1996] M. Mitchell. *An Introduction to Genetic Algorithms*. The MIT Press, Michigan (1996).

[Narasimhan *et al.*, 1996] S. Narasimham, D.W. McLeavy y P. Billington. *Planeación de la Producción y Control de Inventarios*. Prentice-Hall, México (1996).

[Nissen y Biethahn, 1995] V. Nissen y J. Biethahn. Determining a Good Inventory Policy with a Genetic Algorithm. Incluido en: *Evolutionary Algorithms in Management Applications*, J. Biethahn y V. Nissen (Eds.), Springer-Verlag, Berlín (1995).

[Pal y Wang, 1996] S.K. Pal y P.P. Wang. *Genetic Algorithms for Pattern Recognition*. CRCPress (1996).

[Peña-Baztán, 1990] M. Peña-Baztán. *Dirección de personal. Organización y técnicas*. Hispano-Europea, Barcelona (6ª Ed. 1990).

[Perdersen, 1958] H. W. Pedersen. *Los costes y la política de precios*. Aguilar, Madrid (1958).

[Pfeffer, 1995] J. Pfeffer, *Competitive Advantage through People: Unleashing the Power of the Workforce*. Harvard Business School Publishing, Boston (1995).

[Rapin y Poly, 1961] A. Rapin y J. Poly. *Contabilidad Analítica de Explotación*. Deusto, Bilbao (1961).

[Rechemberg, 1973] I. Rechemberg. *Evolution strategie: Optimierung Technischer Systeme nach Prinzipien der Biologischen Evolution*. Frommann-Holzboog, Stuttgart (1973).

[Rixen et al., 1995] I. Rixen, C. Bierwirth y H. Kopfer. A Case Study of Operational Just-In-Time Scheduling Using Genetic Algorithms. Incluido en: *Evolutionary Algorithms in Management Applications*, J. Biethahn y V. Nissen (Eds.), Springer-Verlag, Berlín (1995).

[Roland, 1994] G. Roland. *Financial Planning Models*. Academic Press, Londres (1994).

[Sakanashi et al., 1994] H. Sakanashi, K. Suzuki y Y. Kakazu. Controlling Dynamics of GA Through Filtered Evaluation Function. Parallel Problem. *Solving from Nature 3*. Y. Davidor, H.P. Schwefel, R. Männer (Eds.), Springer-Verlag, Berlín (1994): 239-248.

[Santesmases, 1991] M. Santesmases. *Marketing: Conceptos y Estrategias*. Pirámide, Madrid (1991).

[Schmalenbach, 1934] E. Schmalenbach. *Selbstkostenrechnung und preispolitik*. Leipzig (1934).

[Schneider, 1960] E. Schneider. *Contabilidad industrial*. Aguilar, Madrid (1960).

[Siegel et al., 1995] P. H. Siegel, A. de Korvin y K. Omer. *Application of Fuzzy Sets and the Theory of Evidence to Accounting*. Jai Press, Londres (1995).

[Strauss y Sayles, 1981] G. Strauss y L.R. Sayles. *Personnel, The Human Problem of Management*, Prentice-Hall, Nueva York (1981).

[Syswerda, 1989] G. Syswerda. Uniform Crossover in Genetic Algorithms. Proc. *III Int. Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann Publisher, Los Altos(1989): 2-9.

[Syswerda, 1991] G. Syswerda. Schedule Optimization Using Genetic Algorithms. Proc. *III Int. Conf. On Genetic Algorithms*, L. Davis (Ed.), Van Nostrand Reinhold, Nueva York (1991): 332-349.

[Tawfik y Chauvel, 1984] L. Tawfik, y A.M. Chauvel. *Administración de la producción*. Interamericana, México (1984).

[Terceño, 1995] A. Terceño. *Instrumentos para el análisis de las operaciones financieras con datos inciertos*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona (1995).

[Tong y Bonissone, 1980] M. Tong y P. P. Bonissone. A Linguistic Approach to Decision Making with Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 10 (1980): 716-723.

[Turban y Meredith, 1991] E. Turban y J.R. Meredith. *Fundamentals of Management Science*. IRWIN, Boston (5ª Ed. 1991).

[Vatter, 1969] W.J. Vatter. *Operating Budgets*. Wadsworth Publishing Company, California (1969).

