

Escuela Superior de Ingenieros

Modelado de una Cadena de Suministro de Componentes Críticos mediante Técnicas de Simulación Continua

Proyecto Fin de Carrera

Alejandro Guerrero Bolaños

Índice del proyecto

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	8
ÍNDICE DEL CAPÍTULO	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 <i>Objetivo Principal</i>	12
1.2.2 <i>Objetivos secundarios</i>	12
1.3 SUMARIO	13
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	15
ÍNDICE DEL CAPÍTULO	15
2.1 APROVISIONAMIENTO DE COMPONENTES CRÍTICOS	16
2.1.1 <i>Elección del número de proveedores</i>	17
2.1.2 <i>Tipos de contratos a considerar dentro del Portfolio</i>	19
2.2 RELACIONES CLIENTE-PROVEEDOR. PARTNERSHIP-SOURCING.....	21
2.3 DINÁMICA DE SISTEMAS.	27
2.3.1 <i>Noción de Sistema Dinámico</i>	27
2.3.2 <i>La Dinámica de Sistemas</i>	29
2.3.3 <i>La Dinámica de Sistemas en la gestión de la cadena de suministro</i>	30
2.3.4 <i>Simulación continua</i>	31
2.3.5 <i>Sobre el software de simulación Vensim®</i>	32
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO	36
ÍNDICE DEL CAPÍTULO	36
3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO	38
3.1.1 <i>El modelo en la estructura de la empresa</i>	38
3.1.2 <i>Relación del fabricante con el modelo</i>	39
3.1.2 <i>Relación de los proveedores con el modelo</i>	41
3.1.4 <i>Estructura del modelo en Vensim®</i>	45
3.2 MÓDULO DE FLUJO DE MATERIALES	49
3.2.1 <i>Definición de la Demanda</i>	49
3.2.2 <i>Definición de la tasa de fabricación</i>	58
3.2.3 <i>Definición de los precios de compra</i>	68
3.2.4. <i>Definición de las órdenes de suministro para las fábricas</i>	85
3.2.5. <i>Modelo de la gestión de inventarios</i>	93

3.3 MÓDULO DE COSTES DEL FABRICANTE	103
3.3.1 <i>Introducción</i>	103
3.3.2 <i>Políticas de aprovisionamiento contempladas en el modelo</i>	105
3.3.3 <i>Ecuaciones del modelo económico del fabricante</i>	107
3.4 MÓDULO FINANCIERO DEL PROVEEDOR	118
3.4.1 <i>Introducción</i>	118
3.4.2 <i>Ecuaciones del modelo del proveedor</i>	119
3.5 ESTUDIO DE SIMULACIÓN	126
3.5.1 <i>Características comunes de todas las carteras de contratación</i>	127
3.5.2 <i>Cartera actual de contratos: Current</i>	130
3.5.3 <i>Cartera de contratos Portfolio 1</i>	132
3.5.4 <i>Cartera de contratos Portfolio 2</i>	134
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	135
ÍNDICE DEL CAPÍTULO	135
4.1 PROCESO DE VALIDACIÓN DEL MODELO.	136
4.2 RESULTADOS DEL PROYECTO.....	141
4.2.1 <i>Resultados para el fabricante</i>	141
4.2.2 <i>Resultados económicos para el proveedor</i>	177
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	183
ÍNDICE DEL CAPÍTULO	183
5.1 SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	184
5.2 SOBRE LOS RESULTADOS DEL MODELO.	186
5.3 SOBRE LOS ASPECTOS CLAVES EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	188
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA	189
ANEXO I: ECUACIONES DEL MODELO	190

Índice de Figuras

FIGURA 2.1 MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE COMPONENTES	25
FIGURA 3.1 ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO DE SIMULACIÓN DENTRO DE LA ORGANIZACIÓN	38
FIGURA 3.2 MODELO DE FLUJO DE MATERIALES EN VENSIM®	48
FIGURA 3.3 ESQUEMA EN VENSIM® DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA GLOBAL	50
FIGURA 3.4 ÁRBOL DE RELACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA DEMANDA	53
FIGURA 3.5 GRÁFICA DE LA VARIABLE $SAMPLE AWD_T$	55
FIGURA 3.6 ÁRBOL DE VARIABLES Y PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL ICP Y EL INVENTARIO DESEADO	59
FIGURA 3.7 ESQUEMA EN VENSIM® DEL MODELADO DE LA TASA DE FABRICACIÓN	63
FIGURA 3.8 ERROR MEDIO EN EL CÁLCULO DEL PRECIO Y DESVIACIÓN TÍPICA	71
FIGURA 3.9 GRÁFICO DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PREVISIÓN DE PRECIOS	77
FIGURA 3.10 MODELADO DE LA REVISIÓN DE PRECIOS EN VENSIM®	77
FIGURA 3.11 ESQUEMA DEL CÁLCULO DEL PRECIO DE COMPRA A CADA PROVEEDOR	81
FIGURA 3.12 GRÁFICA DE LA VARIABLE $SAMPLE RP_T$	83
FIGURA 3.13 ESQUEMA DE LA GENERACIÓN DE LAS ÓRDENES DE APROVISIONAMIENTO DE LA FÁBRICA	86
FIGURA 3.14 ESQUEMA EN VENSIM® DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS	94
FIGURA 3.15 ESQUEMA EN VENSIM® DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS	96
FIGURA 3.16 MODELO DE COSTES DEL FABRICANTE EN VENSIM®	104
FIGURA 3.17 ESQUEMA DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON <i>TOTAL PARTS PULLED</i>	114
FIGURA 3.18 MODELO FINANCIERO DEL PROVEEDOR EN VENSIM®	118
FIGURA 3.19 PAGOS DEL PROVEEDOR	119
FIGURA 3.20 ESQUEMA DE LA VARIABLE <i>INVENTORY REQUIREMENTS</i>	121
FIGURA 3.21 ESQUEMA DEL CÁLCULO DE LOS PAGOS AL PROVEEDOR	123
FIGURA 3.22 PORCENTAJE DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES POR UNIDAD FABRICADA	128
FIGURA 4.1 ESQUEMA DE VALIDACIÓN DEL MODELO	137
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE VALIDACIÓN DEL MODELO	138
FIGURA 4.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA NPV DEL COSTE ACUMULADO DE COMPRAS	143
FIGURA 4.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL COSTE DE APROVISIONAMIENTO DE PORTFOLIO 2	144
FIGURA 4.5 DISTRIBUCIÓN NORMAL DEL NPV DEL COSTE TOTAL ACUMULADO DE COMPRAS	145
FIGURA 4.6 HISTOGRAMA EN VENSIM	146
FIGURA 4.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL COSTE POR UNIDAD SUMINISTRADA POR CARTERA	147
FIGURA 4.8 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN, AJUSTADOS A LA DISTRIBUCIÓN NORMAL	148
FIGURA 4.9 COSTE ACUMULADO DE COMPRAS PARA UN ESCENARIO CONCRETO	149
FIGURA 4.10 COSTE SEMANAL DE COMPRAS PARA EL PROVEEDOR 1	151

FIGURA 4.11 COSTE ACUMULADO DE COMPRAS PARA EL PROVEEDOR 1.....	151
FIGURA 4.12 NPV DE LOS INGRESOS DEL PROVEEDOR 1.....	152
FIGURA 4.13 NPV DE LOS INGRESOS DEL PROVEEDOR 2.....	153
FIGURA 4.14 DEMANDA SOLICITADA AL PROVEEDOR 3.....	154
FIGURA 4.15 NPV DE LOS INGRESOS DEL PROVEEDOR 3.....	155
FIGURA 4.16 BACKLOG PRODUCIDO POR LAS POLÍTICAS ACTUALES.....	157
FIGURA 4.17 BACKLOG PRODUCIDO POR LAS NUEVAS ESTRATEGIAS DE APROVISIONAMIENTO.....	157
FIGURA 4.18 BACKLOG DEL PROVEEDOR 2 EN LAS CARTERAS PORTFOLIO 1 Y PORTFOLIO 2.....	158
FIGURA 4.19 DEMANDA SOLICITADA AL PROVEEDOR 2.....	159
FIGURA 4.20 TOTAL DE UNIDADES SUMINISTRADAS A LA FÁBRICA.....	160
FIGURA 4.21 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VMI.....	161
FIGURA 4.22 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LOI.....	163
FIGURA 4.23 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LLI.....	164
FIGURA 4.24 PRECIO REAL PARA EL MODELO FRENTE A LA PREVISIÓN DEL FABRICANTE.....	166
FIGURA 4.25 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA REAL PRICE.....	167
FIGURA 4.26 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA DEMANDA AL PROVEEDOR 1.....	168
FIGURA 4.27 CANTIDAD DEMANDADA AL PROVEEDOR 1 EN UN ESCENARIO PARTICULAR.....	169
FIGURA 4.28 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA TASA DE FABRICACIÓN.....	170
FIGURA 4.29 DEMANDA SOLICITADA AL PROVEEDOR 2.....	171
FIGURA 4.30 DEMANDA AL PROVEEDOR 2 EN UN ESCENARIO CONCRETO.....	172
FIGURA 4.31 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA TASA DE FABRICACIÓN DEL PROVEEDOR 2.....	173
FIGURA 4.32 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA DEMANDA DEL PROVEEDOR 3.....	174
FIGURA 4.33 DEMANDA ACUMULADA AL PROVEEDOR 3 EN UN ESCENARIO CONCRETO.....	175
FIGURA 4.34 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA TASA DE FABRICACIÓN.....	176
FIGURA 4.35 EVOLUCIÓN DEL CAPITAL CIRCULANTE (WCR).....	178
FIGURA 4.36 EVOLUCIÓN DEL CAPITAL CIRCULANTE (WCR) PARA EL PROVEEDOR 1.....	179
FIGURA 4.37 EVOLUCIÓN DEL CAPITAL CIRCULANTE (WCR) PARA EL PROVEEDOR 2.....	180
FIGURA 4.38 EVOLUCIÓN DEL CAPITAL CIRCULANTE (WCR) PARA EL PROVEEDOR 3.....	181

Índice de Tablas

TABLA 3.1 REPARTO DE LA DEMANDA PARA CADA UNO DE LOS PROVEEDORES	54
TABLA 3.2 SEMANAS DE INVENTARIO EN LAS POLÍTICAS SIMULADAS A PARTIR DE 52 SEMANAS.....	60
TABLA 3.3 FUTURE UPSIDE FLEX POR PROVEEDOR Y CARTERA	61
TABLA 3.4 VALORES DEL PARÁMETRO FORWARD CONTRACT.....	65
TABLA 3.5 TIEMPO DE AJUSTE DE INVENTARIO POR PROVEEDOR Y CARTERA	65
TABLA 3.6 HISTÓRICO DE PRECIOS Y PREVISIONES PARA EL AÑO 2010.....	70
TABLA 3.7 DIFERENCIA ENTRE LOS PRECIOS DE UN MES Y DEL ANTERIOR	72
TABLA 3.8 TABLA PARA LA GENERACIÓN DE LOS PRECIOS FUTUROS.....	74
TABLA 3.9 DESCUENTOS QUE SE APLICAN A POR PROVEEDOR Y CARTERA	84
TABLA 3.10 DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA DE LA FÁBRICA POR PROVEEDOR	90
TABLA 3.11 COSTES FIJOS SEGÚN PROVEEDOR	120
TABLA 3.12 WPO POR PROVEEDOR	120
TABLA 3.13 MÁRGENES OPERATIVOS DE LOS PROVEEDORES	122
TABLA 3.14 WEEKS OF SALE OUTSTANDING	124
TABLA 3.15 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS PROVEEDORES EXENTOS DE NEGOCIACIÓN	130
TABLA 3.16 PARÁMETROS QUE DEFINEN LA CARTERA CURRENT.....	131
TABLA 3.17 PARÁMETROS QUE DEFINEN LA CARTERA PORTFOLIO 1	132
TABLA 3.18 PARÁMETROS QUE DEFINEN LA CARTERA PORTFOLIO 2	134
TABLA 4. 1 COSTES TOTALES DE COMPRA DEL ESCENARIO.....	150

Capítulo 1. Introducción y objetivos

Índice del Capítulo

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 <i>Objetivo Principal</i>	12
1.2.2 <i>Objetivos secundarios</i>	12
1.3 SUMARIO	13

1.1 Introducción

La gestión de la cadena de suministro es uno de los aspectos en los que más énfasis se ha hecho en el mundo empresarial en los últimos años. La cadena de suministro engloba los procesos de negocio, las personas, la organización, la tecnología y la infraestructura física que permite la transformación de materias primas en productos y servicios intermedios y terminados que son ofrecidos y distribuidos al consumidor para satisfacer su demanda. En este proyecto se hará énfasis en el eslabón que constituye la recepción de materiales para su posterior transformación.

La gestión eficiente de este tipo de procesos supone casi una exigencia para las grandes empresas. Esto se debe a que la competitividad en el mercado cada vez es mayor y es necesario el encontrar ventajas competitivas.

La globalización del mundo empresarial ha traído consigo un aumento importante de la competitividad debido a la apertura de nuevos mercados. Esto obliga a las empresas a competir con entidades cuyos costes de personal, costes financieros, etc. son muy competitivos. Es por ello que cualquier estrategia que consiga optimizar o mejorar los procesos importantes a nivel de costes constituye un factor decisivo para la supervivencia de la empresa.

Uno de los sectores que más ha sufrido la entrada de las economías emergentes es el de las nuevas tecnologías. La entrada de países en los que la productividad es tan alta y los salarios tan bajos comparados con los de las economías del primer mundo dificulta sobremanera el éxito de las empresas occidentales. Es por ello que cualquier foco de optimización ha de ser tratado de la manera más efectiva y eficiente posible.

El proyecto que se va a desarrollar busca reducir los costes de aprovisionamiento de una empresa de base tecnológica. Dicha empresa emplea una serie de procedimientos para gestionar el aprovisionamiento de materias primas y busca con este principalmente abaratar en la medida de lo posible el proceso. El enfoque que se hará para ello será el de atacar los costes de aprovisionamiento de los componentes que más valor añaden al

proceso productivo, es decir, aquellos más críticos desde el punto de vista de la fabricación.

Se define como componente crítico aquel que es imprescindible para el normal funcionamiento de los procesos de fabricación. La política actual de aprovisionamiento de estos componentes se basa en dos aspectos principales:

- Contar con varios proveedores. El disponer de varias fuentes de aprovisionamiento hace que en el caso de que haya problemas con algún proveedor siempre pueda contarse con otros para suministro.
- Dimensionar inventarios para que no se produzcan roturas de Stock.

En cuanto a la primera estrategia, es una imposición de la empresa que se valora como positiva desde una perspectiva de seguridad. Además, el contar con varios proveedores permitirá condiciones de negociación diferentes que puede hacer que bajen los costes.

El segundo de los puntos será uno de los que con mayor profundidad se analizarán en el proyecto. La criticidad de los componentes hace necesario el contar con un colchón que permita asegurar el suministro en caso de problemas en los envíos. Sin embargo una política excesivamente conservadora puede hacer que el coste sea demasiado elevado en comparación con el riesgo que se evita.

Como se ha comentado, en el proyecto se van a considerar varias fuentes de aprovisionamiento, en concreto tres. Con cada uno de ellos hay en la actualidad hay firmados una serie de contratos que garantizan el suministro de un número variable de unidades con unas condiciones concretas de compra. Uno de los objetivos será revisar los términos de esos contratos para ajustarlos a una realidad más favorable a la empresa. Gracias al reajuste de estas carteras de contratos se podrán disminuir los costes de aprovisionamiento de la empresa. Estas carteras serán el objeto central de estudio del proyecto, puesto que en ella es donde residen la mayoría de las posibilidades de disminución de costes.

La cadena de suministro, como ya se ha comentado con anterioridad, engloba a todos los actores participantes en el proceso. Es por ello que en el trabajo

que se realice habrá que tener en cuenta no sólo los intereses del fabricante, sino también los de los diversos proveedores. Esto hará que la cadena funcione mejor en su conjunto y revertirá positivamente en el fabricante. Esto se debe a que una visión global es lo que permite hoy día alcanzar los mejores resultados locales (en este caso para el fabricante).

El último componente de la cadena que hay que tener en cuenta es el propio mercado de componentes. Muchos son los factores que actualmente afectan al valor estimado de los precios de un componente. Las leyes de la oferta y la demanda ya no son suficientes para hacer las previsiones. Factores como la situación geopolítica de proveedores o fabricantes, o el mercado de divisas serán elementos a tener muy en cuenta a la hora de hacer las previsiones correspondientes. Es por ello que en el proyecto este aspecto no se dejará de lado y será uno de los caballos de batalla del trabajo que en él se desarrolla.

Para conseguir los objetivos anteriormente comentados se empleará un modelo de simulación continua, basado en técnicas que nacen de la teoría de la dinámica de sistemas. La dinámica de sistemas es una metodología que se usa para comprender y discutir situaciones y problemas complejos. La dinámica de sistemas es actualmente usada en el sector empresarial para el análisis y diseño de políticas. Lo interesante de estas técnicas reside en que gracias a la metodología que se propone pueden verse los efectos que las estrategias tienen a lo largo de un periodo de tiempo.

Dentro de esta metodología, se empleará un software específico que permite la creación de modelos de simulación continua. La simulación continua es una rama de la dinámica de sistemas que se encarga del modelado de situaciones en las que las variables varían continuamente con el paso del tiempo. Este es el caso de la cadena de suministro en la que se va a trabajar, puesto que cada periodo de tiempo (semana en este caso) todas o gran parte de las variables del proceso cambian su valor.

El software en el que se va a desarrollar el proyecto es Vensim®. Vensim® es una herramienta gráfica de creación de modelos de simulación que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica

de Sistemas. Vensim® proporciona una forma simple y flexible de crear modelos de simulación, sean con diagramas causales o con diagramas de flujo.

El resultado de todo lo anterior es proyecto, titulado *Modelado de una Cadena de Suministro de Componentes Críticos mediante Técnicas de Simulación Continua*.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

El objetivo principal de este proyecto es disminuir los costes de aprovisionamiento de componentes críticos para un fabricante.

Para ello se creará un modelo de gestión global de la cadena de suministro de dichos componentes basado en técnicas de dinámica de sistemas. En concreto se empleará un modelo de simulación continua desarrollado en el software Vensim®.

Una vez desarrollado el modelo de gestión se valorarán diferentes alternativas en lo que se refiere a las políticas de contratación para poder así probar en el modelo distintos escenarios de contratación para poder conseguir con ellos la mayor reducción de costes posible.

1.2.2 Objetivos secundarios

Como objetivos secundarios del proyecto destacamos los siguientes:

- Mejorar el proceso de gestión de la cadena de suministro del fabricante. Se buscará emplear el conocimiento adquirido en el desarrollo del modelo para fortalecer las debilidades que se detecten en la organización.
- Proponer mejoras en algunos de los procesos de gestión de la empresa, tales como las previsiones de precios o previsión de la demanda. Una vez detectadas las debilidades comentadas anteriormente se procederá a ofrecer soluciones y a comprobar su funcionamiento a través de los resultados del modelo.
- Optimizar los indicadores de inventario. En este punto se asentarán las bases de la bajada de costes. El conocer los valores que permiten un

aprovisionamiento satisfactorio al menor coste será uno de los puntos más importantes del proyecto.

- Ofrecer al fabricante indicadores de mejora que afecten también a los proveedores para ayudar en la negociación de los contratos. Con esto se busca emplear los resultados del modelo en su conjunto. Con los números obtenidos en este apartado se espera poder negociar las mejoras de los contratos con una posición más asentada.

1.3 Sumario

El contenido de este proyecto se va a desarrollar en cuatro capítulos, cuyo contenido se detalla a continuación.

En primer lugar tenemos el capítulo 2, dedicado a los antecedentes del proyecto. Este capítulo comenzará hablando del concepto de Cadena de Suministro y de sus implicaciones. Tras ello se hablará del problema del aprovisionamiento de componentes críticos. En el siguiente punto se hablará de las relaciones cliente-proveedor y de los posibles acuerdos y sinergias que pueden mantener entre ellos y sus consecuencias. A continuación se tratará el problema de los contratos con los proveedores, analizando los parámetros que definen los mismos y el uso que darles en función del proveedor con el que se trate. Por último se hablará de la metodología empleada en el proyecto, hablando en primer lugar de la dinámica de sistemas para luego concretar en la simulación continua y en el software Vensim® .

El capítulo 3 será el más extenso y contendrá una explicación detallada del modelo desarrollado en el proyecto. En primer lugar se hará una introducción al modelo y a las condiciones de contorno del mismo. Seguidamente se pasará a definir con detalle su estructura. Para ello se dividirá la misma en 3 apartados.

El primero de ellos estará dedicado al modelado del flujo de materiales. En él se verá cómo se han modelado aspectos tales como la demanda, la tasa de fabricación de componentes, los precios de compra, la gestión de los inventarios o de las órdenes de suministro de fábrica.

El segundo estará dedicado al modelo financiero del fabricante. Aquí se verá cómo se han caracterizado los costes de aprovisionamiento y se calculará el

coste por unidad de los componentes y el coste acumulado de aprovisionamiento.

Por último, en el tercer apartado se calcularán los indicadores financieros del proveedor, haciendo especial hincapié en los requerimientos de capital circulante que generan los pedidos del fabricante.

Una vez explicado el modelo se pasarán a definir las 3 carteras que se van a simular en el proyecto. Estas carteras contienen las estrategias de aprovisionamiento que se van a proponer a cada proveedor y que serán comentadas al detalle en este punto.

Finalizado el tercer capítulo se pasará al capítulo 4. En él se hablará en primer lugar del procedimiento que se ha llevado a cabo para validar el modelo. A continuación se procederá a comentar los resultados obtenidos con el modelo. Se comenzará por analizar los resultados referidos al fabricante. En primer lugar se hablará de costes, tanto acumulados como costes por proveedor y costes unitarios de componentes. Seguidamente se hablará del Backlog y de los inventarios. Por últimos se hará un repaso del comportamiento de la tasa de fabricación de componentes como termómetro de los efectos combinados en la demanda y el inventario. Finalmente se analizarán los indicadores económicos más destacados de los proveedores.

En el capítulo 5, en el que se analizan las conclusiones extraídas en el proyecto.

Finalmente el capítulo 6 contiene la bibliografía empleada para la elaboración del documento.

Por último se anejará al final del texto un documento que contiene todas las ecuaciones que aparecen en el capítulo por orden de aparición.

Capítulo 2. Antecedentes

Índice del Capítulo

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	15
2.1 APROVISIONAMIENTO DE COMPONENTES CRÍTICOS	16
2.1.1 Elección del número de proveedores.....	17
2.1.2 Tipos de contratos a considerar dentro del Portfolio	19
2.2 RELACIONES CLIENTE-PROVEEDOR. PARTNERSHIP-SOURCING.....	21
2.3 DINÁMICA DE SISTEMAS.	27
2.3.1 Noción de Sistema Dinámico.....	27
2.3.2 La Dinámica de Sistemas.....	29
2.3.3 La Dinámica de Sistemas en la gestión de la cadena de suministro	30
2.3.4 Simulación continua.....	31
2.3.5 Sobre el software de simulación Vensim®.....	32
2.3.5.1 Variables en Vensim®	33

2.1 Aprovisionamiento de componentes críticos

Se definen componentes críticos como aquellos cuya ausencia en la cadena de producción supone pérdidas importantes para la empresa. El tratamiento particularizado de estos artículos será clave para conseguir una gestión adecuada de los recursos de la empresa.

Crear y gestionar estructuras escalonadas de contratos para la gestión del aprovisionamiento son aspectos importantes para evaluar la aptitud de la organización para el funcionamiento al más alto nivel. Entre otras cosas, las organizaciones necesitan desarrollar especialización funcional en áreas como la compra de componentes estratégicas.

Esta especialización puede ser compartida entre muchos proyectos simultáneamente, pero es imprescindible hacer un diseño estructural efectivo de la organización en su conjunto. En este sentido, la especialización funcional, además de la integración interna y la integración externa (la consistencia informativa entre la organización y el mercado) son aspectos cruciales para tener en cuenta.

Este desarrollo del papel de las compras está obligado con el fin de asegurar un suministro adecuado en los mercados globales, al proteger márgenes de beneficio bajo presión de competencia global. A lo largo de los últimos años se han desarrollado marcos que describen las etapas de la evolución hacia gerencia de la cadena del suministro (SCM), y cómo cambiaría el proceso de compras dentro de ese marco. En concreto se definieron cuatro niveles de desarrollo del papel a jugar por parte de la gestión de aprovisionamiento y compras: (1) tradicional, enfatizando selección del vendedor y precio posible mínimo; (2) la asociación las relaciones / de relaciones, edificadoras y más cercanas con un proveedor para reducir coste total y minimiza el riesgo en una atmósfera de confianza; El material operacional (3) Material logistics management, coordinativo y los flujos de información para mejorar niveles de calidad, de inventario, y en conjunto costo; (4) Estratégico, aplicándole los procesos comerciales flexibles a una situación dada, y por consiguiente logrando velocidad, flexibilidad, y ventaja competitiva en el mercado.

En compañías multinacionales grandes, el movimiento actual para consolidar a SCM a través de unidades comerciales en áreas geográficas, y la integración de unidades del producto en negocios de solución que miran hacia cliente. Esto ofrece nuevas posibilidades nuevas para llegar a acuerdos con proveedores de corte estratégico. La idea es crear relaciones coherentes entre los proveedores, trabando para conseguir precios competitivos para los mismos términos contractuales, rastreando especificaciones diferentes de la parte del producto para una estrategia global dentro de la propia empresa.

Algunos sectores industriales como la alta tecnología, se caracterizan por la volatilidad de la demanda y el corto ciclo de vida de los artículos. Las organizaciones dentro de estos sectores desarrollan estrategias flexibles de adquisición para ocuparse de esta incertidumbre. Los números de proveedores disponibles, positivo un rango de estructuras del contrato escalonado, son críticos entendiendo esto como un requisito imprescindible para la flexibilidad. En tales sectores, la capacidad mundial para suministrar ciertos componentes puede estar muy limitada debido al corto ciclo de vida de los mismos. El suministro global es también vulnerable por los eventos inesperados, tales como los desastres naturales, los cambios políticos, el terrorismo, y los desastres económicos. Eso puede crear escasez de los suministros mundiales. Cuándo los productos son estratégicamente importantes para la compañía, el sourcing múltiple de componentes estratégicos se usa para disminuir exposición para pérdida potencial, pero además las compañías ahora combinan tipos de contratos del proveedor para asegurar disponibilidad de suministro en un costo competitivo.

En investigar cómo operar y valorar una cartera de proveedores reside el éxito del sistema estratégico de adquisición de componentes.

2.1.1 Elección del número de proveedores

El uso de múltiples proveedores se asume como uno de los factores que disminuye el riesgo de retrasos o el fracaso existente en el caso de que sólo se suministren componentes por parte de simplemente un proveedor. También puede mejorar los resultados con respecto a entrega y la calidad. Otros factores que influyen a la hora de contar con múltiples proveedores son la economía, geografía y la inercia de la política organizativa del comprador. El

sourcing múltiple debería ser adoptado como una estrategia de adquisición en esos casos donde los artículos son críticos en el proceso de producción y por los cuáles se obtienen grandes pérdidas si las cadenas de fabricación quedan detenidas. Donde los contratos del proveedor están estructurados en descuentos por volumen de compras, gran parte del ahorro que se obtendría contando con un solo proveedor se difumina en el caso en el que contemos con más de una fuente. No obstante, se ha comprobado que si el componente es crítico es el proceso de fabricación, es mayor el riesgo que se corre que el ahorro que supone eso para la fábrica.

Establecer relaciones con proveedores diferentes no es un trabajo fácil sin embargo. En el artículo (Crespo Márquez & Blanchas, The procurement of strategic parts. Analysis of a portfolio of contracts with suppliers using a system dynamics, 2004) aparece un modelo normativo para guiar el proceso de desarrollarse e implementando a asociaciones, consistente en cuatro fases. *Fase 1:* Se define como la fase preliminar. En ella se establece la necesidad estratégica de la organización y se asegura el soporte por parte de la gerencia para desarrollar a una asociación. Durante esta fase preliminar, los equipos encargados de las necesitan desarrollar herramientas para demostrar la necesidad de asociaciones, para apreciarlas, obtener el máximo soporte a partir del alto mando para su desarrollo.

Fase 2: Determinar los criterios de selección para los socios potenciales.

Fase 3: Consiste en el cribado y la valoración de candidatos

Fase 4: Una vez establecidas las expectativas de la relación es el momento de obtener la información necesaria para llevar a cabo las nuevas estrategias de compras.

Fase 5: La relación debe ser continuamente evaluada y ajustada. Los términos y condiciones de los contratos individuales que el comprador mantendrá con proveedores actúan conjuntamente cubrir la previsión de la demanda. Establecer un set de contratos con proveedores para un artículo concreto configura lo que llamamos un portfolio del contrato de adquisición.

El portfolio diferente debe ser considerado en el contexto de la volatilidad en precios de mercancía mundiales y combinó pronósticos de demanda del producto.

2.1.2 Tipos de contratos a considerar dentro del Portfolio

En el artículo se mencionan diferentes tipos de contratos a incluir en el portfolio comentado anteriormente. Dichos contratos están encaminados a conseguir una mayor cobertura posible en el suministro con el menor coste posible. Entre los más destacados aparecen los siguientes, que serán además los que se incluyen en el modelo:

Compras con un precio máximo fijado: En este tipo de contratos, como ya se comentó en los antecedentes del proyecto, el fabricante acuerda con el proveedor un precio máximo de compra. Es decir, el cliente compra a precio de mercado, en caso de que sea menor que el precio fijado, o bien al precio fijado como máximo. Este tipo de contratos es especialmente interesante cuando existe una previsión de subidas bruscas de precios, como sucede en el mercado de hidrocarburos. Como contrapartida, además de las unidades que el fabricante compre, éste habrá de abonar una cantidad al proveedor en concepto de aceptación de este contrato. En este proyecto, se ha fijado la indemnización en un 3% de las unidades compradas bajo este acuerdo.

Compras según oportunidades de mercado: En este apartado se define una estrategia concreta de la empresa cuya cartera de proveedores está siendo analizada. Tal estrategia consiste en comprar una determinada cantidad de producto en función de la situación del mercado. Para ello se empleará la variable Ab_t , cuya definición y uso ya ha sido comentada en el apartado 3.2.5. En este caso, la cantidad de suministros que se compra es de 2 semanas y la compra se realiza siempre en la primera semana de cada mes. Esta política se emplea principalmente para aprovechar oportunidades de mercado y para protegerse de las fluctuaciones del mercado. Hay que resaltar así mismo las unidades compradas en estas condiciones son propiedad del fabricante, que tendrá que hacerse cargo de los costes de almacenaje. No obstante, desde el primer momento pasarán directamente a la línea de producción, con lo habitual es que no existan grandes cantidades almacenadas y no incurriendo por lo tanto en elevados costes de almacenaje.

Descuentos por pronto pago: Se aplica en los casos en los que al proveedor se le efectúa el pago de las unidades compradas en el momento en el que el

fabricante realiza el pedido. En este caso, en lugar de tener el proveedor que esperar las semanas determinadas en el contrato (medidas mediante el parámetro WSO) recibe el pago en el momento del pedido, con lo que reduce sus costes financieros. Como contrapartida el fabricante exige descuentos en la mercancía. En la situación actual esta opción sólo está contemplada para el tercer proveedor y en la cartera de contratos actuales (Current).

Contratos de compra según demanda: Esta política es la política de contratación habitual y se basa en comprar suministros de acuerdo a unas previsiones de necesidad de suministros facilitadas por el departamento de producción de los fabricantes. Dicha cantidad es variable y está sujeta a las reglas de mercado convencionales. En el caso que nos ocupa es la que se contempla mayoritariamente.

Forward Contracts: Esta será una de las políticas cuyo funcionamiento se va a poner a prueba en el proyecto. Dicha política consiste en acordar con el proveedor la venta cada 3 meses de un número constante de unidades. En este caso además se realizará el pago en el momento en el que se acuerden las cantidades a comprar. Este tipo de contratos dota de gran estabilidad a las empresas y es especialmente interesante para proveedores cuya carga de trabajo principal está en las unidades que le ordene la empresa en cuestión. Esta política le supondrá al fabricante un coste, además del coste de las unidades compradas, de un 0,2% del total de las mismas en concepto de costes financieros para la financiación de las compras de todo el trimestre.

2.2 Relaciones cliente-proveedor. Partnership-Sourcing

Se define el “Partnership-Sourcing” como la situación que se da cuando cliente y proveedor desarrollan una relación más o menos estrecha y a largo plazo en la que ambos trabajan juntos como socios. Se busca con este tipo de acuerdos obtener ventajas competitivas a través de las prácticas derivadas de la colaboración entre empresas dado que ambas, en mayor o menor medida, dependen la una de la otra. Esa dependencia puede ser desde la supervivencia de cualquiera de las dos partes al alcance de los objetivos estratégicos de la empresa, tales como el asentarse en un segmento de mercado, la expansión de líneas de negocio etc.

La base de este tipo de acuerdos consiste en que ambas sociedades acepten que, para el mejor desarrollo de sus actividades, el trabajo en equipo es mejor opción que trabajar según los métodos tradicionales de oferta-demanda. Este enfoque es especialmente interesante en sistemas como los que estamos analizando, en el que para el fabricante el tener garantizado el suministro de determinado componente es crítico, así como para el proveedor se hace interesante establecer con él una relación a medio largo plazo que le permita desarrollar sus actividades con la seguridad de contar con un contrato importante que garantice su supervivencia y posible desarrollo futuro. En la mayoría de los casos en las relaciones comerciales suele darse la circunstancia de que o bien fabricante o bien proveedor tienen una posición dominante. El abuso de esa situación de mercado hace que ninguna de las dos organizaciones alcance el máximo de su potencial. A través de acuerdos como los de “Partnership-Sourcing” ambas empresas consiguen acercarse más a sus objetivos estratégicos a largo plazo aún a pesar de que parezca a primera vista que algún (o ambos) miembro del acuerdo esté perdiendo oportunidades de mejorar su negocio a corto plazo.

Como complemento a este concepto, Burnes and Whittle ampliaron la definición del “Partnership-Sourcing” añadiéndole una serie de características adicionales que deberían de cumplir los acuerdos:

- Un compromiso a largo plazo.
- Tanto los clientes y proveedores son proactivos.

- Ambas partes integran los procesos y actividades clave.
- Existe un compromiso para desarrollar y mantener relaciones cercanas de cooperación.
- La existencia de un marco claro y bien estructurado para determinar el coste, precio y ganancia en ambas partes.
- Una filosofía de ganancia mutua en la operación, ambas partes deben salir ganando con el enfoque de colaboración.
- Ambas partes se han comprometido con la mejora continua en todas las esferas de sus actividades

La realidad es que más allá de esta visión idealista de los acuerdos de colaboración entre fabricantes y proveedores existen multitud de posibles relaciones entre unos y otros. Además de esta problemática, existen estudios que ponen de manifiesto la dificultad existente en relacionar la complicada retórica que se desprende de los acuerdos de colaboración entre empresa y el día a día del trabajo conjunto entre fábricas y proveedores. Dicha dificultad queda constatada especialmente cuando se quiere llegar a acuerdos a nivel estratégico. Es un hecho comprobado que a nivel operacional empresas que mantienen acuerdos de colaboración pueden llegar a profundos niveles de entendimiento que faciliten el desarrollo de las operaciones a ambas entidades. A este nivel, la confianza y la veracidad de las informaciones intercambiadas es muy elevada y eso contribuye sobremanera a que se llegue a posiciones en las que ambas entidades puedan salir beneficiadas. Además de todo esto, la flexibilidad de los acuerdos es muy elevada, dado que la fluidez y veracidad de los canales de información entre empresa y proveedor a este nivel hace que sea posible la implementación de cambios y mejoras en ambos miembros del acuerdo de una manera rápida, sencilla y eficaz.

Esto es más difícil de conseguir a nivel estratégico. En algunos casos esto ocurre por las dificultades de solapar objetivos a medio-largo plazo. En la mayoría sin embargo todos estos problemas vienen por el temor a que, tanto desde el lado del proveedor como desde el lado del fabricante, siempre dependiendo de quién tenga dominancia en el acuerdo, el suministrar desde la parte más débil información pueda acarrear pérdidas importantes de beneficio

o un empeoramiento sistemático en las condiciones del acuerdo que sitúen al miembro más débil del acuerdo en una situación mayor de desventaja. Estas dificultades sólo pueden ser resueltas mediante el establecimiento de relaciones fabricante-proveedor en las que la confianza y el compromiso queden patente desde el primer momento. Además, hay que tener en cuenta que las organizaciones son un organismo vivo y que esto lleva consigo que se produzcan cambios en la dirección de alguna de las compañías (o de ambas) que hagan pasar al acuerdo por dificultades. Dichos impedimentos sólo pueden acometerse a través de acuerdos bien definidos y claros, en los que quede patente el beneficio que el entente producirá por encima de las posibles reticencias que puedan surgir en uno u otro momento.

Pero más allá de que dichos acuerdos se ajusten en mayor o menor medida a la definición citada anteriormente, cabe resaltar que en el caso de la problemática que estamos abordando, aprovisionamiento de componentes críticos en sistemas de fabricación, un enfoque interesante es aquel que, desde el punto de vista del fabricante, sabe establecer una simbiosis entre él y el proveedor. La finalidad de esa relación, además de bajar sus costes de aprovisionamiento, debe ser asegurar la supervivencia del proveedor (en el caso de que la mayor parte de las ventas, o las más aseguradas, las realice al fabricante en cuestión), dado que dicha supervivencia contribuiría a diversificar la carta de proveedores disponible y con ello hacer frente de manera más eficiente a posibles periodos en los que se produzcan a nivel global problemas de abastecimiento en el sector.

Sin embargo, no todos los autores están de acuerdo con la conveniencia del “Partnership-Sourcing”, especialmente para pequeñas empresas. Más allá de las dificultades antes comentadas hay autores que se manifiestan abiertamente en contra de generalizar este tipo de relaciones en el mundo empresarial, apostando por que se den en situaciones concretas y bajo una serie de características específicas. Hay artículos como el de Jonh Ramsay (Ramsay, 1996) en el que se hace una fuerte crítica acerca de la conveniencia de este tipo de acuerdos.

En primer lugar, desde el punto de vista del fabricante habla de los siguientes inconvenientes que, a su juicio, acarrea el seguir este tipo de estrategia de colaboración.

- El esfuerzo para llevar a cabo alianzas con frecuencia se enfrenta con la indiferencia o la resistencia de proveedores.
- Las alianzas son con frecuencia sólo apropiadas para una minoría de las compras de una empresa.
- Las alianzas implican para los compradores en una pérdida neta de poder que es, sin duda sólo es aconsejable para las empresas muy grandes.

Por todo ello establece que las alianzas deben de realizarse en artículos de importancia estratégica para la empresa, es decir, que supongan un cuello de botella para el proceso de fabricación o cuya ausencia conlleve una parada del proceso productivo.

Para decidir cuáles serán los componentes candidatos a generar este tipo de acuerdos en el artículo se recomienda emplear la clasificación que P. Kraljic establece la siguiente para los suministros de la empresa. Para ello se definen los siguientes criterios:

- Impacto en el beneficio: Esto hacer referencia al impacto que tienen los componentes en el beneficio de la empresa debido a la fabricación de componentes asociados al suministro. El criterio los divide en artículos con alto impacto en el beneficio y artículos con bajo impacto en el mismo.
- Riesgo de aprovisionamiento: Aquí se mide la dificultad que existe de conseguir las cantidades necesarias del componente. Si dicho elemento tiene dificultades a la hora de encontrarse en el mercado en las condiciones requeridas para el proceso productivo. Se dividen los componentes, como en el caso anterior, en componentes con riesgo alto y bajo.

Definidos los criterios anteriores, sólo queda colocar el componente cuyo aprovisionamiento estamos analizando en la siguiente matriz:

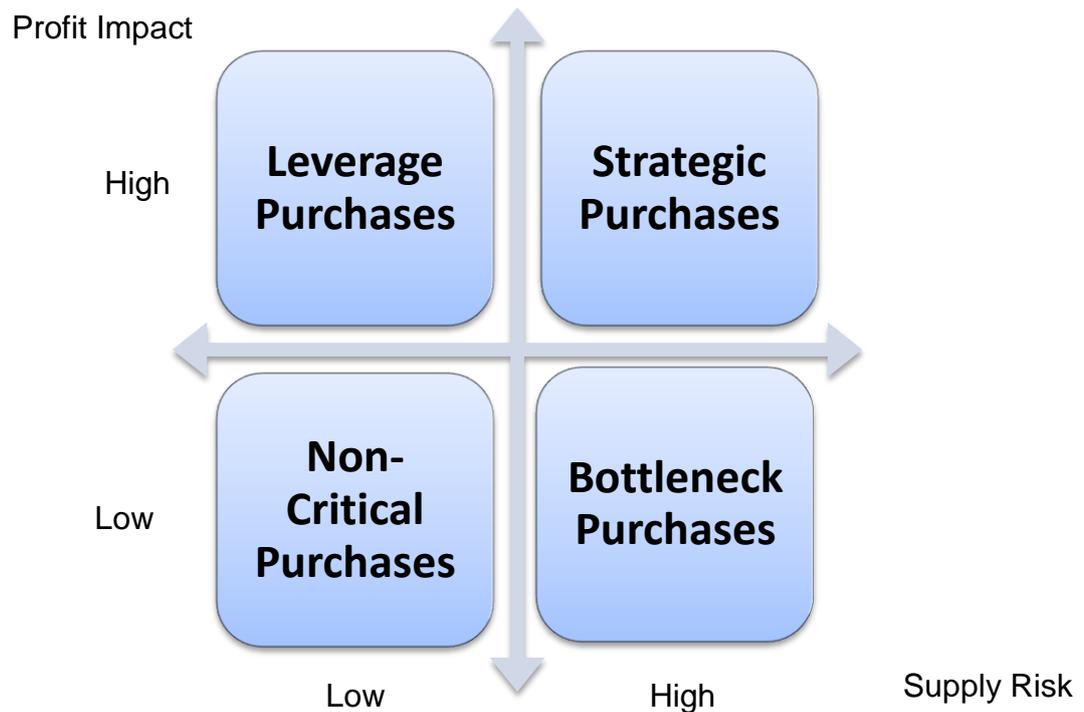


Figura 2.1 Matriz de clasificación de componentes

En la figura anterior se ve cómo se dividen en cuatro los suministros de la empresa. En el artículo se recomienda que se valore la posibilidad de alianzas en el caso de los bloques de la derecha de la imagen, en especial en los componentes estratégicos.

En su artículo, Ramsay habla de las ventajas de este método, en especial por lo sencilla que resulta su aplicación. No obstante también critica el método, haciendo especial énfasis en la dificultad de medir el impacto sobre el beneficio que tiene un componente.

No obstante, este método supone un primer paso en el sentido de seleccionar los componentes sobre los que merece la pena trabajar para establecer alianzas.

Pero Ramsay no sólo hace una crítica desde el punto de vista del fabricante, también habla de la conveniencia del Partnership-Sourcing desde el punto de vista del proveedor. Para éstos establece una serie de circunstancias en las que el Partnership-Sourcing puede ser interesante desde su punto de vista.

- Cuando los servicios son complejos e implican un alto grado de incertidumbre por parte del comprador.
- Cuando el flujo de beneficios se produce y consume en el tiempo
Cuando los clientes tratan de evitar importantes costos de transacción asociados con servicios múltiples pedidos.
- Cuando el entorno de mercado es turbulento.

Aunque generales, estos criterios pueden definir una línea de actuación para los proveedores. No obstante, estas relaciones pueden ser valoradas positivas desde el punto de vista de la seguridad. En especial en el caso de pequeños proveedores, en cuyo caso estos acuerdos pueden garantizar la supervivencia.

Como conclusión, Ramsay argumenta que desde el punto de vista del fabricante este tipo de relaciones sólo es interesante en el caso de grandes empresas y para un grupo pequeño de proveedores.

En definitiva, existen argumentos a favor y en contra para llevar a término este tipo de alianzas. Lo que sí parece claro es que en el caso de componentes críticos para las empresas de fabricación es una opción interesante para mejorar el suministro. Dichas relaciones deberán establecerse siempre desde un clima de confianza y seguridad para ambas partes para obtener el mejor rendimiento posible.

2.3 Dinámica de sistemas.

2.3.1 Noción de Sistema Dinámico

Se entiende por sistema un conjunto de partes operativamente interrelacionadas, es decir, en el que unas partes actúan sobre las otras, y del que interesa considerar fundamentalmente su comportamiento global. Así, por ejemplo, se habla del sistema nervioso, del sistema bancario, del sistema productivo etc. Siempre que se habla de sistema se sobreentiende que, en cierta forma, el conjunto tiene propiedades de interés que no pueden considerarse como la simple suma de las de las diferentes partes.

Un modelo es una formalización de cierto aspecto o aspectos de la realidad con la intención de hacer explícitas las implicaciones de las complejas relaciones que existen en el mundo real.

La palabra sistema se emplea tanto para referirnos a cierto aspecto de la realidad como a un modelo formal del mismo. En el estudio de un sistema puede suceder que la característica fundamental que interese considerar sea su evolución en el tiempo, y en concreto, como la interacción entre las partes determina esta evolución. El modelo del comportamiento dinámico de un sistema se denomina sistema dinámico. De esta manera podemos definir la “dinámica de sistemas” como una metodología de construcción de modelos dinámicos, que trata de aplicar de una forma sistemática, principios y métodos, desarrollados por otras disciplinas científicas al estudio de sistemas.

De un determinado sistema real se puede obtener una colección de observaciones cuantitativas de atributos o propiedades del mismo. Si se considera el comportamiento dinámico, entonces estos datos se encuentran parametrizados con relación al tiempo. Se puede decir que un sistema dinámico, en cuanto modelo de una cierta parcela de la realidad, constituye un resumen abstracto de los datos observados en la misma.

Conviene insistir en que lo que interesa considerar es el comportamiento dinámico de los sistemas. En el interior de un sistema, por la propia definición del mismo, se están produciendo unas determinadas interacciones. El carácter dinámico del sistema se refiere a que es primordial la consideración de su

evolución en el tiempo. En esta evolución las variaciones que se producen en él son consecuencia, fundamentalmente, de las propias interacciones, las cuales constituyen la estructura del sistema. De ahí que se diga que bajo el punto de vista de la dinámica de sistema, el comportamiento dinámico del sistema está determinado por su estructura. Esta estructura tiene una importancia mayor en la evolución del mismo que la naturaleza de cada uno de los elementos individuales que lo componen.

Al considerar un sistema como una unidad, se asume que existen unos límites que separan esta unidad del medio en el que está inserta. En el interior de estos límites, se genera un comportamiento que, en principio, puede no estar determinado únicamente por acciones aplicadas al sistema desde el medio.

Un sistema dinámico puede estudiarse como una entidad aislada del medio, que genera su propio comportamiento dinámico. Los límites del sistema deben escogerse de manera que se incluyan en su interior aquellos componentes necesarios para generar los modos de comportamiento de interés.

El concepto de límite pretende explicar que el comportamiento de interés del sistema se genera en el interior de los límites, y no viene determinado desde el exterior. Lo cual no quiere decir que el comportamiento del sistema no vaya a estar afectado desde el exterior de los límites, sino que la acción del medio sobre el sistema puede considerarse como una perturbación que afecta al comportamiento autónomo del sistema; pero ella misma no suministra al sistema sus características peculiares.

Al construir un modelo de simulación de un sistema, se debe en primer lugar, estimar que componentes interactúan para producir el comportamiento que se está investigando. La elección implica la selección de aquellos componentes situados en el interior de los límites del sistema que tengan interés y excluir aquellos componentes potenciales que son irrelevantes al caso y que por consiguiente se sitúan fuera de los límites considerados.

Los elementos que se encuentran fuera del sistema están relacionados con aquellos que se encuentran dentro del mismo de una forma muy diferente a como lo hacen los elementos del interior entre sí. Las relaciones de causa a efecto entre el medio y el sistema son unidireccionales, mientras que los elementos en el interior están estructurados por medio de bucles de realimentación que determinan una fuerte interacción entre ellos.

2.3.2 La Dinámica de Sistemas

En la dinámica de sistemas se estudian sistemas donde el estado de sus elementos varía con el tiempo, lo cual está en contraposición a un sistema estable y en equilibrio a los que se denomina “sistemas estáticos”. Por tanto, podemos decir, que la dinámica de sistemas se desarrolla en torno a dos aspectos muy concretos. Uno de ellos es la noción de sistema dinámico, el otro será el concepto de realimentación.

La realimentación será la encargada de conseguir una estabilidad en nuestro modelo, pues se ocupa de regular los distintos flujos y de controlar el aumento o disminución de las variables.

Respecto al concepto de realimentación, habría que decir que la dinámica de sistemas se ha nutrido de los estudios realizados en torno a los sistemas realimentados no lineales, desarrollados en la rama de automática y más concretamente en todo aquello relacionado con los servomecanismos. Las estructuras básicas que nos da la teoría de sistemas realimentados nos permite generar una amplia variedad de comportamientos dinámicos y que se pueden utilizar para describir las formas de comportamiento encontradas en la realidad.

Por otra parte, cabe decir que con la llegada y gran desarrollo experimentado por los ordenadores se puede conseguir a bajo coste y en poco tiempo los cálculos implícitos en un modelo, además de una gran cantidad de simulaciones para un mismo modelado.

Otra de las características principales que se persigue mediante el estudio de sistemas a través de esta metodología es el análisis de sensibilidad, el cual pretende establecer en qué medida se altera el comportamiento normal del modelo como consecuencia de la alteración de uno de sus parámetros.

Un modelo será más sensible, cuanto más se aleje de su comportamiento normal ante la variación de cualquiera de los parámetros que lo determinan. La existencia de bucles de realimentación reduce notablemente la sensibilidad del mismo a la variación de parámetros implicados en dichos bucles. Así podemos decir que la existencia de múltiples bucles de realimentación permite explicar la insensibilidad que muestra el modelo ante la variación de determinados parámetros.

Como conclusión, podemos decir que la dinámica de sistemas proporciona una teoría y una metodología de propósito general para la observación de una gran variedad de fenómenos dinámicos. Con ella podremos tener una mejor visión tanto actual como futura, a la vez que un mejor entendimiento de los sistemas y de los problemas que se puedan presentar dentro de los mismos, pudiendo actuar sobre éstos antes de que parezcan en la realidad.

2.3.3 La Dinámica de Sistemas en la gestión de la cadena de suministro

Como se ha comentado anteriormente, la dinámica de sistemas es una metodología que permite observar el comportamiento de un sistema a lo largo de un determinado periodo de tiempo.

La cadena de suministro de una empresa está formada por una serie de procesos que son asimilables a un sistema dinámico a través de un proceso de modelado como el que se ha comentado en el apartado anterior. En concreto, este proyecto busca conocer el comportamiento futuro de uno de los eslabones de dicha cadena, el que se refiere a la compra de componentes, en este caso, componentes críticos.

La criticidad de estos componentes hace que a la hora de variar cualquier elemento en la estrategia de compras sea necesario conocer con el mayor grado de detalle posible el efecto que van a tener las decisiones tomadas en el ciclo de vida global del producto.

La dinámica de sistemas permite reproducir el comportamiento actual de la cadena de suministro y sobre él comprobar los efectos de cada una de las decisiones que desde la empresa se quieran tomar. Esto la convierte en una

herramienta de enorme potencial porque permite algo que de otra manera sería muy difícil, que es calibrar las consecuencias de las decisiones antes de que éstas sean irreversibles.

Es por ello que el emplear técnicas de este tipo en las empresas otorga una ventaja competitiva a la misma, pues le ayuda a calibrar con mayor precisión sus políticas mucho antes de ponerlas en práctica.

A lo anterior se une el gran salto tecnológico que se ha producido en los últimos años, y que hace que estas técnicas tengan unos costes asumibles por parte de cualquier empresa. Además, dada la evolución que han sufrido los componentes informáticos, los resultados que se puedan obtener del modelo son prácticamente en tiempo real, dinamizando el proceso de toma de decisiones.

Por todo ello, la dinámica de sistemas es una herramienta fundamental para mejorar la gestión de las empresas minimizando riesgos y maximizando potenciales beneficios.

2.3.4 Simulación continua

Una de las clasificaciones que se hacen a la hora de catalogar los modelos de dinámica de sistemas es la de Modelos de Simulación Continua y Modelos de Simulación Discreta. Esta distinción hace referencia a cómo evolucionan las variables en un sistema dinámico con respecto al tiempo.

Se empleará un modelo de Simulación Discreta si las variables el cambio de las variables del modelo está supeditado a un cambio de estado del sistema. Es decir, el sistema evolucionará cuando en él se produzca una circunstancia que cambie su estado. Esto permitirá que pueda modelarse el tiempo de cambio de las variables, entrando a ser éste último un elemento más a optimizar.

La Simulación Continua se emplea cuando nos enfrentamos a un problema en el que las variables cambian de forma continua con el tiempo. Es decir, que su evolución se producirá siempre en unos intervalos de tiempo regulares. Este será el caso de nuestro modelo, cuyas variables cambiarán cada semana de forma continuada. Esto quiere decir que semanalmente

variará la demanda, la tasa de fabricación etc. y que no podrá variarse ese periodo de tiempo. Esto se corresponde con el comportamiento del sistema a analizar, en el que semanalmente se hacen los pedidos no pudiéndose hacer pedidos o demandar unidades a fábrica fuera de esos plazos.

Es por ello que en este proyecto se emplearán herramientas informáticas que permitan el desarrollo de modelos de simulación continua. En concreto se empleará el software Vensim®, cuyas características generales serán explicadas en el siguiente apartado.

2.3.5 Sobre el software de simulación Vensim®

El nombre del lenguaje de programación utilizado en este proyecto se denomina “Vensim”, cuyas siglas significan “The ventana simulation environment” (entorno de simulación mediante ventanas). La versión utilizada ha sido Vensim® 5.10.

Dicho programa utiliza técnicas de simulación para la resolución de problemas técnicos y sociales, con el propósito de incrementar la velocidad, calidad y flexibilidad con la que se desarrollan.

El paquete Vensim® es una herramienta visual que permite conceptualizar, documentar, simular y analizar sistemas dinámicos. Proporciona una forma flexible para la construcción de modelos de simulación a partir del diseño del diagrama de acumulación y flujo. Vensim® es una herramienta que sirve para el modelado y por tanto permite crear relaciones entre diferentes variables de forma rápida y sencilla para mostrar las relaciones causales del modelo. De la misma forma, el editor de ecuaciones permite crear las relaciones numéricas entre las distintas variables.

Una vez construido el modelo, el sistema puede analizar los diagramas causales que envuelven a las variables, el uso que se da de dichas variables y los bucles de realimentación de los que forma parte una variable.

Además de permitir el análisis de las variables del modelo y su configuración, Vensim® permite realizar multitud de análisis de los resultados del modelo, entre los que destacan:

- **Análisis de Sensibilidad:** Esta herramienta permitirá el comportamiento del modelo en el caso de que el mismo dependa de variables aleatorias. En ella se muestran los resultados de un número de simulaciones atendiendo a la evolución que siguen los mismos representando un mapa de probabilidades.
- **Herramienta de Optimización:** Permite el encontrar el valor óptimo de una variable o parámetro atendiendo a una función objetivo concreta.
- **Simulador de vuelo:** Es una herramienta denominada VENAPP que permite la creación de interfaces de usuario que posibilita al usuario del modelo generar resultados sin conocer la estructura del mismo.

2.3.5.1 Variables en Vensim®

Tal y como se ha comentado en el párrafo anterior, existen en los modelos distintos tipos de variables que definen la estructura del mismo. A lo largo del capítulo 3 se hablará de cómo se definen y, en algún caso, del tipo de variable que representan dentro de la Dinámica de sistemas. En este software se definen los siguientes tipos de variables:

Variables de Nivel: Las variables de nivel constituyen aquel conjunto de variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema. Los niveles representan magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado.

Esta función de acumulación puede asimilarse a la del nivel alcanzado por un líquido en un depósito; de ahí proviene la denominación de nivel, siguiendo el símil hidrodinámico.

Las variables de nivel equivalen a las variables de estado de la teoría de sistemas. Es decir el estado de un sistema se representa por dichas variables y su valor condiciona la futura evolución del sistema, a partir de un instante determinado, en la medida que determinan los valores que toman las variables de flujo.

La elección de los elementos que se representan por niveles, en un modelo determinado, depende del problema específico que se esté

considerando, siendo una característica común a todas ellas la de que cambian lentamente en respuesta a las variaciones de otras variables.

En los diagramas de Forrester los niveles se representan por medio de rectángulos.

Para saber si una variable es de nivel, existe una prueba que se puede hacer comprobando que si el sistema se detuviera en el tiempo estas variables continuarían existiendo o teniendo significado. Las variaciones experimentadas por un nivel son el resultado de una decisión tomada a partir de la información que proviene del resto de los niveles representada por las variables de flujo.

La variación de un nivel tiene lugar por medio de variables de flujo. A cada nivel N se le puede asociar un flujo de entrada FE y un flujo de salida FS.

Variables de Flujo: Las variables de flujo determinan las variaciones en los niveles del sistema. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, las cuales quedan acumuladas en los correspondientes niveles.

Dichas variables determinan como se convierte la información disponible en una acción o actuación. Debido a su naturaleza se trata de variables que no son medibles en sí, sino por los efectos que producen en los niveles con los que están relacionadas.

Estos símbolos están inspirados en el símil hidrodinámico, según el cual las variables de flujo se pueden asociar a válvulas que regulen los caudales que alimentan determinados depósitos, cuyos niveles materializan el estado del sistema.

A las variables de flujo se asocian ecuaciones que definen el comportamiento del sistema. El bloque representativo de un flujo admite, como señal de entrada, la información proveniente de los niveles, o de variables auxiliares del sistema y suministra como salida el flujo que alimenta a un nivel. Por tanto, estas variables se identifican con el movimiento de material o de información entre niveles y quedan definidas mediante funciones de decisión tomadas a partir de información entre niveles, quedando especificadas por

funciones de tasa que definen el valor de dichas variables en función del estado en que se encuentran las variables de nivel en un instante anterior y de las variables auxiliares.

Esto implicará que dos variables de flujo no puedan conectarse entre sí para crear la estructura del modelo. Mientras que los niveles describen la situación en la que se encuentra un sistema, las de flujo describen los cambios que se provocan en dichos niveles.

Variables Auxiliares: Las variables auxiliares representan pasos o etapas en que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles. La razón de su existencia es que las ecuaciones que definen las variables de flujo son muy complejas al depender de varios niveles por lo que se corre el peligro de oscurecer el significado de las ecuaciones. Por ello es conveniente descomponer dichas ecuaciones en componentes de menor tamaño que son las variables auxiliares.

En definitiva, Vensim® es una herramienta cuya flexibilidad y facilidad de operación la hacen candidata ideal para este tipo de trabajos con modelos de Simulación Continua.