[Vatter, 1971] W.J. Vatter. *Presupuestos de Operación*. Herrero Hnos., México (1983).

[Vignaux y Michalewicz, 1991] G.A. Vignaux y Z. Michalewicz. A Genetic Algorithm for the Linear Transportation Problem. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 2, vol. 21 (1991).

[Welsch, 1986] G.A. Welsch. *Presupuestos: Planificación y Control de Utilidades*. Prentice-Hall, Mexico (1986).

[Whan y Zaltman, 1987] P.C. Whan y I. Zaltman. *Marketing Management*. Dryden Press, Hinsdale, Illinois (1987).

[Whitley *et al.*, 1989] D. Withley, T. Starkweather y D. Fuquay. Scheduling Problems and Travelling Salesman: The Genetic Edge Recombination Operator. Proc. *III Conf. On Genetic Algorithms*, J.D. Schaffer (Ed.). Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo (1989): 133-140.

[Whitley y Schaffer, 1992] D. Whitley y J.D. Schaffer (Eds.). *Proc. Int Workshop on Combining of Genetic Algorithms and Neural Networks*. IEEE Computer Society Press (1992).

[Winter *et al.*, 1995] G. Winter, J. Périaux, M. Galán y P. Cuesta (Eds.). *Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science*. John Wiley, Nueva Jersey (1995).

[Yager y Filev, 1994] R. R. Yager. y D. P. Filev. *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*. John Wiley & Sons, Nueva Jersey (1994).

[Yager, 1988] R.R. Yager. On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 18 (1988): 183-190.

[Yager, 1992a] R.R. Yager. Fuzzy Screening Systems. *Fuzzy Logic: State of the Art*, R. Lowen (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Boston (1993): 251-261.

[Yager, 1992b] R.R. Yager. Applications and Extension of OWA Aggregation. *Int. Journal of Man-Machine Studies* 37 (1992): 103-132.

[Yager, 1995] R.R. Yager. An Approach to Ordinal Decision Making. *Int. Journal Approximate Reasoning* 12 (1995): 237-261.

[Ye y Gu, 1994] Z. Ye y L. Gu. A Fuzzy System for Trading the Shanghai Stock Market. Incluido en: *Trading on the Edge: Neural, Genetic and Fuzzy Systems for Chaotic Financial Markets*, G. Deboeck (Ed.), John Wiley, Nueva Jersey (1994): 207-214.

[Zadeh, 1965] L.A. Zadeh. Fuzzy Sets. *Information and Control* 8 (1965): 338-353

[Zadeh, 1975] L.A. Zadeh. The Concept of a Linguistic Variable and its Applications to Approximate Reasoning. Parte 1, *Information Sciences* 8: 199-249, Parte II, *Information Sciences* 8: 301-357, Parte III, *Information Sciences* 9: 43-80.

[Zadeh, 1983] L. A. Zadeh. A Computational Approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Languages. *Computers and Mathematics with Applications* 9 (1983): 149-184.