Capítulo 3. Desarrollo del proyecto

Índice del Capítulo

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO	36
ÍNDICE DEL CAPÍTULO	36
3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO	38
3.1.1 <i>El modelo en la estructura de la empresa.</i>	38
3.1.2 <i>Relación del fabricante con el modelo</i>	39
3.1.2 <i>Relación de los proveedores con el modelo</i>	41
3.1.4 <i>Estructura del modelo en Vensim®</i>	45
3.2 MÓDULO DE FLUJO DE MATERIALES	49
3.2.1 <i>Definición de la Demanda</i>	49
3.2.1.1 <i>Introducción</i>	49
3.2.1.2 <i>Cálculo de la demanda global del fabricante</i>	50
3.2.1.3 <i>Reparto de la demanda</i>	52
3.2.2 <i>Definición de la tasa de fabricación</i>	58
3.2.2.1 <i>Definición del periodo inventario deseado</i>	59
3.2.2.2 <i>Definición de la tasa de fabricación</i>	63
3.2.3 <i>Definición de los precios de compra</i>	68
3.2.3.1 <i>Trabajo previo al modelado para la definición de los precios</i>	68
3.2.3.2 <i>Modelado de la estructura de precios en Vensim®</i>	77
3.2.3.3 <i>Reparto de los precios entre cada uno de los proveedores.</i>	81
3.2.4. <i>Definición de las órdenes de suministro para las fábricas</i>	85
3.2.5. <i>Modelo de la gestión de inventarios</i>	93
3.3 MÓDULO DE COSTES DEL FABRICANTE	103
3.3.1 <i>Introducción</i>	103
3.3.2 <i>Políticas de aprovisionamiento contempladas en el modelo</i>	105
3.3.3 <i>Ecuaciones del modelo económico del fabricante</i>	107
3.3.3.1 <i>Coste total derivado del proceso de compras</i>	107
3.3.3.2 <i>Número total de unidades compradas por el fabricante</i>	114
3.3.3.3 <i>Cálculo del coste por unidad de producto</i>	116
3.4 MÓDULO FINANCIERO DEL PROVEEDOR	118
3.4.1 <i>Introducción</i>	118
3.4.2 <i>Ecuaciones del modelo del proveedor</i>	119
3.4.2.1 <i>Pagos del proveedor</i>	119
3.4.2.2 <i>Requerimientos de inventario</i>	121
3.4.2.3 <i>Pagos al proveedor</i>	123
3.4.2.4 <i>Cálculo de las necesidades de Capital Circulante</i>	124
3.5 ESTUDIO DE SIMULACIÓN	126

<i>3.5.1 Características comunes de todas las carteras de contratación</i>	<i>127</i>
<i>3.5.2 Cartera actual de contratos: Current</i>	<i>130</i>
<i>3.5.3 Cartera de contratos Portfolio 1</i>	<i>132</i>
<i>3.5.4 Cartera de contratos Portfolio 2</i>	<i>134</i>

3.1 Definición del modelo

3.1.1 El modelo en la estructura de la empresa.

Como ya se comentó en el primer capítulo, el objetivo que se persigue este proyecto es mejorar la política de compras de componentes críticos de una empresa. Para ello nos centraremos en una línea concreta de abastecimiento y se simulará su comportamiento.

El resultado del trabajo de este proyecto será la construcción de un modelo de gestión que permita alcanzar los objetivos anteriores. Dicho modelo será desarrollado por agentes externos a la empresa. Esto hará que sea necesario establecer los canales de comunicación adecuados para obtener la información que permita la construcción del modelo. Una vez finalizado el proceso de elaboración y validación del modelo, éste será una pieza más que encaje en el funcionamiento diario de la empresa. En la figura 3.1 se observa el esquema que se persigue conseguir con este proyecto.

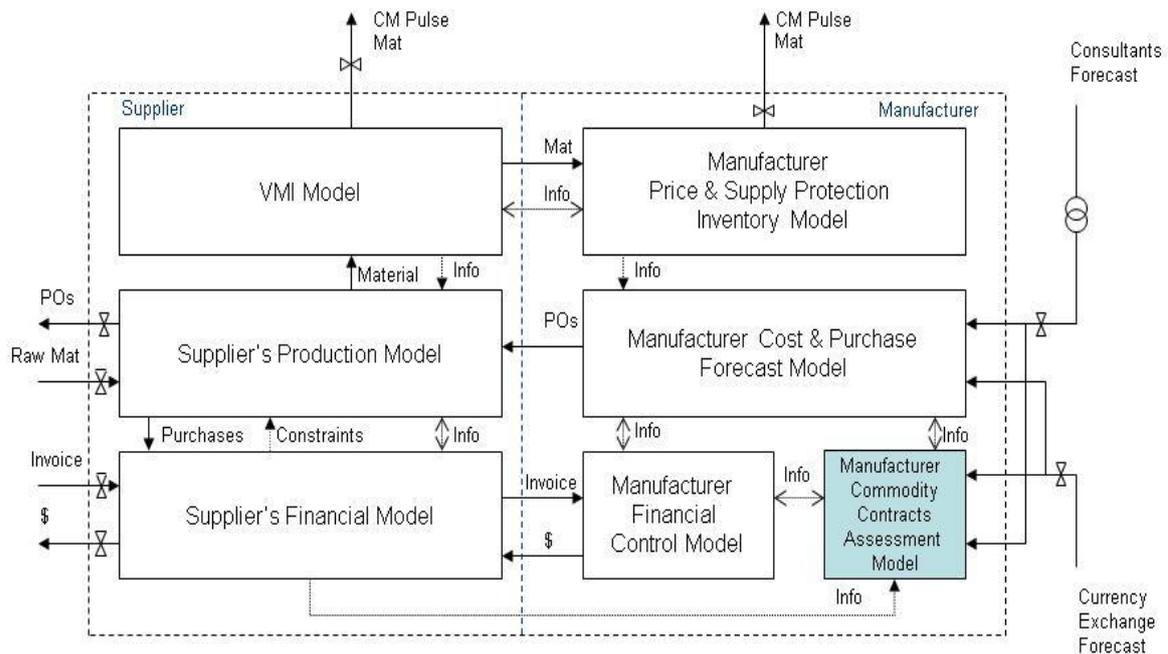


Figura 3.1 Esquema de la estructura del modelo de simulación dentro de la organización

En él se observa cómo el modelo a desarrollar es una herramienta a caballo entre el departamento financiero y el de costes y compras. Así mismo aparecen las diferentes interacciones que el modelo tendrá con todos los elementos de la cadena de suministro de la empresa.

Es importante resaltar que el objetivo de este modelo es el de conseguir mejorar la política gestión de abastecimiento de la empresa. Para ello se deberá contar no sólo con el fabricante. También será necesario tener en cuenta a los diversos proveedores de la empresa. El objetivo de que participen del modelo es dar al fabricante una visión lo más amplia posible del problema.

Como puede observarse en la imagen, se ha dividido el problema en dos partes. Por un lado se tiene al fabricante. Éste será el propietario del modelo y el cliente final del mismo. En la figura 3.1 puede verse que se necesitará conocer el funcionamiento del mismo en diversos aspectos como la fabricación, las compras o el control financiero.

Por otro lado se encuentra el proveedor, como protagonista principal del contenido del modelo y cuyo proceso de suministro se pretende simular.

En los siguientes puntos se comentarán algunos aspectos a destacar acerca de cada uno de los bloques de información que aparecen en la figura 3.1, tanto para el fabricante como para el proveedor.

3.1.2 Relación del fabricante con el modelo

En este punto se comentarán los aspectos principales de la relación del proveedor con el modelo de gestión. Como puede observarse en la figura 3.1, tres serán los bloques de información a obtener por parte de la empresa:

En primer lugar y comenzando por la parte superior de la imagen, encontramos el esquema que la empresa emplea para la gestión de precios y la protección de los inventarios. De este bloque se obtendrán:

- a) Las estrategias del fabricante para combatir las roturas de Stock. En la empresa existen diferentes estrategias y recursos destinados a prevenir las roturas de inventario. La finalidad de este punto es obtener la información necesaria que permita plasmar luego en el

proyecto las estrategias de gestión de inventario empleadas para evitar que la fábrica se quede sin componentes para la producción.

- b) El modelo de previsión de precios empleado en la empresa. Este será uno de los puntos críticos del modelado. Se deberá conocer las variables que desde el fabricante se tienen en cuenta para realizar las predicciones en los precios futuros de compra y así planificar los costes futuros de la empresa. Como se verá en próximos apartados, se ha observado que la estrategia seguida actualmente por la empresa no ofrece los resultados esperados, por lo que se ha propuesto una nueva técnica de previsión de precios como uno de los módulos a implementar dentro del modelo de gestión.

Una vez obtenida la información de este primer bloque, pasamos a analizar el segundo. En él se modelan los costes de aprovisionamiento y las previsiones de compras. Al igual que en el bloque anterior, de este apartado se espera extraer la siguiente información:

- a) Modelo de costes del fabricante. Aquí se adquirirán los conocimientos necesarios para el modelado de los costes de compra de suministros del fabricante. Este apartado es crítico, porque de él saldrán buena parte de los indicadores que luego servirán para evaluar los resultados del modelo. De este punto en concreto se espera comprender cómo se computan los costes en la empresa (parámetros, plazos de compra, política de contrataciones etc.) Así mismo se buscará conocer cómo se modelarían nuevos costes a introducir en el modelo.
- b) Modelo de previsión de la demanda. Aspecto fundamental para el modelado. Se tratará de entender los mecanismos empleados desde el fabricante para realizar la previsión de la demanda y el reparto de la misma entre los diversos proveedores. Así mismo se estudiará el mecanismo empleado para la previsión de las órdenes de fábrica.

Estos dos aspectos son capitales para el buen funcionamiento del modelo. Por un lado, un conocimiento adecuado de las políticas empleadas para el aprovisionamiento y el coste de las mismas es fundamental para

obtener luego unos resultados fiables y ajustados a la realidad en el modelado. Por otro, tanto la previsión de la demanda como de las órdenes de fábrica serán dos de los ejes en torno a los que gire la simulación. La demanda es clave a la hora de computar costes y modelar el proceso de fabricación de los componentes. Las órdenes de componentes de fábrica y su ajuste con respecto a la demanda prevista será lo que permita al fabricante conocer si el inventario se está comportando de acuerdo a su funcionamiento real. Este aspecto es clave, puesto que al tratarse de componentes críticos, el problema del inventario ha de abordarse con especial sensibilidad.

El tercero de los bloques de información referente a la empresa será el modelado del control financiero. Para ello, una vez detallados los costes se necesitarán conocer los indicadores financieros empleados por la empresa para incluir su cálculo en el modelado.

Una vez conocida la información que debe obtenerse en lo que respecta al funcionamiento del fabricante, cabe destacar la interacción del modelo con cada uno de los 3 bloques anteriores. Una vez construido y validado el modelo se espera que aporte a la estructura anterior la siguiente información:

- a) Un modelo que mejore el método empleado actualmente en la empresa para la previsión de precios.
- b) Políticas alternativas para la gestión de inventarios que permita reducir costes tanto al fabricante como a los proveedores.
- c) Nuevas políticas de aprovisionamiento así como la manera de contabilizar el coste de las mismas.
- d) Un modelo de previsión de la demanda que genera sus valores automáticamente.
- e) Ídem para la generación de órdenes de componentes para fabricación.
- f) Indicadores financieros y de procesos que permitan evaluar diferentes políticas de aprovisionamiento.

3.1.2 Relación de los proveedores con el modelo

Como se ha comentado en párrafos anteriores, a pesar de ser un modelo concebido para uso de fabricantes, los proveedores son parte fundamental del mismo. En el caso de este proyecto, se han considerado para

el análisis los 3 proveedores más importantes de la empresa. Sin entrar a detallar las características de cada uno (ver apartado 3.5), sus características son las siguientes:

- a) Proveedor 1. Se trata del principal proveedor del fabricante. Por su tamaño y posibilidades es el que soporta la mayor parte de la demanda de ésta y de otras empresas.
- b) Proveedor 2. Pertenece a un escalón intermedio entre el Proveedor 1 y el 3. Por su tamaño se le asigna un porcentaje significativo de la demanda de componentes del fabricante. Cuenta en su cartera con varios clientes, aunque nuestro fabricante es uno de los más importantes para su existencia.
- c) Proveedor 3. El de menor tamaño de todos. En la actualidad su misión principal es la de absorber los picos de demanda que se producen. Se trata de un fabricante de pequeño tamaño cuyos costes de producción hacen que nuestro fabricante sea vital para su existencia.

Al igual que en el apartado anterior, se requerirá información de cada uno de los módulos que aparecen en la figura 3.1. Esta información sin embargo será más difícil de obtener. La dificultad aparece en el momento en el que se deja de tratar con la parte interesada para acudir a agentes externos al fabricante. Los proveedores puede que no estén interesados en facilitar determinada información al fabricante. Esta desconfianza puede venir del miedo a reducir sus beneficios. Otra posibilidad puede ser el querer ocultar datos para que éstos no acaben llegando a la competencia y perjudiquen el funcionamiento de la empresa.

Para solucionar estas dificultades el modelo ha propuesto una estructura sencilla en la que los datos del proveedor sean los mínimos posibles. Con esto se persiguen 2 objetivos. Por un lado hacer el modelo más robusto, es decir, conseguir introducir en él la mínima incertidumbre posible a nivel informativo. Por otro se ha intentado desde el modelo ofrecer al fabricante una herramienta que permita ver al proveedor que puede ganar con los cambios que se le proponen.

No obstante, es cierto que para completar el modelo hay que conocer determinados datos de funcionamiento que no todos los proveedores están dispuestos a dar. Parámetros como la estructura de costes fijos/variables o, especialmente el margen operativo son estratégicos a nivel de gestión y son complicados de conseguir. Incluso aunque sean facilitados de manera directa, es probable que no se correspondan con la realidad. Para atacar este problema en la fase de modelado se han propuesto 2 estrategias:

- a) Establecer relaciones con los proveedores enmarcadas en acuerdos de Partnership-Sourcing como los que se han comentado en el apartado de antecedentes. Con estas estrategias se garantiza la colaboración de todas las partes en el modelado. Esta sería la mejor opción, puesto que permitiría a ambos beneficiarse de los resultados generados con el modelo. No obstante, como se ha comentado con anterioridad estos acuerdos son complicados de alcanzar y herramientas como estas han de ser bien explicadas puesto que pueden verse como una amenaza desde el punto de vista del proveedor.
- b) Obtener la información a través de consultoras especializadas. Se trata de una forma más costosa de obtener la información, puesto que habrá que sufragar los gastos de consultoría. Sin embargo es bastante más fiable. Por un lado las consultoras suelen ser grandes conocedoras del mercado. Estos conocimientos pueden ser empleados para completar el modelado. Por otro, a pesar de contar con acuerdos de colaboración, determinadas empresas pueden considerar que la información solicitada es estratégica y ofrecer valores que no se ajustan a la realidad.

Por todo lo anterior se tomó la decisión antes comentadas de incluir los mínimos parámetros y variables que contuvieran información estratégica de los proveedores. Además se optó por separarlos de los resultados que se facilitarán al fabricante. Es decir, que los resultados del proveedor van a ayudar al fabricante en la negociación, pero no van a afectar a sus costes, inventarios o a cualquier otro indicador importante para él.

La información que se deberá obtener para que el modelo ofrezca los resultados deseados irá más encaminada a tiempos de fabricación y gestión de

inventarios. Estos datos son mucho más accesibles al fabricante, puesto que son los que marcan los tiempos de llegadas de mercancía, procedencia de la misma etc. A continuación se detalla la información requerida en cada uno de los 3 bloques de la figura 3.1 que forman el modelado de las métricas del proveedor.

En primer lugar se requerirá información acerca de la gestión de inventarios que se hace por parte de los proveedores. Se modelará el almacenamiento de las unidades así como la salida a los distintos inventarios que se van a considerar en el modelo. También se necesitará conocer los parámetros que modelan el inventario almacenado. Uno de ellos será el tiempo que tarda cada proveedor en ajustar la diferencia entre el inventario deseado y el real.

A continuación en la figura se habla del modelo de producción del proveedor. Éste será el apartado dónde se deberá obtener más y mejor información. Esta parte es fundamental en el modelo, puesto que gracias a los datos obtenidos en este punto se creará gran parte del apartado 3.2 Modelado del flujo de materiales. Este apartado es el más extenso del proyecto y en él se detalla todo el proceso que sigue un componente desde que es demandado al proveedor hasta que es llevado a la fábrica. Por ello en este apartado será necesaria extraer la siguiente información.

1. Tiempos de producción de suministros.
2. Estructura de fabricación.
3. Inventario deseado en la fábrica (este apartado contará también con información por parte de la empresa)

Con todo esto y los datos suministrados por el fabricante podrá completarse podrá el modelo de gestión de materiales del proveedor.

Por último, en el bloque del modelo financiero del proveedor se necesitarán los siguientes datos:

1. Tiempo que tardan en pagar los proveedores sus materias primas
2. Parámetros de gestión de los costes de inventario de los proveedores.

3. Costes unitarios de producción (variables y fijos).
4. Margen operativo de fabricación

Con todo esto podrán calcularse las necesidades de capital circulante que generan las políticas de aprovisionamiento y así demostrar al proveedor la bondad de los contratos que se le ofrecen.

Una vez comentada la relación del modelo con proveedores y fabricante pasamos a describir de manera genérica la estructura del mismo.

3.1.4 Estructura del modelo en Vensim®

Una vez obtenida y procesada toda la información, se procederá a la construcción del modelo. Para ello se empleará, como ya se ha comentado, el software de simulación Vensim®. Se creará a través de métodos basados en la dinámica de sistemas un modelado que, por un lado recree el comportamiento actual de la empresa y por otro permita obtener resultados a futuro de la misma.

Para ello se creará una estructura dividida en 4 partes:

- a) Modelado del flujo de materiales. En este apartado se simulará el comportamiento del proveedor desde que le llega la demanda desde el fabricante hasta que éste hace uso efectivo de los componentes.
- b) Modelado de las métricas del fabricante. En este punto se tratarán de calcular los indicadores económicos de coste de aprovisionamiento. Para ello se tratará de calcular el coste de cada una de las políticas puestas en práctica desde el departamento de compras.
- c) Modelado de las métricas de los proveedores. Igual que sucede en el apartado anterior, se calcularán los indicadores económicos más relevantes para los proveedores.
- d) Modelado de las variables “de mercado”. Este punto se integrará en el texto dentro de los capítulos que definen las partes anteriores. Sin embargo, en el modelo se ha creado una vista para calcular las variables sometidas a fluctuaciones externas. En concreto en esta vista se calcularán los precios y la demanda para cada proveedor.

Una vez se conoce cómo se divide el modelo, pasamos a hablar un poco del contenido del mismo. Como se ha comentado en el punto anterior, en este proyecto se va a trabajar con 3 proveedores distintos. Así mismo, como se comentará en el apartado 3.5 se simularán 3 estrategias de contratos diferentes. Esto hará que en el modelo se trabaje con variables matriciales.

El tratamiento con matrices se hará en Vensim® a través de una funcionalidad, los subscripts, que permiten definir grupos dentro de las variables. En concreto, en este modelo se creará una estructura capaz de calcular los valores para un proveedor concreto en una cartera en particular. Será la inclusión de los mencionados subscripts lo que posibilitará generalizar los resultados de una variable a los resultados para un proveedor y cartera en particular.

En ocasiones, en el modelo aparecerán variables acompañadas del corchete [Sproxy,CPortfolio]. Esto le indicará a Vensim® que esa variable deberá ser calculada para cada proveedor (SProxy) dentro de cada cartera (CPortfolio). En otras ocasiones, cada proveedor tendrá una ecuación distinta en función de la cartera que se maneje. Para solucionar ese problema sólo habrá que adaptar el corchete a las necesidades de la variable en cada momento.

Además, la condición de matricial hará que los resultados del modelo puedan presentarse de distintas formas, bien por proveedor, bien aglutinados en una sola cartera etc. Esto dependerá la variable que se esté tratando.

En lo que se refiere las ecuaciones del modelo, las unidades que se emplearán son las siguientes:

- a) Unidad de tiempo: La semana será la unidad de tiempo empleada en todo el modelado. Las cantidades demandadas serán por semana y si alguna variable se mide mensualmente las ecuaciones del modelo deberán ajustarse para respetar la unidad de tiempo impuesta.
- b) Moneda. Al tratarse de una empresa internacional no europea, la unidad de medida es el dólar (\$)

- c) Unidades secundarias. Parámetros como la demanda se medirán en uds/semana o los costes serán \$/unidad

Por último, remarcar la división permanente que existe en el modelo en lo que se refiere a las ecuaciones. La gran mayoría de ellas tiene 2 componentes, una para los valores anteriores a 52 semanas y otra para los posteriores. Hay variables que incluso se componen de unas calculadas para un periodo y otras para el complementario. Esto es debido a que se dispone de datos históricos de la empresa por un periodo de un año (52 semanas). El caso de los precios es excepcional porque se dispone de previsiones hasta la semana 56. Aprovechando esta referencia al histórico de datos, a lo largo del desarrollo del modelo se mencionará un archivo Excel que contiene los datos necesarios para definir algunas de las variables del modelo. Esto se debe a que Vensim permite introducir los datos de una fuente externa, lo que contribuye a un mejor detalle de los mismos.

En definitiva, con todo lo anterior estamos en disposición de comenzar con el desarrollo del modelo de gestión propuesto en el proyecto. En las próximas páginas se procederá a detallar cada una de las variables participantes en el modelo así como las ecuaciones que la definen. Por último, se comentarán los parámetros que influyen en el estudio de simulación a realizar y las carteras que se probarán en el mismo.

Modelado de una Cadena de Suministro de Componentes Críticos mediante Técnicas de Simulación Continua

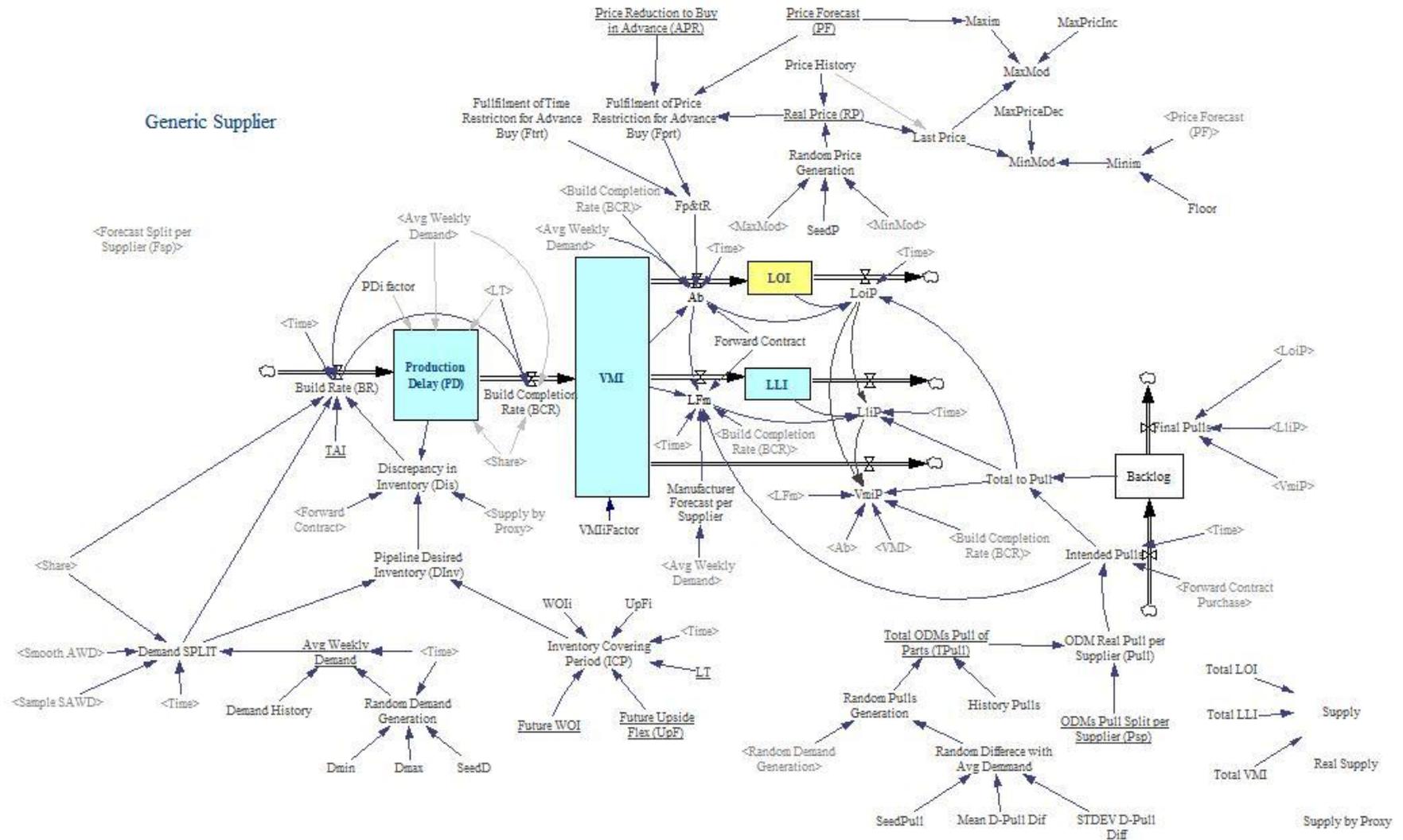


Figura 3.2 Modelo de flujo de materiales en Vensim®

3.2 Módulo de flujo de materiales

En primer lugar hablaremos del camino que siguen los materiales desde que el fabricante realiza una orden de compra hasta que se envía el producto acabado a alguno de los tres tipos de almacenes que hemos contemplado en el proyecto.

En la imagen anterior podemos ver el modelo completo de la gestión de los materiales por parte del proveedor y su posterior almacenaje. Dicho modelo puede subdividirse en módulos que permiten el calcular variables y parámetros claves en la fabricación y valoración de los suministros. Para definir el modelo comentaremos módulo a módulo cada uno de los componentes que forman el modelo. Para ello mostraremos las ecuaciones formales de las variables más importantes, así como la definición de las mismas en Vensim®.

3.2.1 Definición de la Demanda

3.2.1.1 Introducción

En el modelo, el cálculo de la demanda de suministros por parte del fabricante se divide en dos partes. La primera de ellas se refiere al cálculo de la demanda total de componentes por parte del fabricante. Para ello emplearemos el histórico de datos de la empresa así como diversas variables y funciones matemáticas que permitan generar una estimación lo más fiable posible de la demanda futura. Mediante esta técnica de generación de la demanda se podrá, por un lado comprobar si el modelo genera unos resultados que se ajustan a la realidad actual de la empresa y por otro generar datos que permitan simular los diferentes escenarios de aprovisionamiento para así elegir la cartera de contratos con proveedores más adecuada.

Una vez finalizado el primer punto, la segunda parte de este modelado de la demanda se encarga de repartir la misma entre los diferentes proveedores según sus características y las de los contratos firmados con los mismos. Esta parte del modelo es fundamental porque permitirá conocer de primera mano la carga de trabajo correspondiente a cada proveedor así como calcular los resultados económicos de los mismos y del fabricante en función de las estrategias a seguir en el futuro.

Con la introducción al cálculo de la demanda ya realizada, comenzamos la definición de las variables de los módulos con el cálculo global de la misma.

3.2.1.2 Cálculo de la demanda global del fabricante

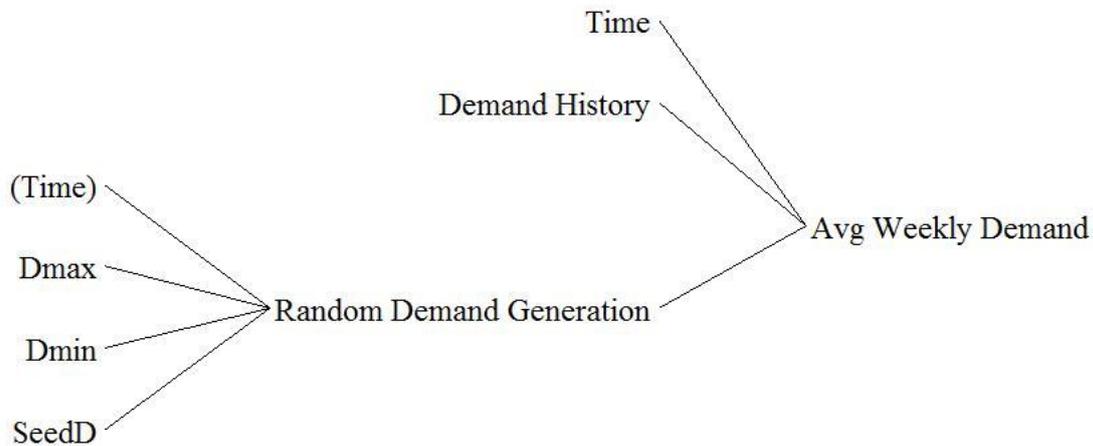


Figura 3.3 Esquema en Vensim® del cálculo de la demanda global

En primer lugar se define el cálculo de la demanda global del fabricante. Dicha demanda se divide en dos partes. La primera se refiere al histórico de datos de la empresa. En este caso se toma la demanda semanal de suministros por parte de la fábrica, empleando datos de las 52 últimas semanas (1 año). La segunda se refiere a la previsión de la demanda que pueda surgir en el futuro. Como se puede observar en la figura 3.3, la demanda media se ve influida tanto por el histórico de datos como por la demanda generada. Como ya se ha comentado en el apartado introductorio, dicha división obedece a poder emplear el modelo tanto para la validación de los resultados con base en el histórico como para generar previsiones a futuro. El procedimiento empleado para calcular la demanda media es bastante sencillo. Por un lado, hasta la semana 52 se empleará el histórico de datos de la empresa. A partir de ese momento, al encontrarse la empresa en un escenario de demanda variable, se generará una demanda aleatoria entre unos valores máximos y mínimos de la misma que obedecerán a criterios estadísticos suministrados por los gestores de la empresa.

Las ecuaciones y variables de este módulo son las siguientes:

Demand History (DH_t): Histórico de la demanda. Su ecuación en Vensim® se define:

$$DH_t = \text{GET XLS DATA}('Data_Book.xls', 'Time Related Data', '5', 'B10') \quad (3.1)$$

La función `GET XLS DATA(Archivo.xls,'Hoja','Fila','Celda de Inicio')` sirve para toma los datos de una hoja de cálculo dónde se incluyan todos los datos de una forma cómoda y además permite una fácil gestión. En adelante esta función aparecerá en muchas variables y su definición es análoga en todas ellas, con lo que de aquí en adelante se nombrará directamente. La hoja de datos a la que se hace referencia en las ecuaciones aparece como un archivo anexo al proyecto y se puede modificar fácilmente puesto que se abre automáticamente cada vez que se abre el modelo desde Vensim®.

Random Demand Generation (RDG_t): Esta variable será la que permita la generación de la demanda una vez pasadas las 52 semanas del histórico de datos disponible. Para ello emplearemos una función predefinida de Vensim® que permite generar números de manera aleatoria a partir, en este caso, de un mínimo de demanda y un máximo. Para el cálculo de la demanda aleatoria necesitaremos los valores máximos y mínimos previstos de la demanda, que como se comentó en el párrafo anterior, vendrán suministrados desde la empresa de fabricación y deberán atender a criterios estadísticos de la distribución de la demanda en los últimos meses o años. Así mismo, para la generación de la distribución aleatoria que caracterizará la demanda, el modelo empleará una semilla, que no es más que un parámetro que permita la generación de la futura distribución estadística de la demanda. El componente aleatorio de esta variable una vez pasado el periodo de datos históricos disponible podría llevar a pensar que los resultados del modelo pueden no ser correctos. Sin embargo cuando se analicen los resultados del modelo se hará un análisis de sensibilidad de la semilla que permitirá demostrar que dicho parámetro no influye en los resultados finales de las simulaciones.

Definición de Random Demand Generation en Vensim®:

$$RDG_t = \text{IF THEN ELSE}(\text{Time} \leq 52, 0, \text{RANDOM UNIFORM}(D_{\min}, D_{\max}, \text{SeedD})) \quad (3.2)$$

Donde la función IF THEN ELSE se incorpora para que la demanda generada de manera aleatoria sólo actúe cuando se terminen los datos procedentes del histórico de la empresa. Antes de continuar con el desarrollo de las demás ecuaciones, me gustaría hacer un paréntesis para hablar de la función en “IF THEN ELSE” en Vensim®. Dicha expresión se emplea cuando se elige entre dos opciones. Con objeto de hacer más compactas y legibles las ecuaciones, dicha expresión se sustituirá por el empleo de llaves u otros elementos que permitan la elección entre dos opciones.

D_{min} y D_{max} se toman de la misma hoja Excel de dónde se tomaron los datos históricos de la demanda.

La unión del histórico de la demanda con la demanda generada aleatoriamente tiene como resultado Avg Weekly Demand (AWD_t) que se define de la siguiente forma:

$$AWD_t = \begin{cases} \text{Si } t < 52 & DH_t \\ \text{e. o. c} & RDG_t \end{cases} \quad (3.3)$$

Su definición en Vensim® será:

$$Avg\ Weekly\ Demand(AWD_t) = IF\ THEN\ ELSE\langle Time \leq 52 | DH_t | RDG_t \rangle \quad (3.4)$$

Con esto queda definido el cálculo de la demanda global del fabricante, pasando ahora al reparto de la misma para cada uno de los diversos proveedores en función de sus contratos.

3.2.1.3 Reparto de la demanda

Tan importante es conocer la demanda total como el reparto de la misma entre los diversos proveedores que dan cobertura a las necesidades de la empresa. Dicho reparto estará condicionado por varios factores, como la capacidad de fabricación que tiene cada uno de los proveedores, la disponibilidad etc. Además de éstos factores internos del proveedor, existen otros factores que condicionarán el reparto y éstos no son otros que los diversos contratos y políticas que desde el fabricante se propondrán a sus suministradores para ejecutar su política de aprovisionamiento. Como éste es precisamente el objeto de estudio de este Proyecto Fin de Carrera, esta parte

del modelado se convierte en estratégica, puesto que con ella no sólo será posible el cálculo de los costes, sino que además podrá comprobarse lo acertado o no de las políticas de contratación para proveedores y fabricante.

Como consecuencia del análisis que desde este Proyecto se va a llevar a cabo (van a compararse 3 carteras de contratos diferentes) será necesario el definir las diferentes políticas de contratación que se van a llevar a cabo en cada una de ellas. Aunque más adelante se dará una explicación detallada de cada uno de los escenarios de simulación y sus diferencias, en este apartado se darán unas pinceladas acerca de las políticas que se van a emplear en el modelo con el fin de hacer más asequible la definición de cada una de las ecuaciones que definen este módulo de asignación de la demanda. En la figura 3.4 se observa el esquema en Vensim® del módulo en el que aparecen las variables y parámetros que intervienen en el mismo.

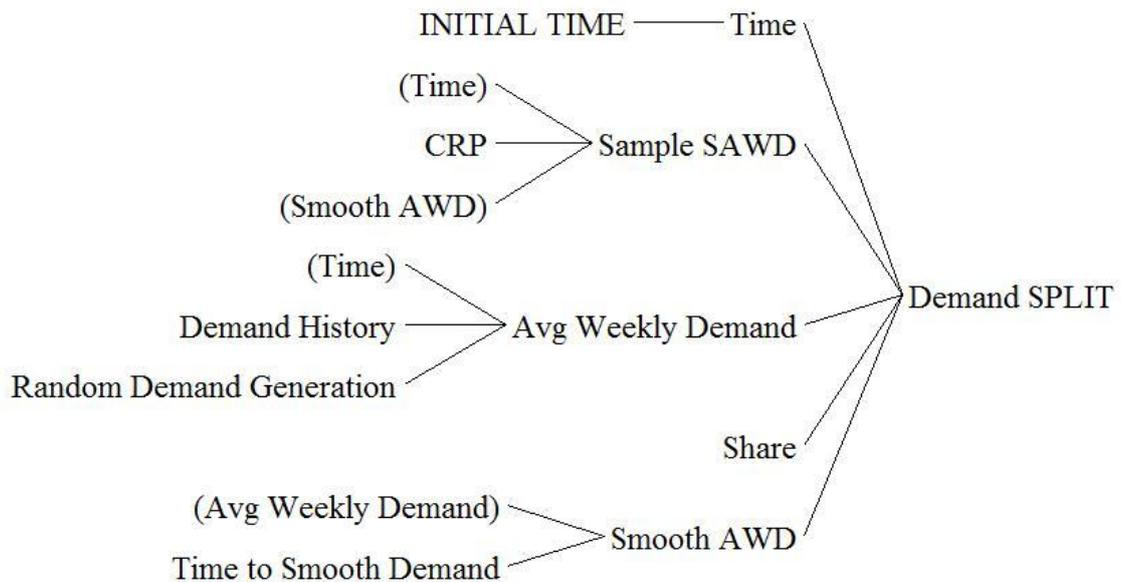


Figura 3.4 Árbol de relaciones para el cálculo de la demanda

Como se observa en la figura 3.4, la variable Demand Split (DS_t) se emplea para asignar a cada proveedor su demanda correspondiente en función de los contratos que se hayan firmado. Hay que resaltar que un mismo proveedor puede tener varios contratos dentro de una misma cartera, con lo que cada ecuación de las que componen la variable se referirá a un tipo concreto de política y cartera. Es por ello que (DS_t) será una variable matricial.

Los componentes de dicha matriz serán las ecuaciones que modelen el reparto en función de la cartera y del proveedor. Como en modelo se han considerado 3 proveedores y 3 carteras, en el modelo podrán aparecer hasta 9 ecuaciones, aunque en este caso nos encontramos con que el problema queda definido con 7 ecuaciones puesto que para el Proveedor 1 siempre se emplea la misma política de reparto de la demanda independientemente de la cartera que se esté analizando.

Antes de desgranar la variable DS_t se procederá a definir el resto de variables y parámetros desconocidos que aparecen en el árbol de la figura 3.4

En primer lugar, comenzando por la parte inferior de la imagen, encontramos la variable Smooth AWD_t , que no es más que la anteriormente calculada AWD_t pero alisada a través de la función Smooth de Vensim®. Dicho alisamiento consiste en la realización de una media móvil de la demanda con el objetivo de obtener una expresión de la demanda con menor variabilidad (menos picos) y con un aspecto de función analítica más remarcado. Para el alisamiento de la demanda se empleará el método de la media móvil con 4 semanas como parámetro de funcionamiento.

Seguidamente nos encontramos con el parámetro Share, donde $Share[Supplier,Portfolio]$ hace referencia a la matriz que relaciona el reparto de la demanda entre los distintos proveedores y los contratos. Dicha tabla está en la hoja Excel anexa al modelo y puede ser modificada según el peso que se quiera dar a uno u otro proveedor y a una u otra forma de contratación. En concreto en nuestro ejemplo se ha decidido emplear el siguiente reparto:

	Current	Porfolio 1	Porfolio 2
Supplier 1	0,5	0,5	0,5
Supplier 2	0,3	0,3	0,3
Supplier 3	0,2	0,2	0,2

Tabla 3.1 Reparto de la demanda para cada uno de los proveedores

Hay que resaltar que este reparto se refiere al total de la demanda, pero mediante la variable DS_t no sólo se conocerá la cantidad total a repartir (que se ajusta a la tabla 3.1) sino que además podrá conocerse el momento exacto de

la compra y el precio al que se realiza la misma, así como introducir las restricciones asociadas a cada una de las carteras. Con esto quiero resaltar que la matriz de la tabla 3.1 se refiere única y exclusivamente a la cuota con respecto al reparto global de la demanda para cada proveedor, con lo cual no puede considerarse válida como para definir las compras, puesto que no es capaz de recoger las vicisitudes de cada política a emplear.

Siguiendo con las definiciones previas, en la parte inmediatamente superior aparece la variable AWD_t conjuntamente con todas las variables y parámetros que la caracterizan y que ya ha sido explicada y definida en el apartado anterior.

En último lugar se encuentra la variable $Sample\ AWD_t$, puesto que el bloque que aparece en la parte superior de la imagen corresponde únicamente a la introducción del tiempo como variable. Con esta variable podrán calcularse las cantidades a solicitar al Proveedor 3 en las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2. A dicho proveedor se le solicitará una cantidad constante a revisar cada 3 meses y que se le pagará por adelantado. Dicha demanda está recogida en la variable $Sample\ AWD_t$ ($SAWD_t$), cuya gráfica es constante y sufre variaciones cada 4 semanas, como se observa en la figura 3.5

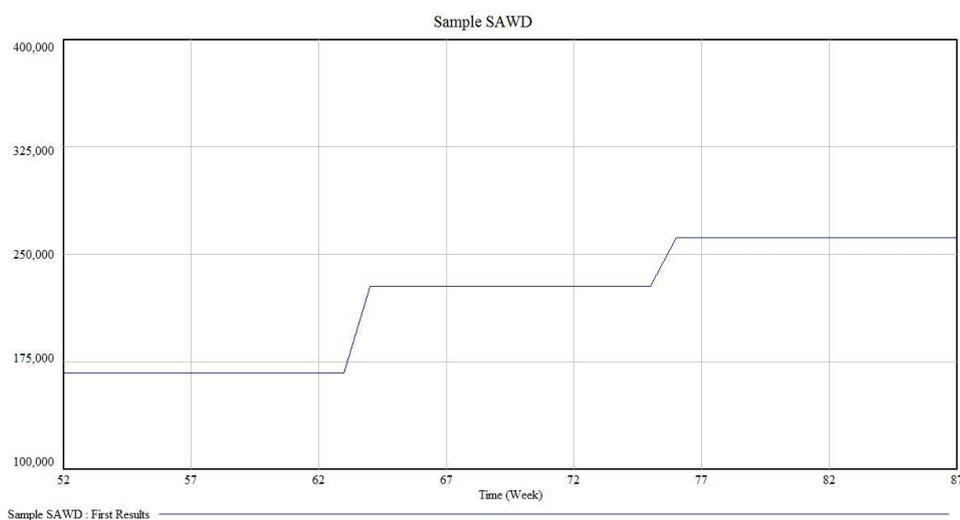


Figura 3.5 Gráfica de la variable $Sample\ AWD_t$

Como se observa en la figura 3.4, $SAWD_t$ depende del parámetro CRP que representa el tiempo en el que se realizan las contrataciones con el

proveedor (en este caso CRP=12 semanas) y de la variable Smooth AWD_t. De ésta última se toman los valores para el cálculo de los pedidos debido a que presenta una menor variabilidad gracias a la función SMOOTH. La ecuación que caracteriza a esta variable es:

$$\text{Sample AWD}_t = \text{SampleIfTrue}[\text{Time} \geq 52: \text{AND}: (\text{Time} - 52)/\text{CRP} = \text{INTEGER}((\text{Time} - 52)/\text{CRP}), \text{Smooth RP}, \text{Smooth RP}] \quad (3.5)$$

Dicha ecuación sigue la misma estructura que la variable Sample RP_t. La función que en ellas aparece será explicada en la página 82.

Una vez definido todo lo necesario para caracterizar la variable Demand Split, pasamos a definir las 7 ecuaciones que la conforman.

En primer lugar, se definirá la distribución de la demanda en el caso de la cartera Current, que se rige únicamente a través de criterios de porcentajes de distribución de la demanda reflejados en la tabla 3.1, con lo que su definición en Vensim® será:

$$DS_t[\text{Sproxy}, \text{Current}] = \text{Share}[\text{Sproxy}, \text{Current}] * \text{AWD}_t \quad (3.6)$$

Seguidamente se define el reparto de la demanda en el caso de que la cartera a analizar sea Portfolio 1. En primer lugar hay que resaltar que todas estas ecuaciones tienen un denominador común, que no es otro que su comportamiento es idéntico al de la cartera anterior durante las primeras 52 semanas. Esto obedece a poder comparar los diferentes comportamientos que se puedan dar empleando una u otra política. Como rasgos diferenciales con respecto a la cartera anterior, en este punto nos encontramos con que la demanda que se solicita al Proveedor 3 está en función de SAWD_t. Además, al Proveedor 2 se le van a demandar unas cantidades en función de la demanda alisada y no de la real, por lo que los picos de demanda serán absorbidos por el Proveedor 1 (el de mayor capacidad de fabricación). Dicha política tendrá una serie de ventajas en forma de descuentos que ya se comentará posteriormente. Es por ello que las ecuaciones que definen la demanda en esta cartera son:

$$DS_t = \begin{cases} si t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier 3, Current] \\ e.o.c. & Share[Supplier 3, Portfolio 1] * SAWD_t \end{cases} \quad (3.7)$$

Esta ecuación indica que si el tiempo de análisis es inferior a 52 semanas se emplee la política actual, mientras que una vez pasado el tiempo se emplee la nueva política de contratación, consistente en la compra de una cantidad constante de mercancía, el 20% de la muestra $SAWD_t$ al inicio de cada trimestre durante el desarrollo del mismo.

$$DS_t = \begin{cases} si t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier 2, Current] \\ e.o.c. & Share[Supplier 2, Portfolio 1] * SAWD_t \end{cases} \quad (3.8)$$

En el caso del Proveedor 2, la demanda que se emplea para el cálculo de los pedidos a realizarle, también es la demanda alisada (para poder pedir posteriormente mejoras en las condiciones de contratación) En concreto, la cantidad que se le solicitará a este proveedor será variable y consistirá en el porcentaje que le corresponde de la demanda alisada, cantidad que posteriormente podrá verse incrementada en función de las necesidades de inventario.

Por último sólo queda definir la demanda solicitada al Proveedor 1, que no será otra que la diferencia entre la demanda real y las cantidades solicitadas a los demás proveedores.

$$DS_t = \begin{cases} si t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier 1, Current] \\ e.o.c. & AWD_t - DS_t[Supplier 3, Portfolio 1] - DS_t[Supplier 2, Portfolio 1] \end{cases} \quad (3.9)$$

En el caso de la cartera Portfolio 2, las ecuaciones son idénticas cambiando el nombre de la cartera, por lo que se enunciarán y su ajustándose la explicación a la realizada en párrafos anteriores. Las ecuaciones son, ordenadas por proveedores:

$$DS_t = \begin{cases} si t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier 1, Current] \\ e.o.c. & AWD_t - DS_t[Supplier 3, Portfolio 2] - DS_t[Supplier 2, Portfolio 2] \end{cases} \quad (3.10)$$

$$DS_t =$$

$$\begin{cases} si t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier 2, Current] \\ e.o.c. & Share[Supplier 2, Portfolio 2] * SAWD_t - DS_t[Supplier 3, Portfolio 2] \end{cases} \quad (3.11)$$

$$DS_t = \begin{cases} \text{si } t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier 3, Current] \\ \text{e. o. c.} & Share[Supplier 3, Portfolio 2] * SAWD_t \end{cases} \quad (3.12)$$

3.2.2 Definición de la tasa de fabricación

Una vez definida la generación de la demanda y cómo se distribuye la misma dentro de la cartera de proveedores, comenzamos el análisis de cómo se generarán las órdenes de fabricación dentro de la estructura del proveedor, teniendo en cuenta las cantidades demandadas por el fabricante así como el inventario requerido por contrato a cada suministrador. Cabe destacar que debido a la variedad de escenarios de simulación que se van a analizar, cada proveedor y cada cartera requerirán de cantidades específicas de inventario. Esto hace que algunas de las variables que configuran el modelo sean variables matriciales, para poder gestionar toda la información necesaria para el correcto desarrollo y posterior validación de las simulaciones. Como consecuencia final de lo anterior, los componentes fabricados serán o bien almacenados, o bien tomados directamente por el cliente, como se verá posteriormente. El almacenaje podrá llevarse a cabo en distintas ubicaciones según se haga cargo del almacenaje el proveedor o el fabricante.

Tal y como se deduce de lo comentado en el apartado anterior, las órdenes de fabricación dependerán, por un lado de la demanda de componentes y por otro de las necesidades de inventario a disposición del fabricante. El que estas necesidades de inventario sean tenidas en cuenta es importante, dado que al tratar nuestro modelo con componentes cuyo aprovisionamiento es crítico dentro del proceso de fabricación, se hace fundamental el disponer de un inventario dimensionado de tal forma que no se produzcan roturas de stock en ningún punto de la cadena de producción del fabricante. Es por ello que se hará un tratamiento en profundidad del cálculo de las semanas de inventario que cada proveedor debe generar. Además, al considerarse este inventario parte estratégica de la empresa, será tenido en cuenta en el modelo como una variable con el que trabajar a la hora de redactar los contratos con los proveedores.

Es por ello que en el modelo existirán variables que permitirán a los gestores el tratamiento específico de las semanas de inventario a demandar a

cada uno de los proveedores (siempre haciendo el análisis para cada uno de los tipos de contratos distintos que éstos firmen).

3.2.2.1 Definición del periodo inventario deseado

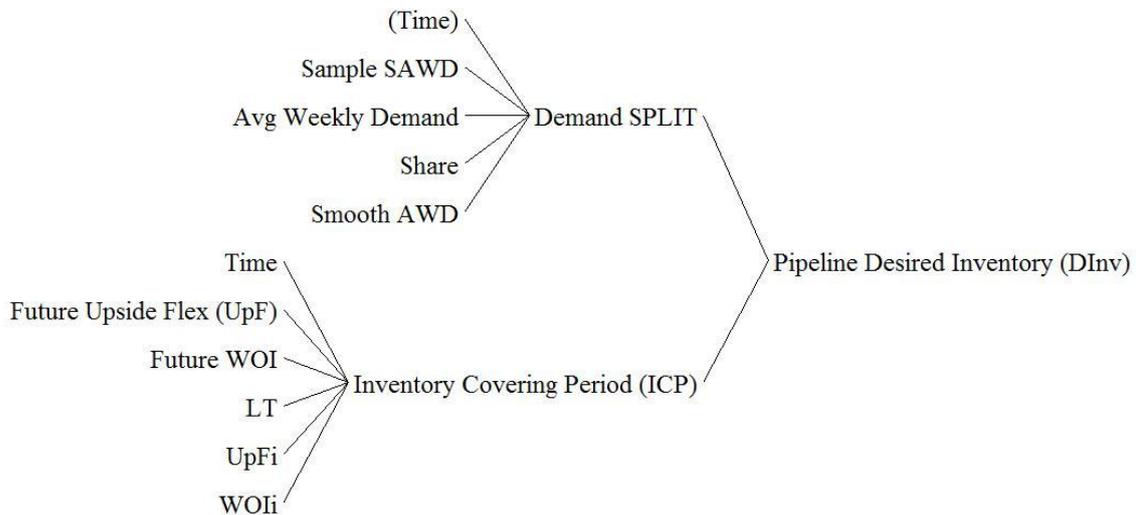


Figura 3.6 Árbol de variables y parámetros que influyen en el ICP y el Inventario Deseado

El esquema empleado en Vensim® para definir el Pipeline Desired Inventory ($D_{inv,t}$). En ella vemos cómo existen dos bloques que lo definen. El primero, la demanda por proveedor y contrato, ya conocido del apartado anterior. El segundo, el Inventory Covering Period (ICP_t). En este segundo bloque se definen los parámetros que caracterizan las condiciones presentes y futuras de contratación en torno a lo que se refiere a inventario deseado por parte del fabricante. Como la demanda ya es conocida, en los párrafos siguientes se desarrollará en profundidad todo lo referente al ICP_t , para luego pasar a definir en último lugar el inventario deseado en fábrica.

En el ICP_t influyen diversos parámetros que definen cada una de las estrategias marcadas desde la gerencia de la empresa cliente de suministros para poner a salvo sus líneas de producción en caso de errores en la previsión de la demanda. Esta incertidumbre en de las previsiones es contrarrestada a través del establecimiento de una serie de medidas encaminadas a tener el abastecimiento suficiente en caso de errores. Dichas medidas se centran en el dimensionamiento adecuado de los inventarios de los que puede disponer el fabricante. En las próximas líneas se pasan a definir los diversos parámetros

que se han establecido para modelar las políticas actuales y las posibles políticas futuras del fabricante en torno a este tema:

Weeks of Inventory (WOI): Número de días de inventario que, por contrato, los proveedores han de fabricar además de la cantidad pactada para esa semana. En la actualidad se ha tomado el valor que desde la gerencia del fabricante se está imponiendo, en este caso 2 semanas. Hay que resaltar que, en este caso, esta exigencia de inventario se realiza a todos los proveedores.

Future WOI: Con este parámetro se simulará la estrategia a seguir, en lo que respecta a inventario demandado a proveedores, una vez pasadas las 52 semanas de histórico de datos. Se trata del parámetro que permitirá definir las diferentes estrategias a seguir en lo que respecta a este apartado para cada proveedor y en cada cartera de contratos. Los valores de este parámetro aparecen definidos en la tabla 3.2. Como se puede ver, en la cartera actual (Current) continuarán las 2 semanas de inventario. Sin embargo, en las dos carteras a simular se eliminarán las exigencias de inventario al Proveedor 3. Esta estrategia forma parte de la política de trato con el proveedor 3, de emplear su capacidad únicamente para una demanda constante y con las menores cargas posibles con el fin de que reduzca sus costes fijos y eso redunde en una mejora de los precios de suministración.

	Future Weeks of Inventory		
	Current	Portfolio 1	Portfolio 2
Supplier 1	2	2	2
Supplier 2	2	2	2
Supplier 3	2	0	0

Tabla 3.2 Semanas de inventario en las políticas simuladas a partir de 52 semanas

Este parámetro se definirá en Vensim® mediante la siguiente ecuación:

$$Future\ WOI_t = GET\ XLS\ CONSTANTS('Data_{Book}.xls', 'Constants\ Data', B30') \quad (3.13)$$

Lead Time (LT): Con este parámetro tenemos en cuenta el plazo de entrega de los pedidos del fabricante. En nuestro caso lo hemos considerado de 6 semanas, pero como el resto de parámetros se podrán regular en función de cada proveedor y de cada tipo de pedido concreto. Es precisamente este

parámetro el que obliga a la empresa a disponer de un stock adecuado de suministros. Si la entrega de los pedidos fuera inmediata, siempre se podría hacer frente a la incertidumbre. Como no es el caso y una vez realizadas las órdenes de fabricación no existe rectificación posible, es necesario que la empresa disponga de un inventario que permita hacer frente a la incertidumbre que pueda aparecer en estas 6 semanas.

Upside Flex (UpF): Se trata de un parámetro que modela una estrategia que sigue la empresa, consistente en exigir que cada proveedor disponga en sus almacenes de, además del inventario ya estipulado, un inventario adicional del 30% del plazo de entrega. Se trata de una política de seguridad implantada por la empresa con el fin de asegurarse siempre la disponibilidad de inventario para sus líneas de fabricación. El interés de este parámetro radica en su empleo como medida para el stock de seguridad de los componentes críticos.

Future Upside Flex (FUpF): El concepto es el mismo que el anterior, pero ahora el valor del parámetro vendrá en función de la negociación con los proveedores y se podrá obtener el valor más adecuado para su empleo en las negociaciones. En este caso en la tabla 3.3 encontramos los valores que se van a emplear para el parámetro en función de la política a seguir con cada uno de ellos. Se observa, en la primera columna la política actual, de exigir ese inventario extra a cada proveedor, mientras que para las demás carteras esa exigencia sólo se mantiene para el Proveedor 1, con lo que en el caso del Proveedor 2 necesitará emplear menos espacio de almacenaje y para el Proveedor 3 ninguno, con lo cual podrá exigirse un descuento mayor para cada uno.

	Future Upside Flex		
	Current	Portfolio 1	Portfolio 2
Supplier 1	0,3	0,3	0,3
Supplier 2	0,3	0	0
Supplier 3	0,3	0	0

Tabla 3.3 Future Upside Flex por proveedor y cartera

Su definición en Vensim® será:

$$FUpF = GET\ XLS\ CONSTANTS ('Data_Book.xls', 'Constants\ Data', 'B34') \quad (3.14)$$

Una vez definido todo lo anterior pasamos ahora a definir el parámetro Inventory Covering Period (ICP_t), que aglutinará a todos los anteriores. Como en el caso de la demanda esta variable dependerá de si nos encontramos en un periodo de tiempo (menos de 52 semanas) en el que disponemos de datos históricos de la gestión de inventario o si estamos analizando estrategias futuras. La definición formal del Inventory Covering Period (ICP_t) es:

$$ICP_t = \begin{cases} [LT + WOI + UpF * LT] & \text{si } Time < 52 \text{ (semanas)} \\ [LT + Future\ WOI + FUpF * LT] & \text{si } Time > 52 \end{cases} \quad (3.15)$$

La definición formal en Vensim® será:

$$ICP_t = \begin{cases} \text{Si } t \geq 52 & LT * (1 + FUpF) + Future\ DOI[SProxy, CPortfolio] \\ \text{e. o. c.} & LT + WOI + LT[SProxy, CPortfolio] * UpF \end{cases} \quad (3.16)$$

Una vez definido el Inventory Covering Period sólo quedan por determinar las ecuaciones que definen el inventario deseado por parte de la gerencia. Para ello empleamos la variable Pipeline Desired Inventory ($DInv_t$), que viene definida por el producto de la demanda por proveedor y tipo de cartera, Demand Split DS_t y el periodo de cobertura de inventario (ICP). Las definiciones matemática y en Vensim® serán:

$$Pipeline\ Desired\ Inventory\ (DInv_t) = DS_t * ICP_t \quad (3.17)$$

$$DInv_t = ICP_t[SProxy, CPortfolio] * DS_t[SProxy, CPortfolio] \quad (3.18)$$

Con esta nueva variable ya contamos todo lo necesario para definir la tasa de fabricación de componentes de cada uno de los proveedores.

3.2.2.2 Definición de la tasa de fabricación

En la imagen inferior vemos el esquema definitivo del proceso de fabricación de los componentes por parte de los proveedores.

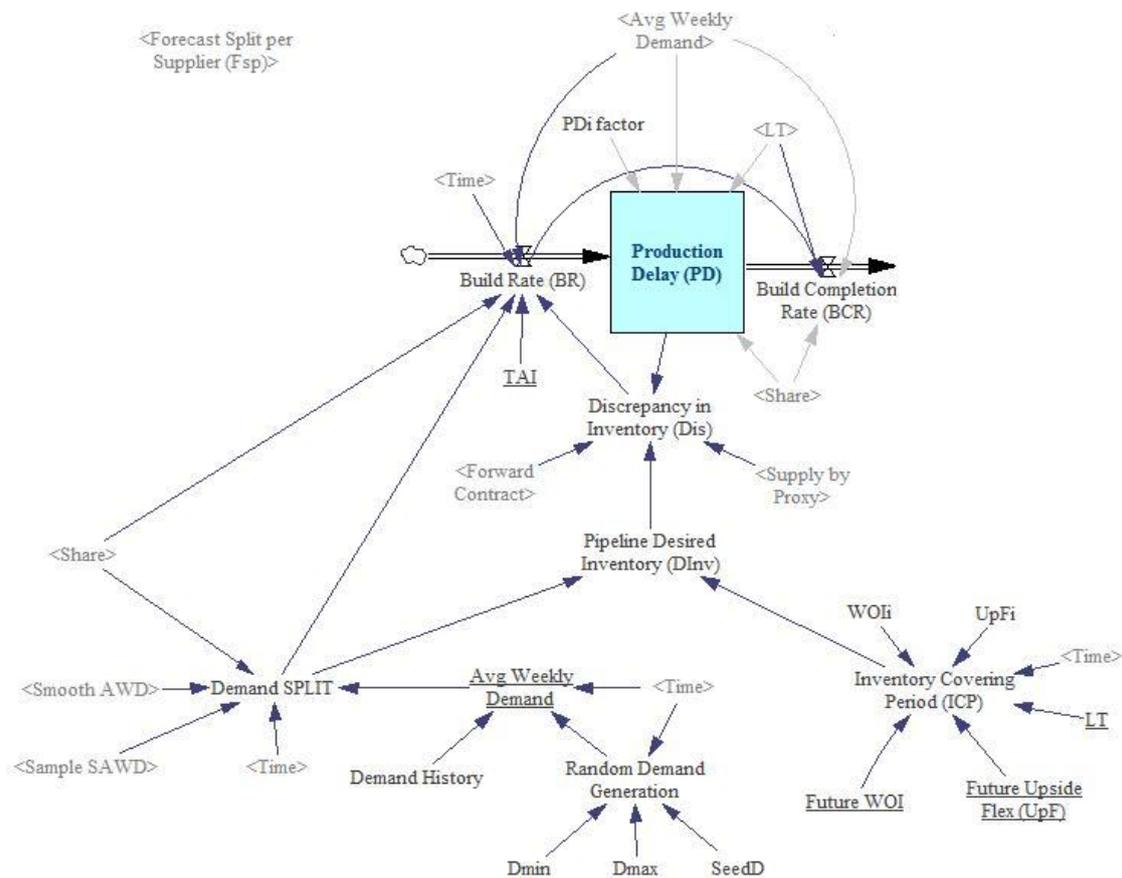


Figura 3.7 Esquema en Vensim® del modelado de la tasa de fabricación

En ella se observa que dicha tasa de fabricación depende de la demanda (ya calculada en el apartado 3.2.2) y del inventario, y para cuya definición previamente se introdujo el concepto en el modelo de Inventory Covering Period (ICP_t). Ahora, antes de pasar a concretar formalmente la tasa de fabricación de los proveedores, se definirá lo referente a la otra variable en torno a la que giran las órdenes de fabricación, la discrepancia de inventario.