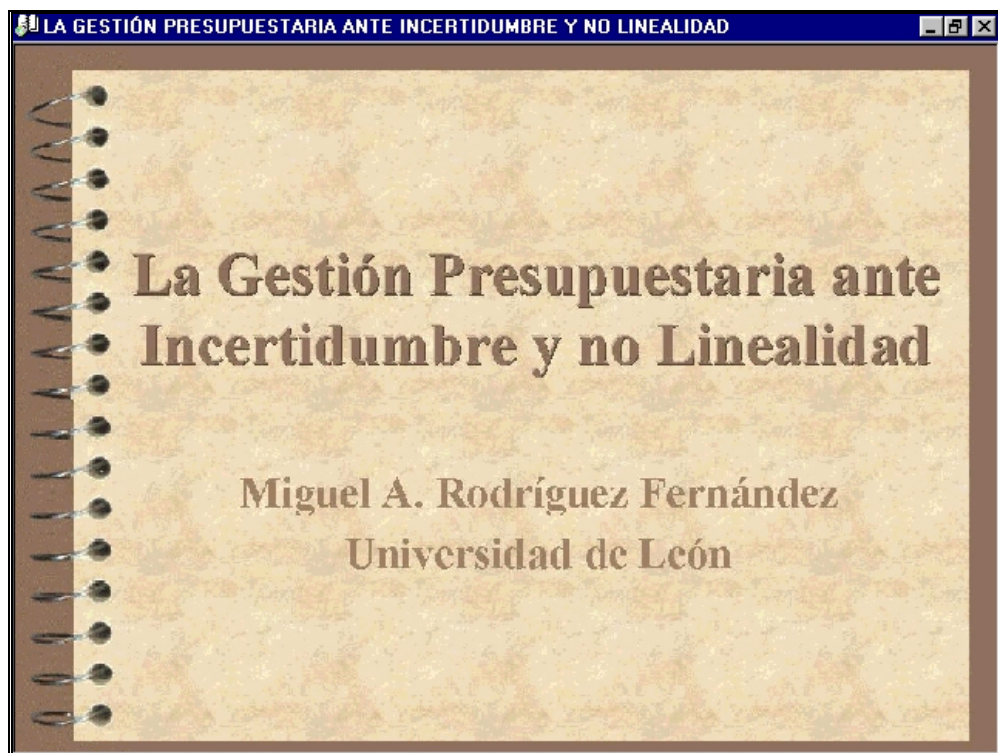
[Zebda, 1984] A. Zebda. The Investigation of Cost Variances: A Fuzzy Sets Theory Approach. *Decision Sciences* 15 (1984): 359-389.

[Zimmermann, 1985] H.J. Zimmermann. *Fuzzy sets: theory and its applications*. Kluwer Academic Publishers, Berlín (1985).

XII. ANEXO

EJEMPLOS DE PANTALLAS DEL SOFTWARE DESARROLLADO

PRESENTACIÓN:



PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN:



Presupuesto de Producción

Productos **Presupuesto**

Parámetros del Algoritmo Genético

Porcentaje de cruce: Inicial 50 % Final 50 %

Porcentaje de mutación: Inicial 10 % Final 10 %

Número de generaciones: 100

Velocidad de selección: 1

Individuos en cada generación: 50

0

Comenzar

Ver gráfico

Solución:

	MESAS	SILLAS	ARMARIOS	CAMAS	MESILLAS
Producción:	382	306	784	424	400

Beneficio borroso (NBT): 6241870 6243070 6243470 6243870



PRESUPUESTO DE MATERIALES:



Presupuesto de Materiales

Demanda Costes COP

Demanda del período (NBT):

5000 5250 5500 5700

Introducir la Demanda del Período

Ejemplo

Presupuesto de Materiales

Demanda **Costes** **COP**

Coste de adquisición Coste de posesión Coste de lanzamiento Coste de depreciación

Número de tramos de descuento hasta la máxima cantidad de pedido:

Tramos y precios de los descuentos por volumen

	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:	
Hasta-1000	25	25	25	25	
1000-2000	24	24	24	24	
2000-3000	23	23	23	23	

Presupuesto de Materiales

Demanda **Costes** **COP**

Parámetros del Algoritmo Genético

Porcentaje de cruce: % %

Porcentaje de mutación: % %

Número de generaciones:

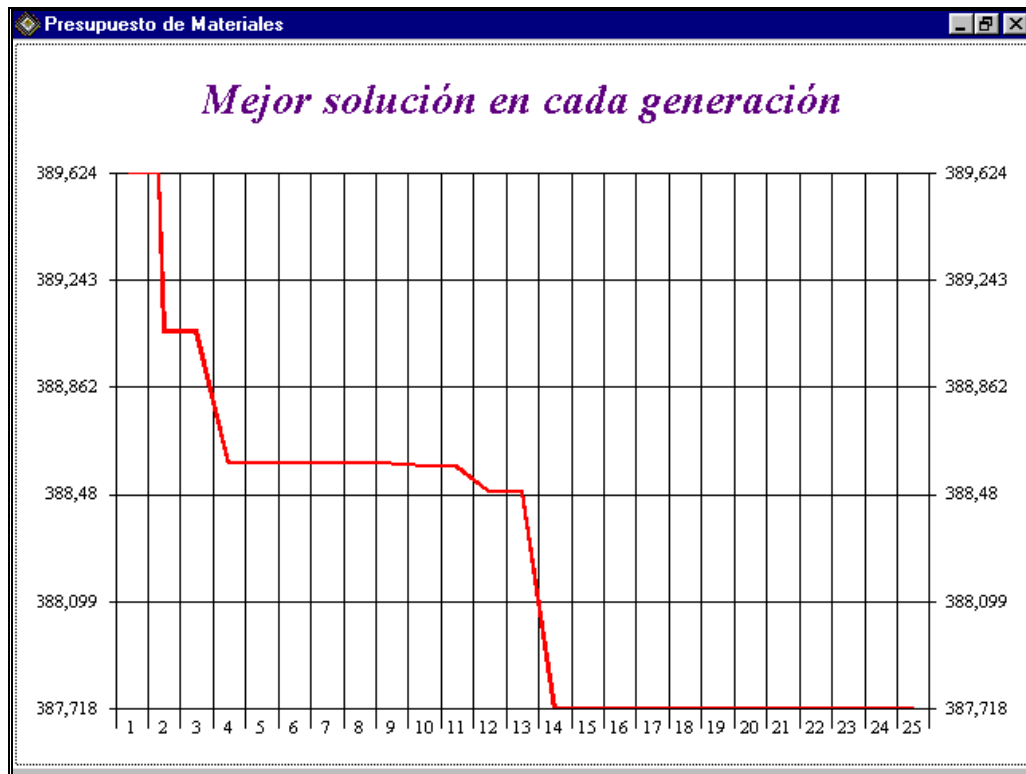
Velocidad de selección:

Individuos en cada generación:

Solución:

Cantidad a pedir:

Coste borroso (NBT):



PRESUPUESTO DE PERSONAL:

LA GESTIÓN PRESUPUESTARIA ANTE INCERTIDUMBRE Y NO LINEALIDAD

Pulse aquí para acceder a la Aplicación del Presupuesto de Personal

Presupuesto de Producción	Presupuesto de Materiales	Presupuesto de Personal	Presupuesto de Promoción	Presupuesto de Distribución	Presupuesto de Tesorería
---------------------------	---------------------------	--------------------------------	--------------------------	-----------------------------	--------------------------

Presupuesto de Personal [Iconos de ventana]

Puestos | **Personal** | **Asignación**

Número de Puestos de Trabajo: [Ejemplo] **5** [Intro]

Puesto 1 | Puesto 2 | Puesto 3 | Puesto 4 | Puesto 5

Nombre del Puesto: **INGENIERO**

Importancia del Puesto: **Imprescindible**

Lista de Competencias:

Competencias del Puesto	Importancia
Ordenar	Alta
Autorizar/delegar	Bastante Alta

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5
Relacionado con:	-	X	X	X	X
Importancia:		Bastante Alta	Alta	Media	Bastante baja

[Recoger datos del puesto]

Presupuesto de Personal [Iconos de ventana]

Puestos | **Personal** | **Asignación**

Número de Personas disponibles: **11** [Intro]

Cand. 1 | Cand. 2 | Cand. 3 | Cand. 4 | Cand. 5 | Cand. 6 | Cand. 7 | Cand. 8 | Cand. 9 | Cand. 10 | Cand. 11

Nombre del Candidato: **C.1**

Competencias	Nivel del Candidato
Ordenar	Bajo
Autorizar/delegar	Bajo
Trabajar en equipo	Medio
Flexibilidad	Alto

	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5
Relación:	-	Mala	Mala	Muy mala	Indiferente

[Recoger datos del candidato]

Presupuesto de Personal

Puestos **Personal** **Asignación**

Datos del Algoritmo Genético

	Inicial	Final
Porcentaje de cruce:	0.6	0.6
Porcentaje de mutación:	0.4	0.4
Número de generaciones:	25	
Velocidad de selección:	1	
Individuos en cada generación:	20	

Selección: Distancia borrosa Lingüística

Metas: **Competencia** **Relación**

Elitismo: Suma Maxmin

Importancia Competencia - Nivel Individuo Relaciones Puestos - Relaciones Personas Importancia Puestos - Competencia Individuo

LOWA: Cuantificador (a/b):