Una vez conocido el ICP_t el desarrollo de esta parte del modelo comienza con la variable Discrepancy on Inventory (Dis_t). Como ya se comentó, las unidades a fabricar dependerán de la demanda y del inventario que desde el fabricante se desea disponer para hacer frente a las posibles fluctuaciones que se

produzcan en la demanda. Dicha incertidumbre ya fue comentada cuando se introdujo el concepto de Lead Time y es la que obliga al modelo a tener en cuenta una variable que relacione el inventario deseado con el existente con el fin de que el stock se mueva siempre en el entorno deseado. Esta variable, denominada Discrepancy in Inventory (Dis_t), es fundamental para controlar las dimensiones de los inventarios de componentes. Sin ella se correría el riesgo de sobredimensionar los inventarios de cada proveedor en función de la cartera que se analice. El motivo no es otro que si no controlamos el stock de seguridad éste se puede ir haciendo cada vez mayor. Esta variable garantiza que éste se posicione en unos niveles sostenibles para proveedor y empresa y evita la fabricación de componentes que no van a entrar luego en el mercado debido a que las exigencias de stock por parte del comprador ya están cubiertas antes de comenzar la fabricación. Su definición formal, como variable matricial, y en el modelo de simulación es:

$$(Dis_t) = DInv_t - (Unidades\ en\ fabricacion + \sum Inventarios) \quad (3.19)$$

Donde el sumatorio de inventarios se explicará en el siguiente apartado.

En Vensim® se ha definido como:

$$Dis_t = [DInv_t - (PD_t + Supply\ by\ Proxy)] * (1 - Forward\ Contract) \quad (3.20)$$

En este punto hay que tener en cuenta que todas las variables son matriciales, por lo tanto en la ecuación 3.19 deberán ir acompañadas de la expresión [Sproxy,Cportfolio]. Además de eso, se observa la aparición de un parámetro antes no comentado, Forward Contract (FC) y de la variable Supply by Proxy. El primero consiste de una matriz que permite al modelo distinguir entre los contratos de compra normal y los de pago por adelantado. Esto es importante porque estos contratos afectan al Proveedor 3, que como ya se ha comentado en varias ocasiones en las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2 se ha decidido que no acumule inventario y que fabrique a una tasa constante. Al ser una matriz de ceros y unos permitirá calcular la discrepancia en el inventario sólo de aquellos proveedores que por contrato lo acumulen a través del empleo del paréntesis final de la ecuación. La matriz que contiene los valores de la variable Forward Contract es la siguiente:

	Forward Contract		
	Current	Portfolio 1	Portfolio 2
Supplier 1	0	0	0
Supplier 2	0	0	0
Supplier 3	0	1	1

Tabla 3.4 Valores del parámetro Forward Contract

Así mismo, la variable Supply by Proxy, junto con Production Delay (PD_t), que será definida en la página siguiente, reúne todos los inventarios existentes de suministros. El valor de Supply by Proxy se explicará en próximos apartados.

Por último definimos, antes de definir la tasa de fabricación, el Tiempo de Ajuste de Inventario (TAI) que no es más que un parámetro que permite al fabricante decidir en cuánto tiempo corrige los cambios entre inventario real y el deseado. Cuanto menor sea, mayores serán los cambios de semana en semana de la tasa de fabricación (con demanda aproximadamente constante), mientras que en el caso contrario la tasa de fabricación sufrirá modificaciones más progresivas. En este caso se ha considerado constante para todos los proveedores y de 6 semanas. Sin embargo, en la hoja Excel al modelo aparecen valores para cada proveedor y cartera (al ser un parámetro empleado en ecuaciones matriciales). En la siguiente tabla aparecen los valores que se toman.

	Time to Adjust Inventory		
	Current	Portfolio 1	Portfolio 2
Supplier 1	6	6	6
Supplier 2	6	6	6
Supplier 3	6	0	0

Tabla 3.5 Tiempo de Ajuste de inventario por proveedor y cartera

Como podemos ver, en la tabla se ha puesto para el tercer proveedor un TAI de 6 en las carteras Portfolio 1 y 2. Este parámetro adopta ese valor por reflejar la política del proveedor, aunque en este caso se verá posteriormente que no es necesario porque en estas carteras el Proveedor 3 fabrica a tasa constante y no almacena inventario. La ecuación en el modelo es la siguiente:

$$TAI = GET\ XLS\ CONSTANTS('Data_Book.xls', 'Constants\ Data', 'B38') \quad (3.21)$$

Contamos ya por lo tanto con todos los componentes necesarios para definir la tasa de fabricación, Build Rate (BR_t). La definición que aquí se hace es por fabricante y tipo de contrato. La construcción de la ecuación en Vensim® hará que se aglutinen todas las órdenes de producción

$$BR_t = MAX \left\{ Demanda + \frac{Dis_t}{TAI} \mid 0 \right\} \quad (3.22)$$

Esta ecuación está definida de esta forma para evitar que aparezcan tasas de fabricación negativas. Como puede llegar un momento en el que la discrepancia de inventario sea negativa (exista más inventario que el que se ha calculado como necesario en ese momento), la tasa de fabricación podría llegar a serlo. Como eso es imposible se emplea el recurso de la función máximo para evitar incoherencias en el modelo. La definición dentro del mismo de la tasa de fabricación es la siguiente:

$$BR_t = MAX \left\{ \frac{AWD_t * Share[SProxy, Current] + Dis_t * [SProxy, Current]}{TAI} \mid 0 \right\} \quad (3.23)$$

Sólo queda, por lo tanto, definir el significado de las variables Production Delay (PD_t) y Build Completion Rate (BCR_t). En el caso de la segunda, se trata como su propio nombre indica del número de unidades ya fabricadas y listas para su entrega. Como no hemos considerado mermas de proceso (al no aportar ese dato valor añadido al modelo) esta variable no es más que la tasa de fabricación (BR_t) retrasada el tiempo de entrega de componentes (LT). Como por motivos constructivos Vensim® no permite el introducir este tipo de consideraciones directamente, empleamos una variable de nivel que se sirva para dotar de coherencia interna al modelo, así como para conocer en todo momento el acumulado de inventario en fabricación del que disponen los proveedores. Esta variable ha sido llamada en el modelado Production Delay (PD_t). Es una variable importante porque también representa inventario en curso que se está generando, y por ello se tuvo en cuenta a la hora de construir la ecuación de DIS_t . Sus ecuaciones formales e internas del modelo son:

$$Production\ delay\ (PD_t) = Build\ Rate\ (BR_t) - Build\ Completion\ Rate\ (BCR_t) \quad (3.24)$$

$$PD_t = INTEG(BR_t[SProxy, CPortfolio] - BCR_t[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.25)$$

Al tratarse de una variable de nivel necesitaremos un valor inicial que permita al modelo comenzar el cálculo de la misma, en este caso:

$$AWD_t * Share[SProxy, CPortfolio] * LT[SProxy, CPortfolio] * PDi factor \quad (3.26)$$

Dicho valor inicial vendrá definido por el inventario disponible en el mes anterior al primer dato del histórico de la demanda que disponemos. En nuestro caso se define mediante la ecuación anterior. En dicha ecuación aparece el parámetro PDi factor, que permitirá dimensionar el inventario inicial en proceso de fabricación que se dispone en el modelo.

Una vez hemos definido Production Delay sólo nos queda la definición en Vensim® de Build Completion Rate (BCR_t)

$$BCR_t = DELAYFIXED(BR_t|LT|AWD_t * Share[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.27)$$

Donde “Delay Fixed” es una función de Vensim® que permite retrasar una variable (Build Rate), una cantidad de tiempo determinada, que en nuestro caso se corresponde al tiempo de entrega (lead time).

Con todas estas variables queda definido el proceso de fabricación de los proveedores atendiendo a las necesidades del modelo. No buscamos el conocimiento profundo del mismo, sino cómo funciona a grandes rasgos para así poder hacer las previsiones de materiales necesarias para el proceso de fabricación de la empresa compradora. Como se ha podido observar, la mayoría de la información que aparece en este punto o bien es suministrada por el proceso interno de funcionamiento del fabricante (demanda, variables de inventario) o bien impuestas por el proveedor y fáciles de conocer (Lead Time). Sólo el TAI se considera una variable interna del proceso de fabricación de los proveedores y debido a su escaso impacto en los resultados del modelo (como veremos posteriormente), no se trata de una variable fundamental. Es por ello que la validación de esta parte del modelo generará pocas incertidumbres debido a que la gran mayoría de la información procede de la estructura interna del fabricante.

3.2.3 Definición de los precios de compra

3.2.3.1 Trabajo previo al modelado para la definición de los precios

Los precios de compra de los componentes están sometidos a la volatilidad del mercado. En las circunstancias actuales las fluctuaciones son una constante, como ya venía sucediendo en determinados mercados tales como el mercado tecnológico o el de los hidrocarburos. Es por ello la realización de predicciones, incluso a corto plazo, es una tarea compleja y delicada. No se debe olvidar además que, gracias a la globalización, la mayoría de las grandes empresas cuenta con proveedores de diferente procedencia que pueden operar con diferente moneda que el comprador. Esto hace que el precio todavía sea más difícil de prever. La razón no es otra que, además de la incertidumbre de los mercados de compra hay que contar con la del mercado de divisas. Así como diversas circunstancias como la situación geopolítica del país en el que se realicen las compras pueden afectar a los precios.

A la hora de abordar el problema en el modelado, se ha puesto de manifiesto que las diferencias entre precios reales y estimados eran muy significativas, sobre todo a medio y largo plazo. Esto dificultaba la capacidad del modelo para ofrecer unos resultados ajustados a lo que luego sería la realidad. Es por ello que para conseguir una funcionalidad adecuada del modelo, se ha decidido recurrir a un análisis estadístico de los datos de precios estimados y reales de los que se dispone. Con este análisis se podrán obtener unas previsiones más ajustados a la realidad y, por lo tanto un modelo más fiable y que de unos resultados más significativos para la toma de decisiones.

En primer lugar se ha confeccionado la tabla 3.6, a partir de los datos del año 2010 y que servirá como punto de partida para observar el comportamiento del mercado con respecto a las previsiones. El primer dato a destacar es que la previsión se realiza mensualmente y no por semanas (unidad temporal empleada en el modelo). El segundo punto que clave consiste en que para su elaboración se ha tenido en cuenta que el fabricante realiza las previsiones de precios de los componentes cada 4 meses. Dichas previsiones son revisadas mensualmente, pero siempre respetando el horizonte inicial de 4 meses. Esto quiere decir que al principio del primer mes se revisará la previsión para ese

mes, así como para el segundo, tercero y cuarto, pero no más allá. Sucederá lo mismo al principio del segundo mes, en el que se revisarán las previsiones del mismo, del tercero, del cuarto y quinto, y así sucesivamente. Es por ello que en la tabla podemos observar los siguientes grupos de columnas:

La primera columna corresponde con el mes del año que se analizan los precios. En la segunda columna aparecen los precios de mercado que se pagaron en el momento de la compra, con independencia de los descuentos que pudieran aparecer posteriormente para cada proveedor.

Las columnas que van de la tercera a la sexta incluyen las previsiones de los precios realizadas. La tercera contiene la previsión que se hizo el mes anterior. La cuarta columna alberga los pronósticos que se llevaron a cabo hace 2 meses, la quinta hace 3 y la sexta hace 4, que como se comentó en párrafos anteriores, es el horizonte temporal de la previsión. Como en esta tabla sólo se emplean datos de 2010, hay una serie de filas que aparecen vacías en determinadas columnas. Es el caso del mes de enero, en el que sólo contamos con previsiones realizadas en dicho mes, el mes de febrero, del que no se dispone de la previsión hecha a tres meses vista. El resto de los números que faltan en las columnas 5 y 6 siguen la misma dinámica que los anteriores.

En las siguientes 4 columnas se calculan los errores absolutos entre previsión y precio real. En la columna 7, titulada “1 month error”, se calculan los errores entre las previsiones realizadas con un mes de horizonte temporal y el precio que finalmente se pagó, es decir, entre la columna 2 (precio real) y la columna 3 (precio previsto el mes anterior). En la columna 8 sucede lo mismo, en ella se coloca la diferencia entre la columna 2 (precio real) y la columna 4 (precio previsto hace 2 meses). Con ella se calculan los valores de la columna “2 month errors”. Las dos columnas siguientes siguen la misma dinámica con los errores en las previsiones realizadas hace 3 y 4 meses.

Por último, en las 2 últimas filas se calcula el error medio y la desviación típica de cada una de las previsiones, a partir de los datos de las columnas 7 en adelante, es decir, se calcula el error medio de los diferentes errores.

Modelado de una Cadena de Suministro de Componentes Críticos mediante Técnicas de Simulación Continua

2010	Real	Forecast (1)	Forecast (2)	Forecast (3)	Forecast (4)	1 month error	2 months error	3 months error	4 months error
jan	40,5	38,36				2,14	0	0	0
feb	41,5	41,5	36,7			0	4,8	0	0
mar	47	44	41	35		3	6	12	0
apr	49	49	45	41,5	34,5	0	4	7,5	14,5
may	46	50	50	45,5	40	4	4	0,5	6
jun	47	48	54	54	46	1	7	7	1
jul	41,5	43	50	57	57	1,5	8,5	15,5	15,5
aug	39	39	45	52	60	0	6	13	21
sept	33	35	39	44,5	52	2	6	11,5	19
oct	26,5	30	35	37	45	3,5	8,5	10,5	18,5
nov	19,8	23	28	33	35	3,2	8,2	13,2	15,2
dec	15,9	15,5	19,5	23,5	28,5	0,4	3,6	7,6	12,6
					Avg	1,728	6,055	9,830	13,700
					StdDev	1,403	1,830	4,307	6,445

Tabla 3.6 Histórico de precios y previsiones para el año 2010

Uno de los primeros datos que podemos observar es que, como es evidente, en el año 2010 a medida que aumenta el tiempo que transcurre entre previsiones y precios reales aumenta el error absoluto cometido. También hay que tener en cuenta que a medida que aumentamos el periodo de realización de las previsiones, disminuimos el número de datos disponibles, con lo cual la incertidumbre es mayor.

Una vez obtenidos los datos generamos el siguiente gráfico, en el que aparecen los errores en las previsiones así como la desviación típica en función del número de meses en los que se haya realizado la previsión. La gráfica resultante es la siguiente:

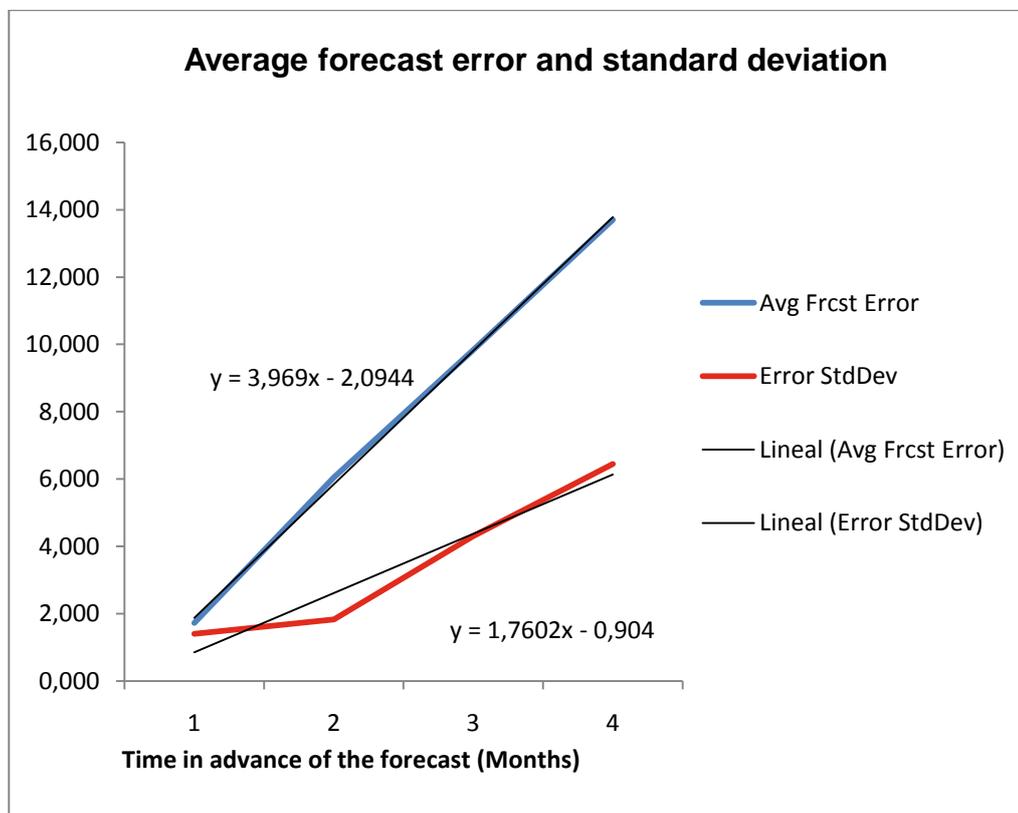


Figura 3.8 Error medio en el cálculo del precio y desviación típica

En ella vemos el error medio y la desviación típica así como el ajuste de las mismas a través de regresión lineal. En lo que se refiere al error de la media podemos ver que las gráficas de error y de regresión líneas se ajustan bastante. No sucede lo mismo con el error de la desviación típica, cuya variabilidad es mayor que en el caso del error medio. Cabe destacar, en lo que

se refiere a la desviación típica, que en la gráfica se observa un estancamiento de la misma entre el primer mes y el segundo, mientras que se dispara en el tercero. Este dato unido a que el error medio en el segundo mes es tres veces mayor que en el primero nos dice que, aunque en las previsiones con 2 meses se produzca una desviación mayor, éstas serán mucho más estables en torno a la media que las previsiones realizadas a un mes vista, es decir, que el segundo mes se tendrá un intervalo de confianza más estrecho que en el primero, a pesar de lo que el gráfico de la media pueda mostrar en un principio

Con estos datos ya podríamos hacer una primera aproximación a los precios reales frente a las previsiones. Sin embargo, existen posibilidades de obtener unas previsiones mejores que las resultantes del análisis anterior. Para ello se realizará un análisis más detallado de los datos disponibles. Para ello se construirá en primer lugar la tabla 3.7, en la que aparece la diferencia entre el precio de un mes y del mes anterior. Este dato puede ayudar a entender mejor las fluctuaciones que aparecen en los precios mes a mes. Así mismo, en la última fila aparecen las diferencia más alta entre el precio de un mes y el anterior (DMAX) y la más baja (DMIN).

2010	Previous month	
	Difference	
jan	40,5	
feb	41,5	1
mar	47	5,5
apr	49	2
may	46	-3
jun	47	1
jul	41,5	-5,5
aug	39	-2,5
sept	33	-6
oct	26,5	-6,5
nov	19,8	-6,7
dec	15,9	-3,9
	DMIN	-6,7
	DMAX	5,5

Tabla 3.7 Diferencia entre los precios de un mes y del anterior

Con estos valores podemos crear una banda de incertidumbre más ajustada, empleando como función de trabajo el error lineal de la media calculado anteriormente así como la regresión lineal que se hizo de la desviación típica. Las ecuaciones de ambas regresiones (que también se pueden observar en la figura 3.8, son las siguientes:

Regresión lineal de la distribución de errores de la media:

$$f_1(t) = 3,969 * t - 2,094 \quad (3.28)$$

Regresión lineal de la distribución de la desviación típica:

$$f_2(t) = 1,760 * t - 0,904 \quad (3.29)$$

Donde la variable x representa el tiempo entre la previsión y el valor real.

A partir de estas ecuaciones se generará una banda de confianza para cada previsión, entre la que tendrá que estar contenida el precio calculado. Esta banda se configurará tanto por encima como por debajo del valor previsto. Dichos valores servirán para comenzar a cumplimentar la tabla 3.8. Esta banda se crea para que el precio máximo y mínimo estimado mediante la misma se encuentre en un nivel estadístico de confianza del 95%. Para ello se empleará la clásica fórmula de análisis estadístico:

$$I_{95\%} = \varpi \pm 2 * \sigma \quad (3.30)$$

Donde ϖ es la media y σ la desviación típica.

La construcción de esta banda de confianza es compleja, puesto que existe la posibilidad de fijar precios negativos. Ante esa posibilidad se ha fijado un precio mínimo (P_{\min}) de 12 \$., que es facilitado por la gerencia analizando los históricos disponibles en la empresa. Para un punto cualquiera, se calcularán los valores de las columnas 3 y 4 de la tabla 3.8 El cálculo de para el mes 3 será:

$$MAX(\text{marzo}) = Precio(\text{marzo}) + f_1(t = 3) + f_2(t = 3) \quad (3.31)$$

$$MIN(\text{marzo}) = MAX\{Precio(\text{marzo}) - f_1(t = 3) - f_2(t = 3) | P_{\min}\} \quad (3.32)$$

Modelado de una Cadena de Suministro de Componentes Críticos mediante Técnicas de Simulación Continua

2011	Forecast	Min	Max	Real	MIN modified	MAX modified	Real Modified	Months in advance	Min Admissible Commodity Value
feb	16	16	16,000	16,00			16		12
mar	16,8	13,213	20,387	16,00	13,21	20,39	17,00	1	
apr	16,8	10	27,876	17,00	10,30	22,50	18,00	2	
may	17	10	35,566	32,00	11,30	23,50	12,00	3	
jun	17,5	10	43,555	24,00	10,00	17,50	17,00	4	
jul	18	10	51,545	11,00	10,30	22,50	18,00	5	
aug	19	10	60,034	27,00	11,30	23,50	20,00	6	
sept	19	10	67,523	20,00	13,30	25,50	18,00	7	

Tabla 3.8 Tabla para la generación de los precios futuros

En la columna Real aparece un precio generado a través de una distribución aleatoria comprendido entre los valores MIN y MAX, es decir, enmarcado en la primera franja de confianza. Este precio generado aleatoriamente, suponiendo que los precios siguen una distribución normal, se encuentra situado en el intervalo de confianza inicial del 95% sobre la previsión.

Una vez obtenido el precio previsto con un margen de error aproximado del 5%, se dará una vuelta de tuerca más a la previsión empleando los valores máximos y mínimos calculados en la tabla 3.7. Estos valores (DMIN Y DMAX) eran la mínima y la máxima diferencia entre una previsión realizada el mes anterior con respecto al valor real. Con estos dos valores se recalcularán las columnas 3 y 4 de la tabla 3.8. Dichas columnas representaban el máximo valor que puede tomar un precio con respecto a una previsión con un 95% de confianza. Ahora se pretende estrechar si es posible esa franja de confianza utilizando los parámetros DMIN y DMAX. Para ello se comprobará, por ejemplo, si el precio calculado en la columna “Real modified” en el mes anterior, sumado a DMAX (máxima diferencia entre la previsión a un mes vista y el valor real (por eso se toma el valor de “Real modified” del mes pasado), es menor que el precio que aparece en la columna “MAX”, si es así, el valor de la columna “Max modified” en ese mes será el de la suma DE Real Modified y DMAX. Esto es así porque se ha comprobado que ésta es la desviación máxima que sufre históricamente un precio entre el calculado un mes y el mes siguiente. En caso contrario se tomará el número de la columna “MAX” De un modo similar se operará para rellenar la columna “MIN modified”, buscando siempre estrechar el intervalo de confianza. Las ecuaciones que permiten rellenar estas dos columnas (la 6 y la 7) son:

$$MinModified_t = MÁXIMO[(RealModified_{t-1} + DMIN); MIN] \quad (3.33)$$

$$MaxModified_t = MINÍMO[(RealModified_{t-1} + DMAX); MAX] \quad (3.34)$$

Con estos nuevos valores generaremos la columna con la previsión definitiva de precios, con una confianza mayor al 95% y estrechando el intervalo de confianza gracias a la observación de la evolución histórica de los

precios. Dicha previsión se hará empleando nuevamente una distribución aleatoria de precios comprendida entre “MAX modified” y “MIN modified”

$$RealMod = Aleatorio: [MAX(Min, MinModified); MIN(Max, MaxModified)] \quad (335)$$

Como resultado de todos estos cálculos tenemos los gráficos que aparecen en la figura 3.9. En ellos podemos ver el significativo estrechamiento de las bandas de incertidumbre. La primera, formada por las gráficas MIN y MAX es significativamente más ancha que la segunda y definitiva, formada por MAX modified y MIN modified. Este estrechamiento se debe en gran medida a la notable diferencia entre la línea MAX y MAX modified, puesto que en lo que respecta a la otra pareja, ambas líneas prácticamente se solapan.

Además de este estrechamiento y probablemente de bastante más importancia, se observa que la banda entre MAX modified y MIN modified es bastante estrecha, con lo cual se ha conseguido una certidumbre superior al 95% de confianza con una banda bastante estrecha, es decir, se ha conseguido superar el problema que suponía la elevada desviación típica que ofrecían los datos a base de emplear de manera razonable y exhaustiva todos los datos a disposición de la gerencia en el histórico de la empresa. Gracias a este estudio acerca de la evolución de las previsiones y los precios reales se ha conseguido reforzar la fiabilidad del modelo, pues ahora éste es mucho más robusto frente a los vaivenes del mercado. Esta robustez y fiabilidad redundará en una mayor credibilidad del modelado dentro de la empresa, puesto que los resultados del modelo dependen en gran medida de los pronósticos de precios, dado que es el indicador económico sobre el que se basarán el resto de variables del modelo para permitir calcular costes, beneficios y demás variables que pondrán de manifiesto la idoneidad o no de las diversas políticas y carteras a testar antes de implantarlas en la empresa. Es por ello que el esfuerzo previo realizado para elaborar este apartado, si bien no define de por sí una estrategia comercial. Posibilitará que el modelo pueda cumplir con su cometido de ayudar a la gestión de una forma eficaz y con menor incertidumbre.

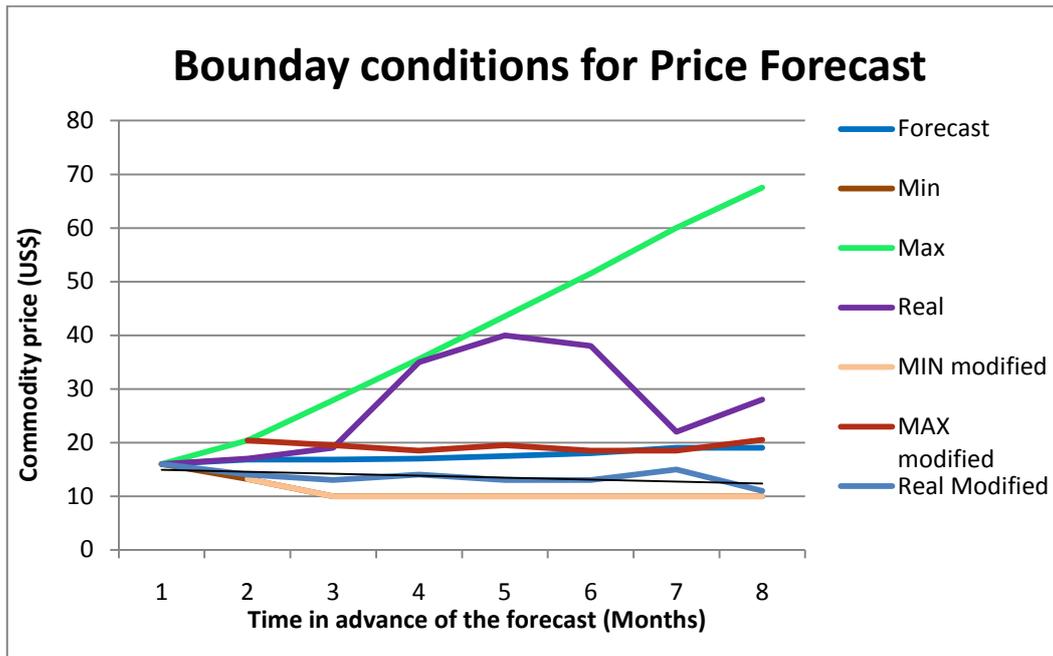


Figura 3.9 Gráfico de las condiciones de contorno para la previsión de precios

3.2.3.2 Modelado de la estructura de precios en Vensim®

Una vez definida la forma de calcular los precios pasamos a cómo se ha traducido esta definición formal a Vensim®. Para ello tenemos, por un lado, el histórico de precios (PH_t) y por otro Random Price Generation (RPG $_t$) en la estructura que se presenta en la figura 3.10 se observan las variables que participan en la previsión de los precios, una vez pasado el histórico de 52 semanas.

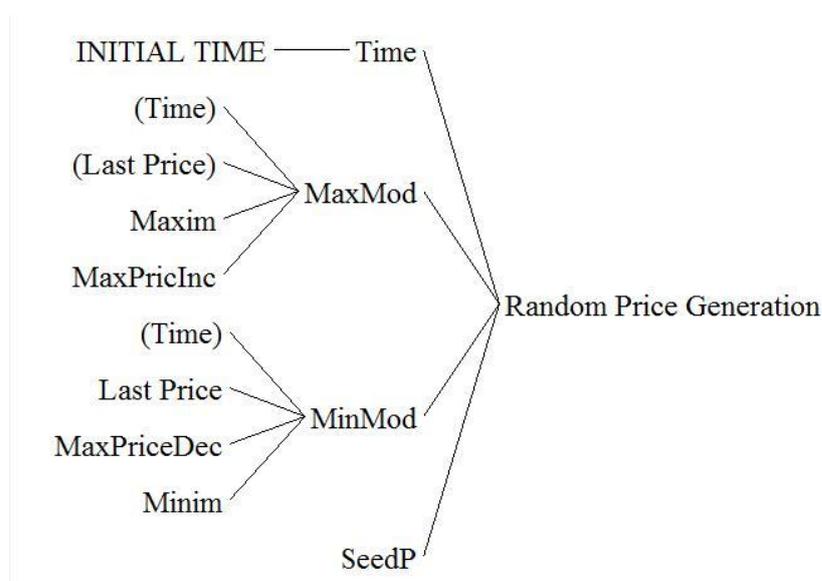


Figura 3.10 Modelado de la revisión de precios en Vensim®

En la figura anterior encontramos que existen en el modelo dos capas antes de llegar al precio definitivo generado a través de una distribución aleatoria. A continuación se procederá a definir las variables que aparecen en el árbol, dividiendo el mismo en dos bloques principales. En el primero se explicará el cálculo de la variable $MaxMod_t$:

$MaxMod_t$ representa el valor máximo de la previsión modificada. Haciendo una analogía con la tabla 3.8 representa el valor de la columna “Max modified”, es decir, el valor máximo una vez corregidas las previsiones. Dicha variable depende a su vez de otras 4 variables.