Conjunción lingüística: Clásica Nilpotente Débil

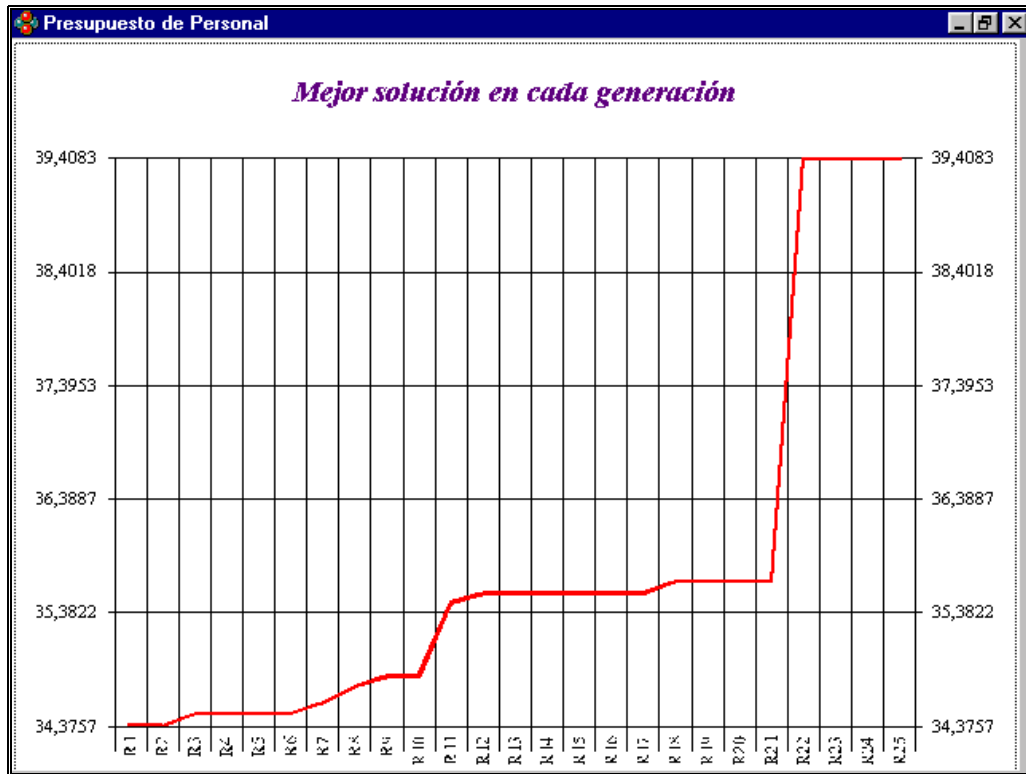
0 **Comenzar** **Ver Gráfico**

Solución:

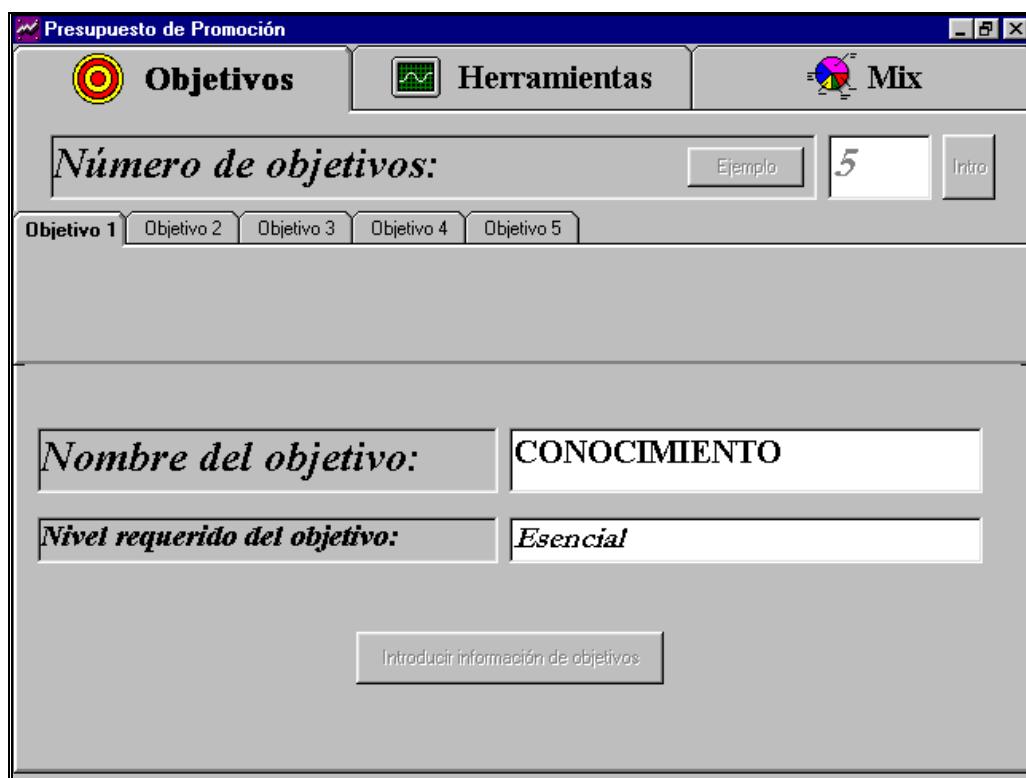
	INGENIERO	SUPERVISOR	OFICIAL
Candidato:	9		6
Nombre:	C.9	C.6	C.7

COMPETENCIA:

RELACIÓN:



PRESUPUESTO DE PROMOCIÓN:



Presupuesto de Promoción

Objetivos | Herramientas | Mix

Número de herramientas:

Herram. 1 | Herram. 2 | Herram. 3 | Herram. 4 | Herram. 5 | Herram. 6 | Herram. 7 | Herram. 8

Nombre de la herramienta:

Número de inserciones hasta el máximo nivel de gasto:

Nivel de los objetivos alcanzado

INSERCIÓNES	CONOCIMIENTO	RECONOCIMIE	COMPRA
1	Muy Alto	Alto	Medio
2	Esencial	Muy Alto	Medio

Presupuesto de Promoción

Objetivos | Herramientas | Mix

Máximo nivel de gasto:

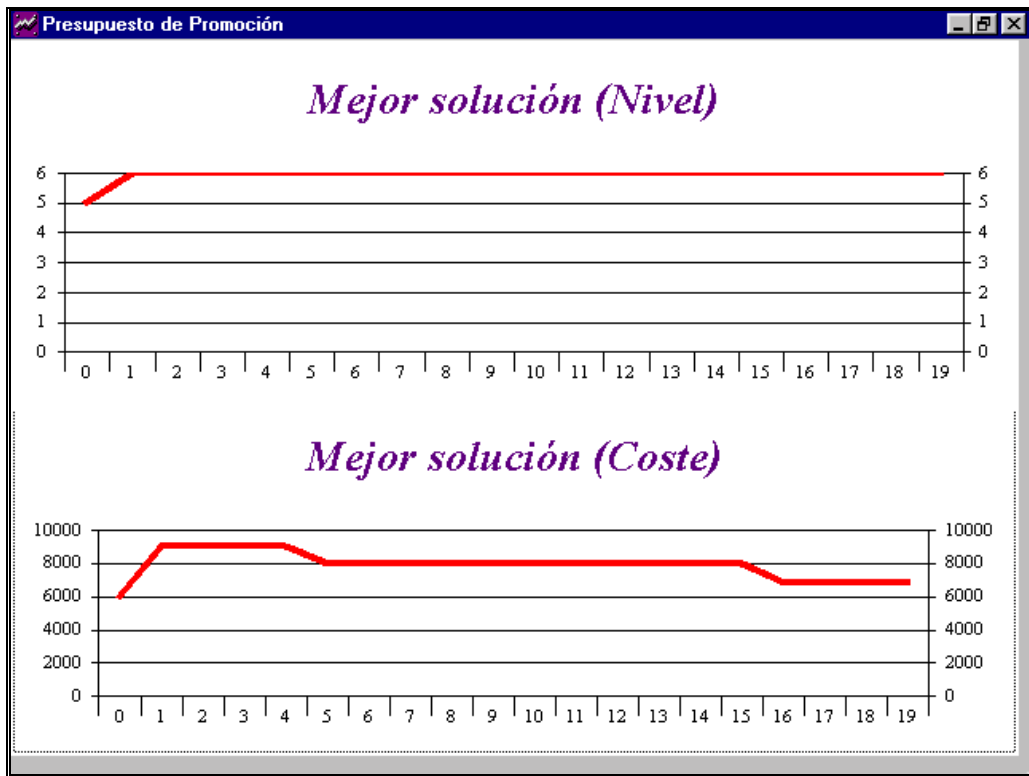
Parámetros del Algoritmo Genético

	Inicial	Final
Porcentaje de cruce:	<input type="text" value="50"/> %	<input type="text" value="50"/> %
Porcentaje de mutación:	<input type="text" value="30"/> %	<input type="text" value="20"/> %
Número de generaciones:	<input type="text" value="20"/>	
Velocidad de selección:	<input type="text" value="1"/>	
Número de cadenas:	<input type="text" value="10"/>	

Solución:

	Anuncios de Te	Anuncios de Ra	Anuncios de Pr	Vendedores	Descuentos	Premios
Inversión:	3000	0	0	2000	1800	

Nivel de Objetivos: **Coste del Mix:**



PRESUPUESTO DE DISTRIBUCIÓN:



Presupuesto de Distribución

Fábricas **Cientes** **Distribución**

Número de fábricas:

Fábrica 1 Fábrica 2 Fábrica 3 Fábrica 4

Nombre de la fábrica:

Presupuesto de producción (lotes):

Capacidad del vehículo:

Coste de transporte por Km. vacío:

Aumento en el coste de transporte por Km. y unidad (NBT):

Presupuesto de Distribución

Fábricas **Cientes** **Distribución**

Número de clientes:

Ciente 1 Cliente 2 Cliente 3 Cliente 4 Cliente 5 Cliente 6 Cliente 7 Cliente 8

Nombre del cliente:

Necesidades del cliente en lotes (NBT):

Distancias Fábricas/Cientes

	A	B	C
Uno	50	30	
Dos	30	35	
Tres	35	60	
Cuatro	25	40	
Cinco	50	30	
Seis	40	45	

Distancias Clientes/Cientes

	Uno	Dos	Tres
Uno	0	25	
Dos	40	0	
Tres	25	35	
Cuatro	40	45	
Cinco	40	35	
Seis	20	35	

Presupuesto de Distribución

Fábricas Clientes Distribución

Parámetros del Algoritmo Genético

	Inicial	Final
Porcentaje de cruce:	50 %	50 %
Porcentaje de mutación:	30 %	20 %
Número de generaciones:	100	
Velocidad de selección:	1	
Individuos en cada generación:	10	