La primera de ellas es el tiempo, como se indica en su definición. La segunda es la variable $LastPrice_t$ (LP_t), que como su propio nombre indica recoge el precio real del mes anterior. En Vensim® se define mediante la función DELAY FIXED de la siguiente forma:

$$LP_t = DELAY\ FIXED (RP_t , 4 , Price\ History) \quad (3.36)$$

La segunda, la variable $Maxim_t$, que se corresponde con el valor de la columna MAX de la tabla 3.8, es decir, el valor máximo de la banda inicial de confianza para un periodo concreto. Su expresión analítica y en el software es:

$$Maxim_t = PF_t + f_1(t) + f_2(t) \quad (3.37)$$

Siendo $f_1(t) + f_2(t)$ las funciones de las ecuaciones 3.27 y 3.28

En Vensim se define como:

$$Maxim_t = \begin{cases} Si\ t \geq 56 & PF_t + (3.969 * \frac{(t-56)}{4} - 2.094) + 2 * (1.7602 * \frac{(t-56)}{4} - 0.904) \\ e. o. c & 0 \end{cases} \quad (3.38)$$

Se define el 56 porque conocemos previsiones de precio hasta el mes 56 y no 52 como ocurría con la demanda, por lo que no hay que generar valores de precio durante el primer mes.

En tercer lugar se encuentra el parámetro $MaxPriclnc$, que se corresponde con el valor de MAX de la tabla 3.7 y que representa, como ya se ha indicado, la máxima diferencia entre el precio de un componente el mes anterior (LP_t) y este mes. En este caso, el valor de MAX será de 5,5\$.

La cuarta variable, la más evidente de todas, es el tiempo.

Una vez conocido todo lo que define a $MaxMod_t$, presentamos la ecuación que lo define. No es más que plasmar la ecuación 3.33, que definía la columna $MaxModified$ de la tabla 3.8:

$$MaxMod_t = \begin{cases} Si t > 56 MIN(LP_t + MaxPricInc, Maxim_t) \\ e. o. c. 0 \end{cases} \quad (3.39)$$

La ecuación sigue la filosofía de la variable $MaxMod_t$. Puesto que el modelo toma el valor más pequeño entre la parte superior de la banda de confianza y el resultado de sumar la previsión de precios del mes anterior y máxima desviación entre el precio actual y el inmediatamente anterior.

Del mismo modo se definirá la variable $MinMod_t$, que persigue el mismo cálculo pero para la banda inferior de confianza y siempre respetando el precio mínimo que desde la gerencia nos han suministrado al que se van a poder comprar los componentes. Para la caracterización de $MinMod_t$, se emplearán las siguientes variables:

El tiempo, al ir variando en función de las circunstancias de las previsiones.

La variable Last Price (LP_t) que conserva el valor de las previsiones del mes anterior y cuya definición formal se puede encontrar en la ecuación 3.35.

El parámetro $MaxPriceDec$, que recoge la mínima diferencia observada entre el precio del producto en un mes y en el mes anterior. El valor de este parámetro aparece en la tabla 3.7 recogido en la celda $DMIN$ y tiene un valor de 6,7\$.

El parámetro Floor (FI), que representa el precio mínimo al que se tienen previstas las compras, es decir, el mínimo que se espera alcanzar y que nunca se sobrepasará. En este modelo la gerencia ha fijado este mínimo con un valor de 12\$.

Por último queda sólo por calcular el valor mínimo de la banda de confianza. Este valor se define por una ecuación que sigue los mismos

términos que la ecuación 3.31 en la que se definen los valores que aparecen en la columna MIN de la tabla 3.8. En concreto en el modelo el valor mínimo de la banda de confianza está recogido en la variable $Minim_t$ y tiene la siguiente ecuación:

$$Minim_t = \begin{cases} Si t \geq 56 & Max \left(PF_t - \left(3.969 * \frac{(t-56)}{4} - 2.094 \right) - 2 * \left(1.760 * \frac{(t-56)}{4} - 0.904 \right) \middle| Fl \right) \\ e. o. c. & 0 \end{cases} \quad (3.40)$$

En la que se observa que el mínimo valor de la banda o bien sigue la política del intervalo de confianza del 95% o bien es el mínimo valor de compras en el caso en el que el mínimo de la banda sea demasiado bajo.

Una vez definidos todos los elementos necesarios, queda tan sólo definir la ecuación que permitirá estrechar la banda inferior de confianza, como ya se hizo con la superior. Para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$MinMod_t = \begin{cases} Si t > 56 & MAX(LP_t - MaxPricInc, Maxim_t) \\ e. o. c. & 0 \end{cases} \quad (3.41)$$

En ella se observa cómo la variable tomará el valor más elevado entre el calculado para la banda inferior de confianza y la diferencia máxima a la baja que puede aparecer entre un precio y el del mes siguiente.

Con las variable $MinMod_t$ (MinModified en la tabla 3.8) y $MaxMod_t$ (MaxMod) ya se han definido todos los elementos necesarios para estrechar el intervalo de confianza de los precios y así calcular la previsión de una forma lo más ajustada posible. Sólo queda definir el precio previsto para cada mes entre los dos valores antes mencionados. Para ello se empleará la variable Random Price Generation_t (RPG_t), que se calcula de la siguiente forma:

$$RPG_t = \begin{cases} Si t > 56 & RANDOM UNIFORM(MinMod_t, MaxMod_t, SeedP) \\ e. o. c. & 0 \end{cases} \quad (3.42)$$

En la ecuación se observa cómo a partir del mes 57 se genera una distribución aleatoria entre la banda que conforman $MinMod_t$ y $MaxMod_t$ en la que se emplea SeedP como el parámetro que permite la generación de la distribución en el software.

Una vez definida la previsión de precios sólo falta conocer cómo se define el histórico de precios. Para ello se emplea la variable Price History (PH_t), cuya ecuación es la que sigue:

$$PH_t = GET\ XLS\ DATA('Data_Book.xls', 'Time\ Related\ Data', '5', 'B18') \quad (3.43)$$

Por último, y para calcular la distribución que siguen los precios a lo largo de la simulación sólo hay que unir en una variable el histórico de precios y la previsión de los mismos, una vez finalicen los datos disponibles. Para se emplea la variable Real Price (RP_t) definida de la siguiente forma:

$$RPG_t = \begin{cases} Si\ t \leq 56\ PH_t \\ e.o.c.\ RPG_t \end{cases} \quad (3.44)$$

3.2.3.3 Reparto de los precios entre cada uno de los proveedores.

Como ya sucedió con la demanda, el precio calculado de forma global ahora será trasladado a cada uno de los proveedores en función del contrato que se tenga con cada uno. Para ello se ha construido en Vensim® la siguiente estructura:

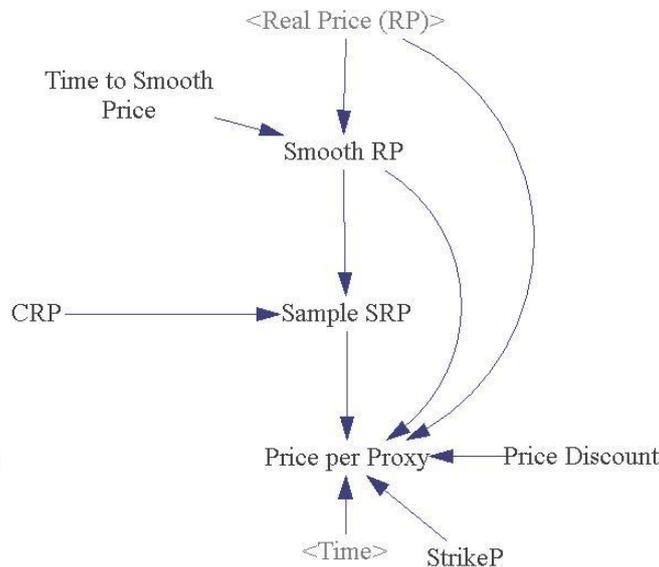


Figura 3.11 Esquema del cálculo del precio de compra a cada proveedor.

En ella se percibe claramente la relación entre cada una de las variables que seguidamente van a definirse, unas ya explicadas y otras fruto de cálculos idénticos a los realizados a la hora de calcular la variable DS_t , que distribuía la

demanda entre los diversos proveedores y en función de las condiciones contractuales de cada uno.

En primer lugar, en la parte superior de la figura 3.11 aparece la variable que aglutina todo la gestión global de precios que se hace en el modelo Real Price (RP_t). Dicha variable puede sufrir variaciones importantes de un mes a otro (aunque menos una vez comience el periodo de previsiones debido al estrechamiento del margen de incertidumbre en las mismas). Para ofrecer al proveedor una mayor estabilidad en la misma, se realizará un “alisamiento” de las previsiones, consistente en hacer la media móvil de la demanda por un periodo de 4 semanas, correspondiente al periodo de un mes en el que se hacen las previsiones de precios. Para ello se empleará la variable Smooth RP_t , que se define mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Smooth } RP_t = \text{SMOOTH}(RP_t, \text{Time to Smooth Price}) \quad (3.45)$$

En el que el parámetro Time to Smooth the price indica el número de periodos a tomar para hacer la media móvil.

Con esta variable conseguimos una expresión de los precios más parecida a una expresión analítica y que dote de una mayor estabilidad en el precio a los proveedores.

La variable Sample RP_t tiene como objeto cuantificar el precio de compra de las unidades que se adquieren al Proveedor 3 en las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2. Como ya se ha comentado en repetidas ocasiones, a este proveedor en éstas dos carteras la demanda se le pasa con una tasa constante cada 3 meses. Para calcular esa tasa de fabricación requerida al Proveedor 3 se empleaba la variable Sample AWD_t , cuya gráfica se representó en la figura 3.5. En este caso Sample RP_t recoge el precio de las unidades en el momento de pagar el pedido para las 12 semanas. Ese precio será constante y no sufrirá variación alguna (excluyendo los descuentos a aplicar) en el periodo de 12 meses. Para tomar la muestra se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Sample } RP_t = \text{SampleIfTrue}[\text{Time} \geq 52 : \text{AND} : (\text{Time} - 52) / \text{CRP} = \text{INTEGER}((\text{Time} - 52) / \text{CRP}), \text{Smooth } RP_t, \text{Smooth } RP_t] \quad (3.46)$$

Ecuación que sigue la misma estructura que la calculada para $Sample AWD_t$. En ambas se emplea la función de Vensim, "Sample if True". Dicha función tiene como argumentos, en primer lugar una serie de condiciones que tienen que cumplir las variables del modelo, en nuestro caso, que nos encontremos a principio de trimestre y que haya pasado el periodo histórico de 52 semanas. Una vez comprobado, en el caso de que la condición se cumpla, se tomará el valor actual de la función que aparece como segundo argumento de Sample If true, en este caso, $Sample RP_t$. En el caso de que la condición no se cumpla, se dejará la función con el valor actual de la misma. Esta función es de mucha utilidad, en el caso en el que se quieran tomar muestras de una variable, como es el caso de $Sample RP_t$ y AWD_t .

En la imagen se observa una posible distribución de esta variable:

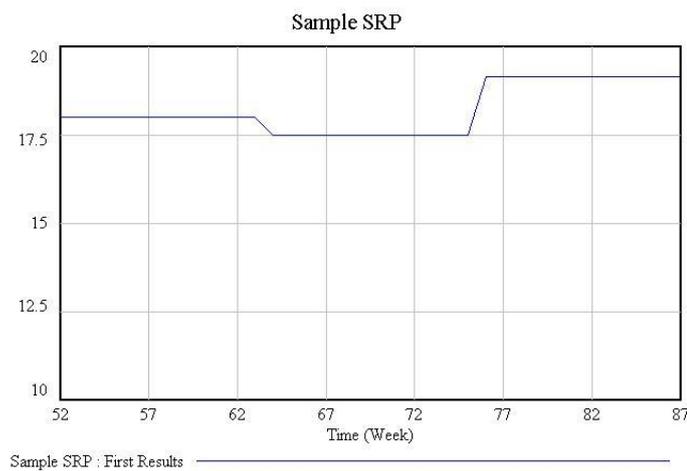


Figura 3.12 Gráfica de la variable $Sample RP_t$

Con todas las variables ya concretadas, pasamos a caracterizar la distribución de los precios para cada proveedor y cada contrato. Para ello el modelo emplea la variable Price per Proxy (PpP_t). Dicha variable tiene la misma estructura que DS_t . Se trata, por lo tanto, de una variable matricial que contiene 7 ecuaciones. En realidad deberían de ser 9 (una por cada proveedor y cartera), pero para la cartera Current sólo necesitamos 1 ecuación para caracterizar la distribución en los 3 casos. Dicha ecuación es la siguiente:

$$PpP_t[Sproxy, Current] = (1 - Price Discount[SProxy, Current]) * RP_t \quad (3.47)$$

En la que aparece el parámetro Price Discount (PDisc), que representa el descuento que se aplica a cada proveedor en función de la cartera que se maneje. Este parámetro tiene la siguiente ecuación en Vensim y sus valores quedan definidos en la tabla 3.9:

$$PrDisc = GET\ XLS\ CONSTANTS('Data_Book.xls', 'Constants\ Data', 'B43') \quad (3.48)$$

	Price Discount		
	Current	Portfolio 1	Portfolio 2
Supplier 1	0	0	0
Supplier 2	0	0,1	0,1
Supplier 3	0,05	0,3	0,3

Tabla 3.9 Descuentos que se aplican a por proveedor y cartera

Una vez definida la ecuación de precios para la cartera Current, pasamos a enunciar las ecuaciones para la cartera Portfolio 1:

$$PpP_t[Supplier\ 1, Portfolio1] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 1, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 1, Portfolio\ 1]) * RP_t & \end{cases} \quad (3.49)$$

Centrándonos ahora en el Proveedor 2, tenemos la siguiente ecuación:

$$PpP_t[Supplier\ 2, Portfolio1] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 2, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 2, Portfolio\ 1]) * Smooth\ RP_t & \end{cases} \quad (3.50)$$

En la que se observa como principal diferencia que el precio que se toma una vez pasadas las 52 semanas es el calculado a través de la media móvil. Esta decisión es una de las que se toma en la cartera para conseguir rebajas de precio. Los términos de la misma se explican con mayor detenimiento en el apartado 3.5.

Y finalmente para el Proveedor 3:

$$PpP_t[Supplier\ 3, Portfolio1] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 3, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 3, Portfolio\ 1]) * SampleRP_t & \end{cases} \quad (3.51)$$

Como sucedía con la ecuación anterior, la diferencia principal estaba en el precio escogido. En este caso, al tratarse de compras por adelantado, se toma el precio existente en el momento que se realiza la orden, previo alisado de la distribución. Para más información, consultar el apartado 3.5.

Con estas ecuaciones, finalizan los cálculos para la cartera Portfolio 1.

En lo que respecta a la cartera Portfolio 2, el principal cambio se encuentra en la ecuación que define el precio de compra al proveedor 1, que será el siguiente:

$$PpP_t[Supplier1, Portfolio2] = \begin{cases} Si t \leq 52 & PpP_t[Supplier 1, Current] \\ MIN((1 - PDisc[Supplier1, Portfolio2]) * RP_t | StrikeP) \end{cases} \quad (3.52)$$

El motivo de esta ecuación es que en la cartera Portfolio 2 se ha incluido un contrato de opciones con el Proveedor 1. La opción que se contrata es la de poder comprar a un precio fijado (StrikeP) en el caso que el precio de mercado sea superior. Para más información, consultar el apartado 3.5 del proyecto.

Las ecuaciones para los Proveedores 2 y 3 son idénticas a las de la cartera Portfolio 1. El único cambio radica en la sustitución de Portfolio 1 por Portfolio 2. Es por ello que ha decidido sólo enunciar las ecuaciones, puesto que ya han sido explicadas en párrafos anteriores.

$$PpP_t[Supplier 2, Portfolio2] = \begin{cases} Si t \leq 52 & PpP_t[Supplier 2, Current] \\ ((1 - PDisc[Supplier 2, Portfolio 2]) * Smooth RP_t) \end{cases} \quad (3.53)$$

$$PpP_t[Supplier 3, Portfolio2] = \begin{cases} Si t \leq 52 & PpP_t[Supplier 3, Current] \\ ((1 - PDisc[Supplier 3, Portfolio 2]) * SampleRP_t) \end{cases} \quad (3.54)$$

3.2.4. Definición de las órdenes de suministro para las fábricas

En este apartado se definirá cómo el modelo genera las órdenes de suministro de materiales a la fábrica. En un primer apartado se modeló la demanda prevista de suministros por parte del fabricante, siempre teniendo en cuenta que la previsión se hace con 6 semanas de antelación, que es el periodo que tardan los proveedores en tener listos los pedidos. Una vez modelada la demanda, pasaron a fijarse los términos en los que se definían las necesidades de inventario de la empresa. Finalizados estos dos apartados y, teniendo en cuenta el stock actual de componentes del que disponía el proveedor pasaban a generarse las órdenes de fabricación (BR_t), que posteriormente pasarán a almacenarse según los criterios que se comentarán

en el apartado 3.2.5. Una vez finalizado ese proceso de generación de las órdenes de producción del proveedor, éste ya está en disposición de atender a la demanda suministros que se requieran desde el fabricante. Como ya se ha comentado, el proceso anterior se realiza con un plazo de 6 semanas de antelación, con lo cual la demanda prevista 6 semanas atrás ni tiene ni probablemente va a coincidir con las necesidades de fábrica. Es por ello que se dimensiona un inventario y es por ello que el modelo necesita un apartado en el que se generen las órdenes de suministro de la empresa a los diversos proveedores que en el modelo se contemplan. En las siguientes líneas se comentará cómo se ha abordado este problema en el Modelo de Flujo de Materiales así como las ecuaciones que definen este módulo, tanto desde el punto de vista formal como el de su introducción en el software.

En la figura 3.12 se observa la estructura que se ha propuesto para la solución del problema, que nuevamente se basa en el empleo del histórico de datos de la empresa como en la generación de una demanda aleatoria de componentes. La diferencia principal radica ahora en que, en lugar de emplear una distribución uniforme, se empleará la distribución normal para realizar los cálculos. Una vez calculadas las necesidades globales de la fábrica, se pasará a distribuir dicha demanda a cada uno de los diferentes proveedores, para luego realizar las órdenes definitivas y luego contabilizarlas.

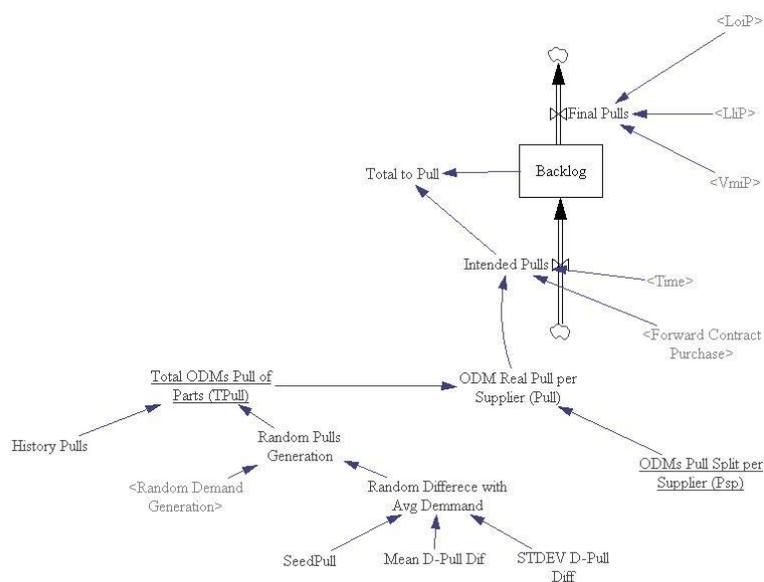


Figura 3.13 Esquema de la Generación de las órdenes de aprovisionamiento de la fábrica

En la figura anterior se percibe cómo se realiza en el modelo un cálculo escalonado de cada una de las variables para obtener el resultado final. Es por ello que comenzaremos por definir las componentes que caracterizan a la demanda global de suministros, comenzando por el histórico de pedidos, History Pulls (HP_t). En dicha variable están contenidas las órdenes que desde fábrica se han realizado a los proveedores durante el último año.

En el mismo escalón que la anterior se encuentra la variable Random Pulls Generation (RPG_t). En ella se volcará el cálculo de las órdenes de componentes ejecutadas desde la fábrica. En su cálculo se empleará por un lado una variable ya calculada y con una relación directa con las órdenes de fábrica, como es la demanda a través de la variable RDG_t .

Pero como se ha comentado con anterioridad, la previsión de la demanda que se envía a los proveedores se realiza con 6 semanas de antelación, lo que sumado a los inventarios de seguridad lleva a diferencias entre las órdenes de fábrica y la demanda. Para ello se empleará, como ya se ha hecho en otras ocasiones en este proyecto, herramientas de cálculo estadístico que permitan corregir los errores en las previsiones que se detectaron en el fabricante. En este caso el análisis estadístico busca compensar los errores que se produjeron entre las órdenes de fábrica previstas en 2010 y las que realmente se produjeron. Gracias a este estudio podrá compensarse el número de órdenes realizadas con respecto a la demanda real, ajustando mejor por tanto los niveles de inventario y, por consiguiente, las cantidades solicitadas a los proveedores. Los beneficios de este análisis se traducen en reducciones del coste de inventario, aumentando los beneficios para la empresa. Para este trabajo emplearemos la variable Random Difference with Average Demand ($RDwAD_t$). Dicha variable contendrá un número generado de manera aleatoria, que se encuentre comprendido en la distribución estadística del error entre las órdenes previstas y las órdenes reales de fábrica. $RDwAD_t$ se generará a través de una distribución normal, que estará definida a través de los errores medios entre demanda inicial de suministros y las órdenes de fábrica. Vensim® permite esta posibilidad a través de la función Random Normal, cuya definición es la que sigue:

$$RANDOM\ NORMAL\ [\{min\},\{max\},\{mean\},\{stdev\},\{seed\}] \quad (3.55)$$

En esta ecuación se observan los parámetros necesarios para generar la distribución. Empezando por la derecha, se necesitará una semilla que genere la distribución aleatoria. Esta semilla será muy importante en los análisis de sensibilidad del modelo, pues como se ha comentado en anteriores ocasiones, permitirá en cada simulación la generación de una distribución distinta que permitirá evaluar la aleatoriedad del modelo. Seguidamente aparecen la media y la desviación típica de la distribución de la que queremos extraer los números. Por último, hay que incluir los valores máximos y mínimos que queremos extraer de la distribución. En nuestro caso se empleará el método de las 2 sigmas, con el que conseguiremos una fiabilidad estadística del 95% en el error que obtengamos de la distribución.

En el modelo, para el cálculo de la media y de la desviación típica se han empleado los datos, tanto de demanda a proveedores como de órdenes de fábrica que se disponen en los 52 meses que se han analizado la diferencia entre ambas y después mediante el empleo del software Excel se han calculado los parámetros que mejor se ajustan a dichos datos. Como resultado se han obtenido los siguientes valores.

$$\varpi = -30.940,04 \quad (3.56)$$

$$\sigma = 36.469,63 \quad (3.57)$$

Los cálculos realizados para la obtención de los mismos se encuentran en la hoja Excel anexa al proyecto.

Una vez comentado el método de cálculo, pasamos a la definición de la ecuación que permiten generar la variable $RDwAD_t$

$$RDAD_t = RANDOM\ NORMAL(\varpi - 2 * \sigma, \varpi + 2 * \sigma, \varpi, \sigma, SeedPull) \quad (3.58)$$

Donde las variables que se observan en la figura 3.13 están representadas de la siguiente forma:

Mean D-Pull Dif: Representa la media de la diferencia entre órdenes previstas y finalmente ejecutadas. Se corresponde en el texto con ϖ .

STDEV D-Pull Diff: Representa la desviación típica de los datos a los que se corresponde la media calculada en el parámetro anterior. Se presenta en el texto con la letra griega σ .

SeedPull: Parámetro donde está contenida la semilla de generación.

Con todos estos datos queda caracterizado el error medio de la diferencia demanda-órdenes de fábrica, con lo que sólo es necesario calcular la previsión de las órdenes de fabricación a partir del error medio demanda-órdenes y la previsión de la demanda. Para ello se empleará la variable Random Pulls Generation (RPG_t). Dicha variable se empleará a partir de que no se disponga de datos históricos y será la suma de la demanda generada en el apartado 3.2.1 (RDG_t) y del error cometido entre órdenes previstas y órdenes ejecutadas. Su definición en Vensim® será:

$$RPG_t = \begin{cases} Si t > 52 & RDG_t + RDwAD_t \\ e.o.c. & 0 \end{cases} \quad (3.59)$$

Una vez definido tanto el histórico de datos como la manera de generar los datos futuros para comprobar las simulaciones, se unen ambas variables para obtener la distribución de las órdenes de fabricación para cualquier tiempo. Dicha unión se materializa en la variable Total ODMs Pull of Parts ($TPull_t$) mediante la siguiente ecuación:

$$TPull_t = \begin{cases} si t \leq 52 & HP_t \\ e.o.c & RPG_t \end{cases} \quad (3.60)$$

Calculado el número total de suministros solicitados desde la fábrica para un periodo de tiempo concreto, pasaremos a distribuir esta demanda entre cada uno de los proveedores en función del reparto de la misma previsto para cada uno de ellos. Este reparto se materializa en parámetro ODMs Pull Split per Supplier (Psp), de idéntico valor que el parámetro Forecast Split per Supplier. En la tabla 3.10 aparecen los valores que se han otorgado a cada proveedor en función de su peso en el suministro al cliente para cada cartera de contratos:

	ODMs Pull Split per Supplier		
	Current	Portfolio 1	Portfolio 2
Supplier 1	0,5	0,5	0,5
Supplier 2	0,3	0,3	0,3
Supplier 3	0,2	0,2	0,2

Tabla 3.10 Distribución de la demanda de la fábrica por proveedor

Dicha tabla está recogida en el parámetro Pull Split per Supplier (Psp) mediante la siguiente ecuación:

$$Psp[SProxy, CPortfolio] = GETXLSCONSTANTS(Data_Book.xls, Constants Data, B16) \quad (3.61)$$

Con esta distribución porcentual de la demanda ya sólo queda multiplicar la demanda total de fábrica, Total to Pull ($TPull_t$) por los porcentajes (en la tabla 3.10 en tanto por uno) que se recogen en el parámetro Psp para tener las órdenes de materiales que el fabricante demanda, distribuidas por proveedor. Dichas órdenes están recogidas en la variable ODM Real Pull per Supplier ($Pull_t$). Tal variable se define en Vensim® mediante la siguiente ecuación:

$$Pull_t = Psp[SProxy, CPortfolio] * TPull_t \quad (3.62)$$

Una vez realizado el reparto entre los diferentes proveedores y para poder configurar un modelo que permita el cálculo de los componentes demandados y no suministrados (para lo que necesitaremos emplear variables de flujo y de nivel), abordamos la definición de la variable de flujo Intended Pulls (IP_t), que recoge la demanda calculada anteriormente.

Para definir la misma de una manera más clara se ha planteado construir la misma como una variable vectorial de 9 componentes (una por proveedor y cartera), aunque como se observará en la definición de la misma, existen muchas ecuaciones que podrían haberse comprimido en una sola siguiendo las mismas directrices que en otras variables matriciales del modelo. Una de las razones de esta construcción es la de ilustrar al lector de otra forma de hacerlo que, aunque más larga, puede resultar más clara para alguien con poco conocimiento del software.

Las ecuaciones mencionadas, ordenadas por orden de aparición en el software son las siguientes:

$$IP_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Pull_t[Supplier 3, Portfolio 1] \\ e. o. c & FCP_t(Portfolio 1) \end{cases} \quad (3.63)$$

La variable Forward Contract Purchase (FCP_t) contabiliza las compras que se realizan al Proveedor 3 en función de los contratos que se firman con éste en las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2. Dichas compras han de absorberse totalmente por parte del fabricante porque en ambos escenarios se especifica que dicho proveedor no almacene inventario alguno. Esta variable se explica con más detalle en el apartado 3.3.3.1

Idéntica situación la que se modela para el Proveedor 3 y la cartera Portfolio 2, en concreto:

$$IP_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Pull_t[Supplier 3, Portfolio 2] \\ e. o. c & FCP_t(Portfolio 2) \end{cases} \quad (3.64)$$

En el caso de la cartera actual de contratos (Current), para el Proveedor 3 se define la siguiente ecuación:

$$IP_t = Pull_t[Supplier 3, Current] \quad (3.65)$$

Para el Proveedor 2, la ecuación es la misma en todos los casos, cambiando únicamente la cartera que corresponda en cada momento. Por eso, a modo de ejemplo incluimos la ecuación referente a las unidades solicitadas al Proveedor 2 en la cartera Portfolio 1:

$$IP_t = Pull_t[Supplier 2, Portfolio 1] \quad (3.66)$$

Idéntica situación a la anterior se vive para el Proveedor 1. Continuando con el espíritu del párrafo anterior, se incluye la ecuación que caracteriza las unidades solicitadas al mismo en el caso de encontrarnos en la cartera Current:

$$IP_t = Pull_t[Supplier 1, Current] \quad (3.67)$$

Como podemos observar, el método empleado con anterioridad y que podría haberse aplicado para los proveedores 1 y 2 es mucho más compacto, aunque algo menos intuitivo. Si hubiéramos querido escribir la ecuación de las

órdenes solicitadas al Proveedor 1 de una forma más compacta hubiéramos podido emplear la siguiente fórmula, que condensa las 3 carteras:

$$IP_t = Pull_t[Supplier\ 1, CPortfolio] \quad (3.68)$$

Para calcular el total a demandar a cada proveedor (Total to Pull) sólo queda definir la variable Backlog (Bk_t), que se define como las unidades demandadas desde la fábrica y no suministradas en el periodo en el que fueron requeridas. Para ello se necesitará conocer las unidades que fueron suministradas realmente. Dichas unidades se contabilizan en el modelo gracias a la variable Final Pulls (FP_t), que reúne las unidades recibidas de los centros de inventario, así como las unidades compradas directamente al Proveedor 3 en el caso de las carteras Portfolio 1 y 2. Dicha variable se define mediante la siguiente ecuación, que depende de 3 variables que recogen las unidades recogidas a cada almacén y cuya ecuación se explicará en el próximo apartado, por lo que ahora sólo serán referenciadas:

$$FP_t = LliP_t + LoiP_t + VmiP_t \quad (3.69)$$

Una vez calculadas las unidades que han sido suministradas para un periodo concreto, ahora sólo queda calcular el Backlog restando las unidades requeridas a las suministradas. Al tratarse de una variable de nivel, tendrá un valor inicial de 0, pues como se ha comentado en el apartado 3.2.2.1 el inventario actual de la empresa está sobredimensionado, con lo cual no se han producido situaciones hasta la fecha que posibiliten la aparición de Backlog. La definición de la variable será la siguiente:

$$Bk_t = INTEG(IP_t - FP_t) \quad (3.70)$$

Con el Backlog definido sólo queda ya calcular la cantidad total a demandar por proveedor y cartera (esta variable, como el backlog y FP_t serán variables matriciales). Para ello se emplea la variable Total to Pull (TtP_t), que no es más que la suma de las Intended Pulls más el Backlog, por lo tanto quedará definida de la siguiente forma:

$$TtP_t = Backlog[SProxy, CPortfolio] + Intended\ Pulls[SProxy, CPortfolio] \quad (3.71)$$

Con esta última ecuación, queda definido el modelado de las órdenes de suministro que desde la fábrica se envían cada semana a los distintos almacenes. Ya sólo queda para definir el modelo de flujo de materiales, cómo se hace la gestión de los mismos, que es lo que se abordará en el siguiente apartado.