0

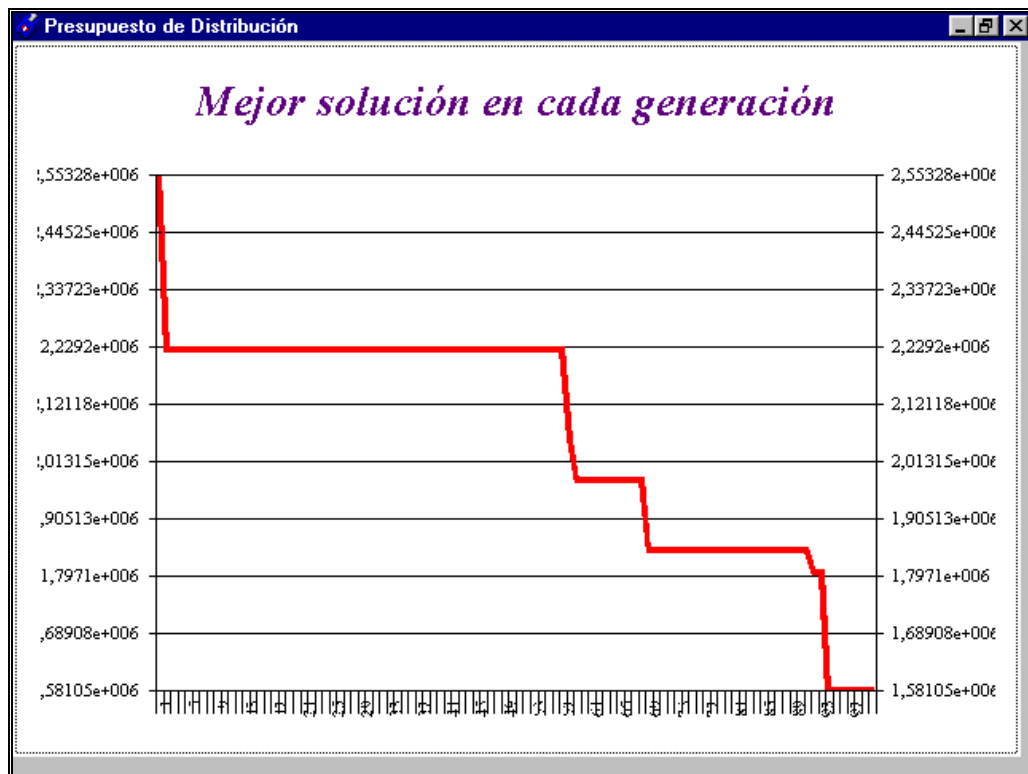
Comenzar

Ver gráfico

Solución:

	Fábrica A	Fábrica B	Fábrica C	Fábrica D	TOTAL
Cliente Uno	11 (5ª)	469 (3ª)	7 (8ª)	13 (7ª)	500
Cliente Dos	175 (2ª)	426 (2ª)	882 (3ª)	17 (5ª)	1500
Cliente Tres	187 (6ª)	330 (5ª)	256 (2ª)	27 (1ª)	800
Cliente Cuatro	510 (8ª)	133 (7ª)	800 (1ª)	157 (2ª)	1600

Coste borroso (NBT): 1259475 1581050 1581050 1902625



PRESUPUESTO DE TESORERÍA:



Flujos de fondos **Inversión** **Financiación** **Presupuesto**

Ejemplo

Saldo inicial: 200000

Número de flujos de fondos: 15

Importes	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:
Flujo 1	-60000	-55000	-55000	-50000
Flujo 2	-170000	-170000	-170000	-170000
Flujo 3	150000	155000	155000	160000
Flujo 4	-120000	-110000	-105000	-100000

Vencimientos	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:
Flujo 1	5	5	5	5
Flujo 2	20	25	25	28
Flujo 3	45	45	45	45
Flujo 4	60	61	62	62

Presupuesto de Tesorería

Flujos de fondos | **Inversión** | Financiación | Presupuesto

Número de inversiones disponibles:

Interés	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:
Inversión 1	,03	,03	,03	,03
Inversión 2	,05	,06	,06	,07
Inversión 3	,09	,1	,1	,11
Inversión 4	,15	,16	,17	,18

Plazo	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:
Inversión 1	30	30	30	30
Inversión 2	45	45	45	45
Inversión 3	60	65	68	70