3.2.5. Modelo de la gestión de inventarios

Como se ha comentado en apartados anteriores, la única forma de superar la incertidumbre que genera el tiempo de preparación de los pedidos (LT) en la demanda de suministros del fabricante es mediante el almacenaje de una serie de unidades que permita que en caso de necesitar una demanda adicional, ésta sea suministrada. En el apartado anterior se observa que la diferencia media entre demanda prevista y suministros ordenados por el fabricante cada semana y es negativa, lo cual ya nos da una idea de la necesidad de contar con unidades en inventario que permita sufragar esos errores en la previsión. Para ello, el fabricante dispone de una serie de infraestructuras así como exige al proveedor que disponga de otras que le permitan contar con un stock suficiente que posibilite que nunca se pare el proceso de fabricación. Podría haberse tenido en cuenta (de hecho en el modelo se propone) la posibilidad de que la empresa contemplase una rotura de stock. Para conseguir demostrar que con las políticas de aprovisionamiento a simular la posibilidad de que se produzca esta rotura es remota se introduce la variable $Backlog_t$ ya comentada en el apartado anterior (dependerá si el backlog en algún momento toma valor positivo).

En lo que se refiere al apartado puramente estructural del modelo, a continuación se definirán las condiciones de almacenamiento, así como alguna condición especial de compra por parte del fabricante. Seguidamente se modelarán las ecuaciones que permiten la salida de productos terminados en función de la demanda de componentes calculada en el apartado anterior, estableciendo para los mismos los criterios transmitidos desde la gerencia de la empresa cliente de suministros. Para ello se ha conformado la estructura en Vensim® mostrada en la figura 3.14

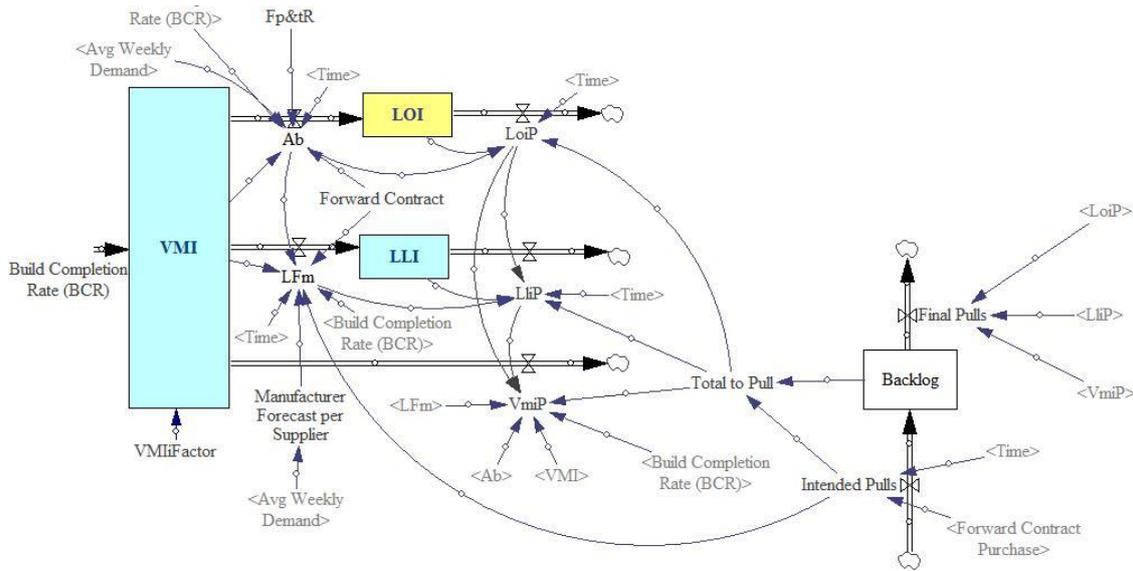


Figura 3.14 Esquema en Vensim® de la gestión de inventarios

En él observamos 3 recuadros resaltados, que se corresponden con los almacenes que se disponen para gestionar el stock deseado. Los recuadrados en turquesa, se corresponden con inventario cuya gestión cae en los proveedores, mientras que del inventario almacenado en el bloque resaltado en amarillo se hace responsable la empresa. Es decir, que en VMI hay unas unidades almacenadas, cuyos costes recaerán sobre el proveedor correspondiente, mientras que las almacenadas en LOI y LLI están custodiadas en instalaciones propiedad del fabricante (primer caso) o el fabricante se hace cargo del coste de almacenamiento (LLI). La única diferencia es quién se encarga de almacenarlas.

En cada inventario se almacena un tipo de unidades distinto. En VMI se acumulan las unidades que ya han finalizado su proceso de fabricación, y van a pasar al final de la cadena de suministro. En Ab se acopian aquellas que se compran en función de las oportunidades que genera el mercado, y cuyo proceso de adquisición será comentado más adelante. Por último en LLI se encuentran aquellas que, habiendo sido demandadas en el momento del pedido por el fabricante, no han sido finalmente solicitadas. Este almacén es un modo de compensar el exceso de inventario creado por la diferencia entre demanda inicial y pulls de fábrica.

En los siguientes párrafos se determinará tanto el proceso de entrada a los almacenes como de salida de los mismos. El buen modelado de estos puntos es fundamental, porque una parte de los costes de aprovisionamiento son generados por las unidades en stock. Es por ello que si se dimensiona adecuadamente tanto su gestión como los mejores parámetros para su análisis podrá conseguirse un aprovechamiento óptimo del modelo y de los resultados que de éste se desprendan, puesto que se dispondrá de los indicadores necesarios para la optimización del coste y del aprovisionamiento de los materiales, objetivo principal de este proyecto.

En primer lugar se definirá la variable de nivel VMI_t , que se encarga de aglutinar las unidades que finalizan el proceso de producción, una vez finalizado el mismo. Cabe resaltar que este almacén se corresponde con una instalación propiedad del proveedor situada en el entorno cercano del fabricante. Sucede lo mismo en el resto de los casos, por eso en el LT se incluye el tiempo de elaboración del producto así como su transporte inicial a VMI, puesto que el transporte de uno a otro es inmediato. De hecho, físicamente VMI y LLI ocupan el mismo espacio, es la atribución de los costes lo que distingue a ambos como se comentó en el párrafo anterior.

La ecuación que define el inventario almacenado en VMI es la siguiente:

$$VMI_t = INTEG(BCR_t - AB_t - LFM_t - VMiP_t) \quad (3.72)$$

Valor inicial de la variable (requerido en variables de nivel)

$$VMI_0 = VMiFactor * BCR_t * [Future DOI + LT[SProxy, CPortfolio] * FUpF] \quad (3.73)$$

En la primera ecuación aparece una estructura común a las otras ecuaciones que definirán las distintas variables de nivel en el modelo. Y es que como su propio nombre indica, estas variables miden los niveles de cada inventario en cada momento, por lo que su valor lo darán las unidades que entran en el mismo menos las que lo abandonan. En el caso de VMI_t las unidades que entran son las unidades cuyo proceso de fabricación ha finalizado (BCR_t), mientras que las que la abandonan son aquellas que van a formar parte de los diversos inventarios en función de la demanda real de

suministros. En concreto, en este caso, abandonan este “almacén” las unidades que pasan a los inventarios reales, LOI_t (Ab_t) y LLI_t (LFm_t) así como las que pasan directamente a las instalaciones del fabricante ($VMiP_t$)

En lo que se refiere al valor inicial se ha calculado multiplicando la tasa de fabricación por las semanas de inventario que se tiene previsto almacenar con las nuevas políticas, todo a su vez multiplicado por un factor exógeno facilitado por el fabricante del 75% de lo anterior. Dicho factor se ha denominado VMli Factor y su valor es, como ya se ha comentado, de 0,75.

El resto de variables y parámetros ya se han definido en etapas anteriores del modelado.

Comenzando, en lo que respecta a inventarios con LOI, pasamos a definir la variable Ab_t . Dicha variable se ocupa del modelado de una de las opciones de compra de las que el fabricante dispone por contrato con sus proveedores. Esta opción consiste en la posibilidad que se puedan realizar compras al proveedor que vayan a parar directamente a los almacenes del fabricante en lugar de sus almacenes propios. Esta opción se ejecutará sólo a principios de cada mes y siempre y cuando el precio de compra sea inferior al precio previsto por la empresa para ese periodo. Es por eso que para Ab_t se tendrán en cuenta los precios en el momento de hacer la comprobación (a principios de mes).

Para plasmar esta estrategia en el modelo se ha empleado la siguiente estructura:

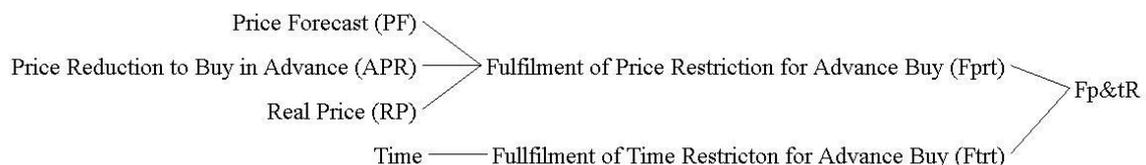


Figura 3.15 Esquema en Vensim® de la gestión de inventarios

En la figura anterior se observa el conjunto de variables que conforman la variable $Fprt_t$. Esta variable es una variable binaria que posibilitará comprobar si se cumplen las condiciones necesarias para poder comprar por adelantado.

Trataremos en primer lugar la condición del precio. Dicha condición se modela mediante la variable F_{prt_t} . Para el cálculo de la misma se empleará el precio previsto inicialmente por la gerencia (PF_t) y el calculado a través del análisis estadístico explicado en el apartado 3.2.3 (RP_t). En el caso de que el precio real (RP_t) sea como mínimo un 95% inferior al previsto se autorizará la compra por adelantado de unidades. Dicho 95% se regula en el parámetro Price Reduction to Buy in Advance (APR). Como valor que suponga la aprobación de la compra desde el punto de vista del precio, $F_{p\&tR_t}$ tomará el valor 1, mientras que en caso contrario valdrá 0. La ecuación que define la variable es la siguiente:

$$F_{prt_t} = \begin{cases} \text{Si } RP_t < APR * \text{SMOOTH}(PF_t, 2) & F_{prt_t} = 1 \\ \text{e. o. c} & F_{prt_t} = 0 \end{cases} \quad (3.74)$$

Ecuación en la que la función Smooth representa como ya se ha comentado en anteriores apartados una función que permite hacer la media móvil de varios elementos, en este caso de los dos últimos precios previstos.

Una vez calculada la condición en precios, se calculará la condición en tiempo, es decir, una restricción que permita que sólo se realicen compras a principios de cada mes. Para ello y como la unidad de tiempo del modelo es la semana se ha construido la siguiente ecuación.

$$F_{trt_t} = \begin{cases} \text{Si } \text{INTEGER}(\text{Time}/4) = \text{Time}/4 & F_{trt_t} = 1 \\ \text{e. o. c} & F_{trt_t} = 0 \end{cases} \quad (3.75)$$

En la que la función INTEGER de Vensim® devuelve el entero redondeado a la unidad anterior de la operación. En nuestro caso sólo se producirán compras cuando hayan transcurrido 4 semanas, lo que equivale a emplear una política de permitir este tipo de compras a primeros de mes.

Una vez modeladas ambas restricciones, sólo queda multiplicar las dos variables (al ser estas binarias) para obtener la ecuación que modela la opción de comprar por adelantado. Dicha ecuación será:

$$F_{p\&tR_t} = F_{trt_t} + F_{prt_t} \quad (3.76)$$

Con esta variable clave para el modelado ya calculada, pasamos a la definición de Ab_t , como primer paso para completar el modelo de gestión de inventario, caracterizando las salidas del inventario de componentes terminados (VMI_t). Se define Ab_t mediante la siguiente ecuación:

$$Ab_t = \begin{cases} Si t \leq 52 \text{ Min}(2 * AWD_t * Fsp_t * Fp\&tR_t | VMI_t + BCR_t) \\ e.o.c (1 - FC) * \text{Min}(2 * AWD_t * Fsp_t * Fp\&tR_t | VMI_t + BCR_t) \end{cases} \quad (3.77)$$

En ella lo primero que se observa es que, en el caso de realizar estas compras por adelantado, la cantidad a comprar será 2 veces la demanda calculada para esa semana. El problema a la hora de definir estas cantidades consiste en que puede que en inventario de productos terminados, a los que hay que sumar las cantidades acabadas este mes no sea suficiente como para satisfacer la cantidad deseada en estas Advanced Buy. Es por ello que aparece la función Min, para escoger el mínimo entre las dos cifras.

La primera $2 * AWD_t * Fsp_t * Fp\&tR_t$ representa la cantidad que se desea comprar, repartida entre cada proveedor mediante el producto $AWD_t * Fsp_t$, multiplicada por la variable que expresa las 2 condiciones que se han comentado en párrafos anteriores. La segunda representa la cantidad que corresponde a este inventario en el caso de que no se realicen las compras por adelantado, o bien que la cantidad que exista en Stock no sea suficiente.

En la segunda fila la ecuación sigue los mismos parámetros, pero en este caso, el mínimo entre ambas cifras se multiplica por la matriz Forward Contract. Con esta multiplicación se persigue que, una vez pasadas las 52 semanas entran en juego las carteras Portfolio 1 y 2, en las que las compras al proveedor 3 siguen siempre la misma pauta predefinida. Mediante la operación (1-FC) se elimina la opción de comprar mediante Ab_t al Proveedor 3.

Una vez caracterizada la variable Ab_t , el siguiente paso para definir por completo el stock almacenado en las instalaciones del fabricante (LOI_t). Para ello y una vez se conoce la cantidad de materiales que entra al mismo (Ab_t), hay que definir la que sale en cada periodo. Hay que resaltar que como resultado de las negociaciones entre proveedores y cliente, se llegó al acuerdo de permitir que el fabricante tomara unidades preferentemente de este

inventario propio, es decir, que en caso de satisfacer su demanda con las unidades almacenadas en LOI, no tendría que tomar suministros de ningún otro lugar. Esto tiene una única excepción, que será el caso del Proveedor 3 para las carteras Portfolio 1 y 2, puesto que en estos casos una vez se ha pasado de las 52 semanas, a dicho proveedor no se le exigirá inventario alguno, sino que se comprará según las condiciones ya comentadas cuando se habló de la demanda a cada proveedor. Por todo lo anterior, y teniendo en cuenta que la capacidad de este inventario es limitada y que, por lo tanto, el fabricante no tendrá problema en absorber ambas cantidades. Una vez definidas todas las características que afectan a esta salida de inventario, definimos $LoiP_t$ como el inventario que abandona el almacén LOI mediante las siguientes ecuaciones, formal y en Vensim®:

$$LoiP_t = MIN(TTP_t|LOI_t + Ab_t) \quad (3.78)$$

$$LoiP_t = \begin{cases} Si t \leq 52 MIN(TTP_t[Sproxxy, Current]|LOI_t[Sproxxy, Current] + Ab_t[Sproxxy, Current]) \\ e. o. c MIN(TTP_t[Sproxxy, Cportfolio]|LOI_t[Sproxxy, Cportfolio] + Ab_t[Sproxxy, Cportfolio]) \end{cases} \quad (3.79)$$

En la primera ecuación se observa que se tomará el mínimo entre las cantidades que desde fábrica se demandan y las disponibles en este inventario, es decir, que en el caso de que se necesite más que lo que hay almacenado, el almacén LOI se vacía, mientras que en caso contrario se toman las cantidades necesarias. En cuanto a la segunda ecuación, que presenta la definición en el software de la variable, cabe destacar que la primera condición difiere de la segunda sólo en las carteras que se tienen en cuenta. Antes de las 52 semanas sólo se trabaja con el escenario existente (Current), mientras que una vez pasado ese periodo se analizan las 3 estrategias ya comentadas.

Tras la definición de las entradas y salidas, ya se puede calcular la cantidad acumulada en este almacén.

$$LOI_t = Ab_t[SProxy, CPortfolio] - LoiP_t[SProxy, CPortfolio] \quad (3.80)$$

Con valor inicial cero.

Una vez modeladas las compras por adelantado, se pasará a modelar el paso al inventario recogido en LLI. Dicho paso se realizará a través de la variable LFm_t . Dicha variable sigue la siguiente ecuación:

$$LFm_t = \begin{cases} Si t \leq 52 \text{ MIN}(VMI_t + BCR_t - Ab_t | \text{MAX}(MFPS_t - IP_t | 0)) \\ e.o.c (1 - FC) * (VMI_t + BCR_t - Ab_t | \text{MAX}(MFPS_t - IP_t | 0)) \end{cases} \quad (3.81)$$

En primer lugar, la variable $MPFS_t$ representa el producto de $AWD_t * Fsp_t$, que representa la demanda prevista, repartida por proveedor en función de los porcentajes de la demanda que corresponden a cada uno.

El valor que tomará este inventario será el Mínimo entre el Inventario disponible, que es resultado de las unidades recién terminadas más las almacenadas en el VMI menos las que se compran, llegado el momento por adelantado. Esta idea se representa mediante la expresión:

$$VMI_t + BCR_t - Ab_t \quad (3.82)$$

El otro miembro de la ecuación está representado por el máximo de la diferencia entre Demanda prevista y órdenes de fabricación esperadas. Al poder volverse esa cantidad negativa se emplea la función Max, para poner a cero este segundo miembro y compararlo con el valor anterior.

Con esta estructura se consigue pasar a este inventario, o bien las unidades demandadas inicialmente y no requeridas, o en caso de que en inventario no haya suficientes, el máximo de inventario que se disponga.

En el caso de la segunda fila se repite el mismo procedimiento que para calcular las Ab_t . Para tener en cuenta que una vez pasado el periodo del histórico al Proveedor 3 no se le imputarán almacenamientos, se volverá a emplear el producto (1-Forward Contract).

Con las cantidades que entran al almacén LLI ya definidas, se definen ahora las salidas del mismo. Para ello habrá de tenerse en cuenta no sólo la demanda de suministros de la fábrica (IP_t), sino también las unidades que se hayan podido extraer de LOI (contabilizadas en la variable $LoiP_t$) y que son las primeras que se emplean para satisfacer dicha demanda. La ecuación que define esta salida de materiales es:

$$LliP_t = MIN(TTP_t - LoiP_t | LLI_t + LFm_t) \quad (3.83)$$

Hay que resaltar que, como ocurría con $LoiP_t$, en Vensim® existe una división temporal entre los cálculos hasta el histórico y posteriores. Al tener las mismas características que la anterior se ha decidido no insertar la ecuación, aunque sus características se pueden ver en la ecuación 3.78.

En el apartado matemático, se observa una vez más que las unidades que se pueden suministrar desde este almacén serán: En caso en que la demanda desde fábrica sea lo suficientemente elevada como para absorber todo el inventario existente en LOI y el que se encuentra en LLI más es que va a entrar esta semana. En caso contrario, se suministrará desde el almacén la demanda restante que llega desde la fábrica. Por último, y por definir aún mejor esta ecuación, hay que resaltar que su valor siempre será mayor o igual que 0, puesto que el máximo valor que puede tomar la variable Loi , como puede observarse en la ecuación 3.78.

Una vez definidas la entrada y la salida de LLI, para conocer su nivel de stock planteamos la siguiente ecuación:

$$LLI_t = INTEG(LFm_t[SProxy, CPortfolio] - LliP_t[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.84)$$

Con valor inicial cero.

Por último hay que calcular las unidades que se suministran directamente desde el proveedor, es decir, que no pasan por ningún tipo de almacén. Entre estas unidades se encuentran las que a partir de la semana 53 se compran por adelantado al proveedor 3, que no pasan por ningún tipo de almacén. Además de éstas, en la variable $VmiP_t$ se contabilizan aquellas que no han podido ser satisfechas desde los demás almacenes. Es por ello que en su definición aparecerán muchas de las variables de los párrafos anteriores. La ecuación concreta que la caracteriza es:

$$VmiP_t = MIN(TTP_t - LoiP_t - LliP_t | VMI_t + BCR_t - Ab_t - LFm_t) \quad (3.85)$$

En la que el primer miembro representa las unidades que quedan por servir a la fábrica, una vez se han suministrado los suministros requeridos por la fábrica desde los otros 2 inventarios y la segunda representa el remanente

existente entre lo que entra al inventario de productos terminados más lo que ya se encontraba en él y lo que sale del mismo. Esto se usará siempre y cuando las unidades totales en todos los inventarios no sean capaces de satisfacer la demanda. En este caso aparecerá Backlog en el sistema.

Con esto quedan definidas todas las variables necesarias para el modelado del flujo de materiales en el problema. Una vez conocidos todos los componentes que caracterizan este proceso pasaremos a definir los modelos de costes de fabricante y proveedor, a partir de los cuales se podrán calcular los indicadores económicos que permitan evaluar las diferentes estrategias de aprovisionamiento.

No obstante, indicadores que aparecen en este apartado, como Demand Split (DS_t) o el Backlog serán de gran ayuda para poder evaluar cada una de las políticas. Así mismo, el esfuerzo realizado para calcular la previsión de los precios haciendo que éstos se ajusten lo más posible a la realidad ayudará a reforzar los resultados del modelo.

3.3 Módulo de costes del fabricante

3.3.1 Introducción

Una vez definido el modelo de flujo de materiales, pasamos a definir el modelo de gestión económica. En este apartado se modelarán una serie de herramientas que permitan calcular los resultados económicos generados con nuevas políticas de contratación.

Como podemos ver en la figura 3.16, el montaje del módulo económico del fabricante es mucho más sencillo que el del modelo de flujo de materiales. Además, para su construcción es necesario que esté definida previamente la estructura de adquisición de suministros por parte del fabricante. Eso sí, a pesar de que la elaboración de este módulo es mucho más sencilla, su importancia es quizá mayor, puesto que gracias al modelo de costes se podrá decidir entre una política y otra de contratación en función de los beneficios que se generen para la empresa. Es por ello que la obtención de un modelo robusto y fiable es fundamental. Y lo es porque será de esta parte del modelo de la que dependerán las decisiones finales de contratación. No obstante, la construcción del modelo de simulación para la gestión de los materiales también es importante. Dicha parte del modelo global permitirá comprobar que se cumplen los criterios de suministro del fabricante. Así mismo, facilita una serie de variables necesarias para los posteriores cálculos financieros. Cada módulo dentro del modelo es importante en sí mismo, lo que no es óbice para indicar que serán los modelos financieros los que den a los gestores los parámetros necesarios para tomar las decisiones.

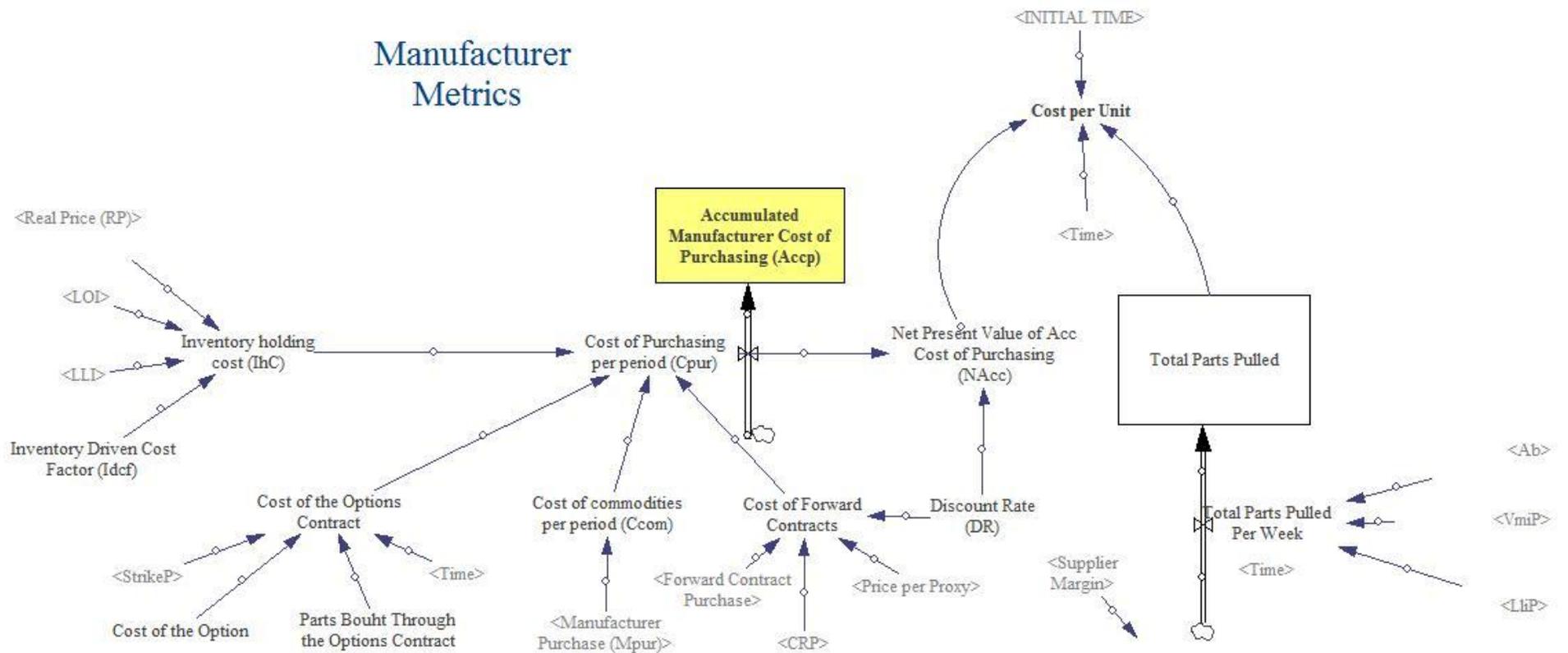


Figura 3.16 Modelo de costes del fabricante en Vensim®

3.3.2 Políticas de aprovisionamiento contempladas en el modelo

En esta parte del modelo se computa el gasto que los fabricantes realizan en su proceso de compras. Para ello tendrá que tenerse en cuenta el coste de cada una de las políticas de contratación. En este modelo se han incluido diferentes políticas, la mayoría ya comentadas con anterioridad. Algunas de ellas son práctica habitual en las relaciones cliente-proveedor. Otras, más innovadoras han sido añadidas al modelo para evaluar la conveniencia de su inclusión. A continuación se describen las diferentes políticas de compra que se han contemplado en el modelado de las distintas carteras de contratación así como sus características más importantes:

Compras con un precio máximo fijado: En este tipo de contratos, como ya se comentó en los antecedentes del proyecto, el fabricante acuerda con el proveedor un precio máximo de compra. Es decir, el cliente compra a precio de mercado, en caso de que sea menor que el precio fijado, o bien al precio fijado como máximo. Este tipo de contratos es especialmente interesante cuando existe una previsión de subidas bruscas de precios, como sucede en el mercado de hidrocarburos. Como contrapartida, además de las unidades que el fabricante compre, éste habrá de abonar una cantidad al proveedor en concepto de aceptación de este contrato. En este proyecto, se ha fijado la indemnización en un 3% de las unidades compradas bajo este acuerdo.

Compras según oportunidades de mercado: En este apartado se define una estrategia concreta de la empresa cuya cartera de proveedores está siendo analizada. Tal estrategia consiste en comprar una determinada cantidad de producto en función de la situación del mercado. Para ello se empleará la variable Ab_t , cuya definición y uso ya ha sido comentada en el apartado 3.2.5. En este caso, la cantidad de suministros que se compra es de 2 semanas y la compra se realiza siempre en la primera semana de cada mes. Esta política se emplea principalmente para aprovechar oportunidades de mercado y para protegerse de las fluctuaciones del mercado. Hay que resaltar así mismo las unidades compradas en estas condiciones son propiedad del fabricante, que tendrá que hacerse cargo de los costes de almacenaje. No obstante, desde el primer momento pasarán directamente a la línea de producción, con lo habitual

es que no existan grandes cantidades almacenadas y no incurriendo por lo tanto en elevados costes de almacenaje.