Inversión 4	100	100	100	100

Cte. de Cancel.	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:
Inversión 1	,01	,01	,01	,01
Inversión 2	,03	,03	,03	,03
Inversión 3	,08	,08	,08	,08
Inversión 4	,12	,14	,15	,15

Presupuesto de Tesorería

Flujos de fondos | Inversión | **Financiación** | Presupuesto

Número de fuentes disponibles:

Interés	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:
Financiación 1	,03	,04	,04	,05
Financiación 2	,05	,05	,05	,05
Financiación 3	,08	,09	,09	,1
Financiación 4	,1	,1	,1	,1

Importe máximo	No menor que:	Igual que:	Igual que:	No mayor que:
Financiación 1	20000	20000	20000	20000
Financiación 2	50000	50000	50000	50000
Financiación 3	100000	110000	110000	120000
Financiación 4	200000	200000	200000	200000

Presupuesto de Tesorería

Flujos de fondos Inversión Financiación Presupuesto

Parámetros del Algoritmo Genético

	Inicial	Final
Porcentaje de cruce:	50 %	50 %
Porcentaje de mutación:	10 %	40 %
Número de generaciones:	50	
Velocidad de selección:	1	
Individuos en cada generación:	10	

0

Comenzar

Ver gráfico

Solución:

	Saldo durante (5, 5, 5, 5) días	Saldo durante (15, 20, 20, 23) días	Saldo durante (17, 20, 2
	(200000, 200000, 200000, 200000)	(140000, 145000, 145000, 150000)	(-30000, -25000, -2500
Tramo 1	Inversión nº 4	Inversión nº 4	Financiación nº
Tramo 2			

Rentabilidad esperada: 96029 211604 251274 336473