Descuentos por pronto pago: Se aplica en los casos en los que al proveedor se le efectúa el pago de las unidades compradas en el momento en el que el fabricante realiza el pedido. En este caso, en lugar de tener el proveedor que esperar las semanas determinadas en el contrato (medidas mediante el parámetro WSO) recibe el pago en el momento del pedido, con lo que reduce sus costes financieros. Como contrapartida el fabricante exige descuentos en la mercancía. En la situación actual esta opción sólo está contemplada para el tercer proveedor y en la cartera de contratos actuales (Current).

Contratos de compra según demanda: Esta política es la política de contratación habitual y se basa en comprar suministros de acuerdo a unas previsiones de necesidad de suministros facilitadas por el departamento de producción de los fabricantes. Dicha cantidad es variable y está sujeta a las reglas de mercado convencionales. En el caso que nos ocupa es la que se contempla mayoritariamente.

Forward Contracts: Esta será una de las políticas cuyo funcionamiento se va a poner a prueba en el proyecto. Dicha política consiste en acordar con el proveedor la venta cada 3 meses de un número constante de unidades. En este caso además se realizará el pago en el momento en el que se acuerden las cantidades a comprar. Este tipo de contratos dota de gran estabilidad a las empresas y es especialmente interesante para proveedores cuya carga de trabajo principal está en las unidades que le ordene la empresa en cuestión. Esta política le supondrá al fabricante un coste, además del coste de las unidades compradas, de un 0,2% del total de las mismas en concepto de costes financieros para la financiación de las compras de todo el trimestre.

3.3.3 Ecuaciones del modelo económico del fabricante

3.3.3.1 Coste total derivado del proceso de compras

Finalizada la introducción a módulo de gestión financiera del fabricante, pasamos a definir las variables y parámetros necesarios para el modelado de los costes de aprovisionamiento del fabricante. En este punto aparecerán tanto variables y parámetros nuevos como otros ya definidos en el modelo de flujo de materiales. En los primeros continuará haciéndose una descripción detallada de los mismos y de las ecuaciones que los definen. En el caso de los que ya han sido introducidos en apartados anteriores, simplemente se hará una mención a los mismos.

Si nos centramos en la figura 3.16 podemos observar cómo el modelo se divide en dos partes bien diferenciadas. En la primera se calcula el coste semanal que genera el proceso de compras. En la segunda, se ha calculado el coste por unidad de producto.

Centrándonos en el cálculo del coste acumulado de las compras, en el modelo se observa la distinción que se hace a la hora de calcular costes en función de los diferentes procedimientos de compra que empleen, así como de los costes que éstos generen. Así tenemos que computar los siguientes costes:

Costes de generación de inventario: Los costes generados por el inventario se aplican tanto a las unidades que son propiedad del fabricante como a aquellas que quedan almacenadas por los proveedores, pero de cuyo coste de almacenaje se hace responsable el fabricante.

En primer lugar se definirá el parámetro que permitirá calcular los costes de inventario. Dicho parámetro es Inventory Driven Cost Factor ($I_{d}f_c$) y representa el factor de ponderación de los costes de inventario con respecto al precio de la mercancía y cuyo valor asciende según estimaciones de la empresa al 20%.

La variable responsable de contabilizar estos costes en el modelo es “Inventory Holding Cost” y la ecuación que la define es la siguiente:

$$Inventory\ holding\ cost(IhC_t) = (LLI_t + LOI_t) * Real\ Price\ (RP_t) * Idcf \quad (3.86)$$

$$"IhC_t"[SProxy, CPortfolio] = (LLI_t[SProxy, CPortfolio] + LOI_t[SProxy, CPortfolio]) * "RP_t" * "Idcf" \quad (3.87)$$

En las ecuaciones se puede observar cómo sólo se tienen en cuenta las unidades almacenadas en LLI y LOI. La razón de este cálculo radica en que, como se contó en el apartado 3.2.5, el fabricante se hará cargo de los costes de almacenamiento de las unidades que se encuentren en alguna de estas dos instalaciones.

Costes de contratación de opciones sobre el precio: Esta opción, que sólo se tendrá en cuenta para la cartera de contratos *Portfolio 2* y para el *Proveedor 1*. Aquí se computan los costes derivados de fijar un precio máximo para las compras, independientemente de la situación del mercado. Para contabilizar en Vensim® este coste, en el modelo se emplean las siguientes variables y parámetros:

Parts Bought Through the Options Contract (PBOpC_t): Es la variable que mide el número total de unidades que se compran al Proveedor 1. Esta variable sólo está definida para las compras que se hacen al Proveedor 1 si está sujeto a la *Portfolio 2*. Las ecuaciones que la definen formalmente y en el software son las siguientes:

$$PBOpC_t = AB_t(Supplier1) + LLIp_t(Supplier1) + VmiP_t(Supplier1) \quad (3.88)$$

$$PBOpC_t = AB_t[Supplier1, Portfolio 2] + LLIp_t[Supplier1, Portfolio 2] + VmiP_t[Supplier1, Portfolio 2] \quad (3.89)$$

Strike Price: Parámetro que se fija durante las negociaciones y que se encarga de valorar el precio máximo de compra de las unidades contabilizadas en la variable anterior. Es un parámetro importante puesto que a la empresa le servirá para estimar sus costes debido al empleo de esta política.

Cost of the Option: Parámetro que combinado con el anterior permite calcular el coste de esta opción de contratación. En el caso que nos ocupa este porcentaje será de un 3% del coste máximo previsto de los componentes comprados al proveedor. Dicho coste será producto de multiplicar el "Strike Price" por el número de unidades compradas al Proveedor 1.

Cost of the Options Contract (COpC_t): Es la variable que recoge el valor semanal del coste del contrato. Hay que recordar que este coste no se computa como una cantidad fija al año sino que depende de la demanda solicitada a este proveedor. Hay que tener en cuenta que este coste entrará en acción a partir de la semana número 52, puesto que antes se necesitará comprobar si el modelo simula correctamente la situación actual en lo que a políticas de inventario se refiere. Sus unidades son \$/semana y las ecuaciones que la definen son las siguientes:

$$COpC_t[Portfolio2] = \begin{cases} Si\ time \leq 52 & COpC_t = 0 \\ e.o.c & COpC_t = PBOpC_t * StrikeP * Cost\ of\ the\ Option \end{cases} \quad (3.90)$$

En el resto de carteras esta variable tomará el valor 0. Es importante resaltar que se trata de una variable vectorial. Esto significa que tiene 3 componentes (uno por cartera), estando fijo siempre el proveedor (Proveedor 1). Esto es importante porque luego a la hora de combinar variables matriciales y vectoriales será necesario emplear operadores especiales de Vensim®.

Coste financiero de los “Forward Contracts”: En este punto se contabilizan los costes financieros de este tipo de contratos que se firmarán con el Proveedor 3 en las carteras Portfolio 1 y 2. A la hora de computar los costes se han empleado las siguientes variables y parámetros, cuya definición formal y en Vensim® es la siguiente:

Contract Revision Period (CRP): Este parámetro se negociará cuando se establezcan con el Proveedor 3 las cláusulas del contrato. En concreto se refiere al periodo de revisión del mismo, en este caso 3 meses. Como la unidad de medida que emplea el programa es la semana (que también la emplean fabricante y proveedor), en este caso particular CRP=12

Forward Contract Purchase (FCP_t): En esta variable se contabilizan las compras que cada 3 meses se hacen al Proveedor 3. La definición formal es esa, pero para contabilizarla será necesario el empleo de una variable vectorial. La definición en Vensim será la siguiente:

$$\begin{aligned}
 FCP_t[Cportfolio] = & \\
 & 0 \text{ en la cartera Current} \\
 \left\{ \begin{array}{l} Si[t \geq 52 \text{ AND } \frac{(Time-52)}{CRP} = INT](Time - 52)/CRP, CRP * DS_t[Supplier 3, Portfolio 1], 0) \\ Si[t \geq 52 \text{ AND } \frac{(Time-52)}{CRP} = INT](Time - 52)/CRP, CRP * DS_t[Supplier 3, Portfolio 2], 0) \end{array} \right. \\
 (3.91)
 \end{aligned}$$

En primer lugar, es importante resaltar que se trata de una variable vectorial. Esto significa que tiene 3 componentes (uno por cartera), estando fijo siempre el proveedor. Esto es importante porque luego a la hora de combinar variables matriciales y vectoriales será necesario emplear operadores especiales de Vensim®.

En segundo lugar, aunque el código estrictamente no es ese, el espíritu del mismo se conserva y por razones de simplicidad y espacio así es como se va a expresar la ecuación en el texto. En ella observamos en primer lugar la condición para que se computen las compras, que es la siguiente: que el tiempo sea mayor que 52 semanas, es decir, que hayamos pasado ya el periodo de los datos históricos y que nos encontremos al principio de cada trimestre. Para ello la división entre la semana actual menos 52 (para contabilizar el número de semanas que se llevan una vez pasado el histórico) entre 12 (CRP) sea un número entero. En el caso en el que se cumplan ambas restricciones se ejercerá la compra, que será la demanda estimada en esa semana para ese proveedor multiplicada por el CRP.

Una vez contabilizadas las unidades pagadas por adelantado sólo queda multiplicarlas por el precio de compra, para conocer su coste total. En dicho precio se contabilizan los descuentos correspondientes, recogidos en la tablas 3.9. Dicho precio está recogido en la variable Price pre Proxy (PpP_i), cuya definición ha sido detallada en el apartado 3.2.3.3

Calculado lo anterior, el coste financiero se obtiene de multiplicar el coste calculado en el párrafo anterior por el parámetro Discount Rate (DR), cuyo valor es de un 0,2% a la semana.

Conocido esto queda sólo por definir la variable que aglutina el coste financiero de estos forward contracts. Dicha variable se denomina Cost of Forward Contracts (CFC_t). Sus ecuaciones formales y en Vensim® son:

$$CFC_t = FCP_t * PpP_t[Supplier\ 3, CPortfolio] * DR * CRP \quad (3.92)$$

$$CFC_t = FCP_t[CPortfolio] * PpP_t[Supplier\ 3, CPortfolio] * DR * CRP \quad (3.93)$$

Costes de compra de unidades: Aquí se computan los costes generados por la compra de suministros. Como se tienen diferentes tipos de opciones a la hora de comprar, en función de la política seguida en cada momento y de las diferentes carteras, será necesario el empleo de variables matriciales que recojan todas las posibles opciones.

Para contabilizar este coste se empleará la variable Cost of commodities per period ($Ccom_t$), que reúne el coste de todas las unidades, sumando todas y cada una de las políticas de precios comentadas anteriormente. Para ello se hará uso además de la variable Manufacturer Purchases ($MPur_t$), que forma parte del modelo de costes del proveedor y que está recogida en el apartado 3.4.2.3. No obstante, aunque esta variable se desarrollará de nuevo en dicho apartado, debido a su importancia en el modelo, se van a desglosar las ecuaciones que la componen.

En primer lugar se contabilizan las compras realizadas al Proveedor 1. Para ello se tendrá en cuenta, por un lado las unidades que desde fábrica se demandan y por otro el precio de las mismas. En el primer caso, las unidades contabilizadas serán las que salen por semana del inventario propiedad del proveedor VMI. En lo que respecta a precios, el cálculo en función de la situación contractual se encuentra especificado en la variable Price per Proxy (PpP_t). Con todo esto, el coste de las compras realizadas al Proveedor 1 se modela mediante las siguientes ecuaciones:

$$MPur_t = (Ab_t + VmiP_t + LliP_t) * PpP_t \quad (3.94)$$

Hay que resaltar que en la ecuación anterior todas las variables se refieren al Proveedor 1 y afectan a las 3 carteras simuladas.

La ecuación introducida en Vensim® es:

$$MPur_t = PpP_t[Supplier1, CPortfolio] * (Ab_t[Supplier1, CPortfolio] + LliP_t[Supplier1, CPortfolio] + VmiP_t[Supplier1, CPortfolio]) \quad (3.95)$$

Como nota aclaratoria, a cada variable en estas ecuaciones le acompañará un corchete como los anteriores que indican el proveedor y la cartera para la que se realiza el cálculo. En las siguientes ecuaciones, se colocará dicho corchete en la primera variable, haciéndose extensivo para el resto de las que aparezcan en las ecuaciones.

A continuación se ofrecen la ecuación para el Proveedor 2 en Vensim®, cuyo formato es idéntico a la anterior, variando las referencias de las variables. La ecuación en cuestión es:

$$MPur_t[Supplier2, CPortfolio] = PpP_t * (Ab_t + LliP_t + VmiP_t) \quad (3.96)$$

La variación más significativa se produce para el Proveedor 3. Para definir el coste de las compras realizadas al mismo se emplean 3 ecuaciones, una por cartera de contratos. Esto se debe a que en las carteras Portfolio 1 y 2 se realizan los pedidos trimestrales y pagados por adelantado. En estas ecuaciones se emplearán las variables Price per Proxy (PpP_t) y Forward Contract Purchase (FCP_t), cuya definición se encuentra en el apartado 3.3.3.1 de este documento. Las ecuaciones que se emplean para contabilizar el coste de las compras realizadas a este suministrador son:

$$Mpur_t[Supplier 3, Current] = PpP_t * (Ab_t + LliP_t + VmiP_t) \quad (3.97)$$

Esta primera ecuación sigue el mismo esquema que las 2 anteriores, es decir, reúne la cantidad que se solicita desde fábrica multiplicada por su precio asignado con anterioridad. En las dos próximas ecuaciones es dónde se tendrá en cuenta el acuerdo de compras de las nuevas carteras. Dichas ecuaciones, como otras muchas que aparecen en el modelo, comienzan a diferenciarse de la empleada para la cartera Current a partir de la semana 5, en la que comienzan las simulaciones de escenarios de futuro.

$$Mpur_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Mpur_t = Mpur_t[Supplier 3, Current] \\ e.o.c & PpP_t[Supplier 3, Portfolio 1] * FCP_t[Portfolio 1] \end{cases} \quad (3.98)$$

$$Mpur_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Mpur_t = Mpur_t[Supplier 3, Current] \\ e.o.c & PpP_t[Supplier 3, Portfolio 2] * FCP_t[Portfolio 2] \end{cases} \quad (3.99)$$

Definida $MPur_t$, sólo queda conocer el valor de Cost of Commodities per Period ($Ccom_t$). Dicho valor es idéntico al de la variable anteriormente calculada, con lo que se define en el software como:

$$Ccom_t[SProxy, CPortfolio] = Mpur_t[SProxy, CPortfolio] \quad (3.100)$$

Con este grupo de ecuaciones queda caracterizado el coste asociado a la compra de los componentes físicos. Este valor representaba el último de los 4 tipos de costes a computar dentro del modelo. Conocidas ya todas las posibles fuentes de gastos existentes, pasamos a aglutinar los mismos en una sola variable. Esta se tratará de una variable de flujo, que permita en ecuaciones posteriores calcular el valor del coste acumulado de compras a través de variables de nivel.

La variable en cuestión se denomina Cost of Purchasing per Period ($Cpur_t$). A continuación se presenta la definición formal de la misma y luego la definición en el programa. Esta segunda ecuación tiene una serie de particularidades que serán comentadas en el párrafo siguiente. Las ecuaciones son:

$$Cpur_t = IhC_t + Ccom_t + CFC_t + COpC_t \quad (3.101)$$

$$Cpur_t = SUM(IhC_t"[SProxy!, CPortfolio] + Ccom_t"[SProxy!, CPortfolio]) + CFC_t[CPortfolio] + COpC_t[CPortfolio] \quad (3.102)$$

La particularidad de la ecuación que se presenta a continuación es que suma variables matriciales (aquellas que en su definición incluyen la etiqueta [Sproxy,Cportfolio]), con variables vectoriales (las que cuentan con la etiqueta [Cportfolio]). Dicha dificultad se subsana empleando la función SUM, acompañada del signo de exclamación para el conjunto de proveedores definidos en Sproxy. Con eso consiguen aglutinarse las variables matriciales como vectoriales, obteniendo los costes por cartera de las variables matriciales. Ahora sí, al tener las mismas dimensiones puede realizarse la suma de los costes.

Con esta variable ya completamente caracterizada, sólo queda por definir para terminar con esta mitad del módulo la variable de nivel que permite

mostrar los costes acumulados por efecto de las compras. Dicha variable se denominará Accumulated Manufacturer Cost of Purchasing ($Accp_t$)

$$Accp_t = INTEG\langle [Cpur_T[CPortfolio]] \rangle \quad (3.103)$$

Con valor inicial 0.

Esta variable será uno de los indicadores principales para poder valorar la mejora conseguida con una política frente a otra, dado que se podrá comparar los costes absolutos de aprovisionamiento de cada una de las políticas puestas en juego en el modelo.

Con esto finaliza el apartado 3.3.3.1, en el que se han calculado los costes totales de compras. En el siguiente apartado se valorarán contabilizará el número de unidades compradas para poder así obtener otro parámetro interesante para el análisis, es coste por unidad de producto.

3.3.3.2 Número total de unidades compradas por el fabricante

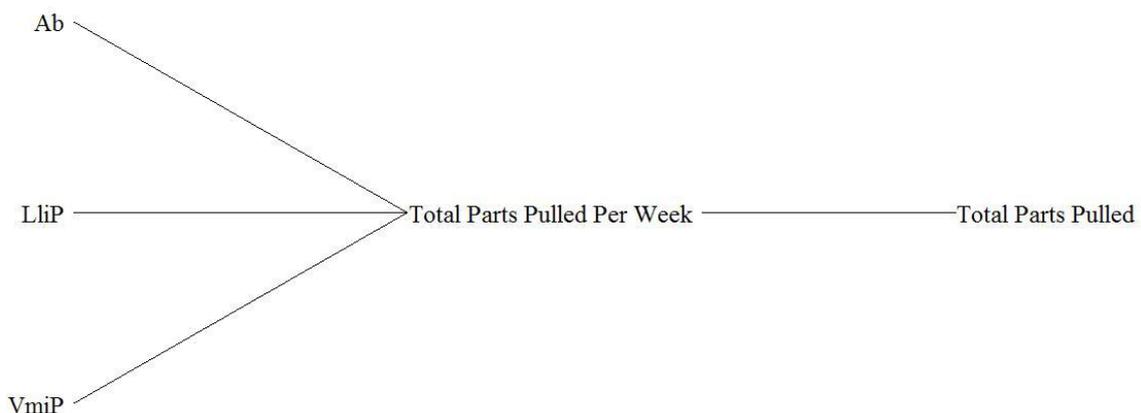


Figura 3.17 Esquema de las variables relacionadas con Total Parts Pulled

Como se aprecia en la figura, la parte que se encarga del cálculo de las partes demandadas desde fábrica es bastante simple. Para su cálculo se apoya en las variables ya calculadas Ab_t , $LliP_t$ y $VmiP_t$. Dichas variables representan todas las unidades que se han comprado. La primera representa las compras que se realizan atendiendo a las oportunidades que puedan presentarse cada mes, mientras que las otras 2 son las cantidades que se extraen de los inventarios VMI y LLI. Se emplea Ab_t , en lugar de la cantidad extraída del inventario LOI porque en el momento que se compra según esa

política las unidades ya pertenecen a la empresa, mientras que en los demás casos, hasta que desde fábrica no se demandan, dichas unidades pertenecen al proveedor.

Para conocer las partes que se compran cada semana, se emplea la variable de flujo Total Parts Pulled per Week ($TPPpW_t$), que aglutina la suma de las variables comentada anteriormente. Como sucedió anteriormente con $Cpur_t$, se busca generar una variable vectorial que permita evaluarla para cada una de las carteras, puesto que en este caso la información que se obtiene de este modo parece ser más representativa. Por ello, en la ecuación en Vensim® volverán a aparecer los símbolos de exclamación, para aglutinar las unidades compradas en cada cartera por los 3 proveedores. El resultado es el siguiente:

$$TPPpW_t = \\ SUM(Ab_t[SPoxy!, CPortfolio] + LliP_t[SPoxy!, CPortfolio] + \\ VmiP_t[SPoxy!, CPortfolio]) \quad (3.104)$$

En la que se obtiene la cantidad semanal de unidades que el fabricante compra por cartera de contratos.

Lo último que necesitamos definir en esta parte del modelo es el total de unidades que se compra en un periodo determinado. De nuevo esta contabilización se realizará mediante una variable de nivel. La variable Total Parts Pulled (Total) recoge todas las compras realizadas entre el periodo inicial y final de la simulación. Al tratarse de una variable de nivel precisará de definir un valor inicial, que en este caso será 0. La ecuación es:

$$TotalP_t = INTEG\langle TPPpW_t[CPortfolio] \rangle \quad (3.105)$$

Con esto finaliza el proceso de contabilización de las unidades compradas, mucho más sencillo que el anterior al estar sus variables principales ya definidas en el apartado 3.2.5. Pasamos por último para concluir el apartado 3.3 a calcular el coste por unidad comprada en cada cartera.

3.3.3.3 Cálculo del coste por unidad de producto

Una vez calculado todo lo necesario para definir costes y unidades compradas, sólo queda definir el coste por unidad adquirida, que será otro de los indicadores que posteriormente se empleará para la evaluación de los resultados del modelo.

Para ello se empleará la variable Net Present Value of Acc Cost of Purchasing (NPV_{Accp_t}) que devuelve el VAN de la inversión que hay que realizar en materia de compras. Esta función es especialmente útil en este caso porque, en el caso de Vensim®, el valor que devuelve es \$/tiempo, con lo que al realizar la posterior división entre T_{pull} (unidades/tiempo) tendremos las dimensiones deseadas (\$/unidad). Para calcular este valor se necesitará la función de Vensim® NPV, cuya configuración se define a continuación:

$$NPV(stream, discount\ rate, init\ val, factor) \quad (3.106)$$

Donde los parámetros a introducir son los siguientes:

Stream: Es la función a la que se le quiere calcular el VAN. En nuestro caso dicha función será Cost of Purchasing per Period C_{pur_t} .

Discount Rate: Tasa de descuento del VAN. En el modelo se trata del parámetro Discount Rate ya empleado para calcular los costes de financiación de los Forward Contracts y tiene un valor del 0,2%.

Init Val: Valor inicial. Se necesita para definir un valor inicial a la función para que ésta funcione. En nuestro caso y como el valor inicial del coste acumulado es nulo, tomaremos también 0 como valor de arranque de la función.

Factor: Factor por el que queremos multiplicar el cálculo realizado. En el modelo se toma como unidad para no alterar los valores.

Una vez conocidos los términos necesarios para definir la función pasamos a dar la ecuación de la misma en el modelo:

$$N_{Acc_t} = NPV(C_{pur_t}[C_{Portfolio}], DR, 0, 1) \quad (3.107)$$

Conocida N_{Acc}_t , el modelo cuenta con todos los elementos necesarios para definir el coste unitario de los componentes en función de la cartera de contratos bajo la que fueron comprados. La formulación consistirá en dividir dicha variable entre $TPull_t$. Ello es posible debido a la coherencia entre las unidades comentada anteriormente. Como valor inicial del cálculo, se tomará un precio de 39,66\$/unidad, facilitado por la gerencia de la empresa. Así mismo, como el interés de cálculo de esta variable está en los valores que pueda dar a partir de la semana 52 (periodo de previsión de resultados), se empleará el parámetro INITIAL TIME para fijar el comienzo del cálculo del coste a las 52 semana. La inclusión de este parámetro obedece también a la posibilidad de cambiarlo según convenga de una manera más sencilla. Por lo tanto, la ecuación que cierra el capítulo 3.3 y que sirve para calcular el coste por unidad de producto Cost per Unit (CpU_t) es la siguiente:

$$CpU_t [Cportfolio] = \begin{cases} Si t = INITIAL TIME & 39,66 \\ e. o. c & \frac{N_{Acc}_t[Cportfolio]}{TPull_t[Cportfolio]} \end{cases} \quad (3.108)$$

Con esto quedan definidos los indicadores que se han construido en el modelo para evaluar las políticas desde un punto de vista económico:

- Coste por unidad adquirida
- Coste total de compras
- Costes de cualquiera de los contratos por separado
- Costes vinculados a cada Proveedor para cada cartera

Además de los anteriores, Vensim® permite hacer gráficos de cualquiera de las variables que se han calculado y para cualquier cartera o proveedor. De las posibilidades gráficas de Vensim® se discutirá más adelante, pero en este apartado se han asentado muchas de las principales variables para el fabricante desde un punto de vista económico. La definición de las variables permitirá al usuario del modelo definir diversas gráficas que permitan conocer la evolución de cualquier variable del modelo desde la perspectiva que desee.

A continuación y para cerrar el modelo, se calcularán las variables financieras que afectan al proveedor, y que permitirán el tener un enfoque diferente al usuario del modelo.

3.4 Módulo financiero del proveedor

3.4.1 Introducción

En esta última parte del modelo se calcularán diversos parámetros de la situación financiera de los proveedores. Dichos datos permitirán al fabricante ponderar su oferta en el sentido de conocer si la misma es asumible por los proveedores o si por lo tanto le genera unas cargas financieras inasumibles por el mismo.

Como ya se comentó en el apartado de introducción del modelo, esta parte es la más complicada de validar, puesto que la mayoría de los datos tienen que venir de los proveedores y pueden no ser del todo correctos. En la figura 3.18 vemos la estructura para un proveedor genérico del modelo en Vensim®. A continuación pasamos a definir las variables y parámetros relacionados con este punto.

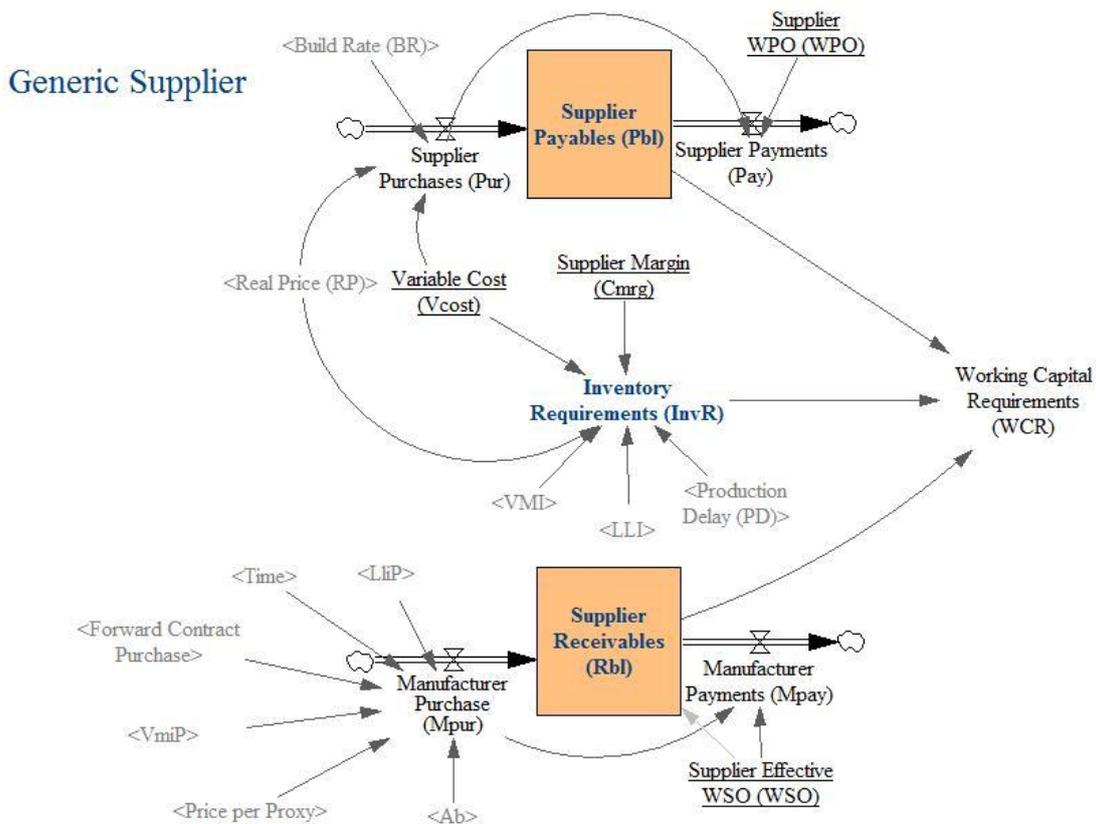


Figura 3.18 Modelo financiero del proveedor en Vensim®.

3.4.2 Ecuaciones del modelo del proveedor

En el esquema se observa cómo este modelo se ha dividido en tres partes. La primera, en el margen superior de la figura 3.18, representa los pagos que el proveedor en cuestión tiene que hacer a sus suministradores de materia prima. La segunda, resaltada en azul hace referencia a los requerimientos de inventario del proveedor. Por último, en el margen inferior se computa el flujo de dinero que tiene que entrar al proveedor a través del fabricante. Una vez computados ambos podrán calcularse las necesidades de capital circulante del proveedor para así estimar si estas son asumibles por parte del mismo. A la hora de realizar el análisis, vamos a aprovechar esa división, pasando ahora a definir en primer lugar el flujo saliente de capital.

3.4.2.1 Pagos del proveedor

En la figura 3.19 se encuentra ampliado el esquema de salidas de capital desde el proveedor.

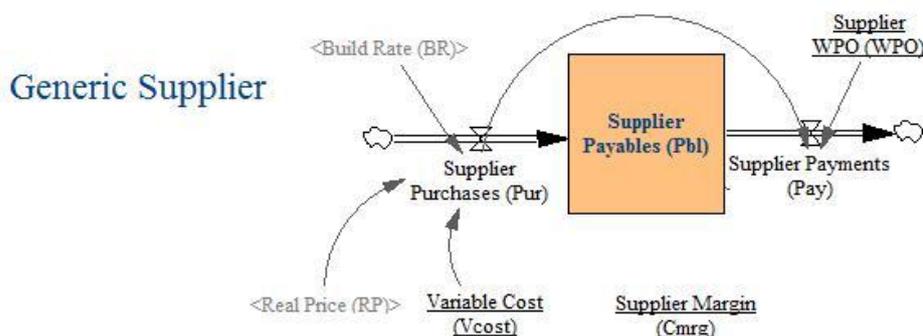


Figura 3.19 Pagos del proveedor

En primer lugar hablaremos de cómo se calculan los pagos a los proveedores de materia prima que el proveedor tiene que hacer. Para ello se emplearán dos variables principales, que serán las compras (Supplier Purchases (Pur_t)) y los pagos del proveedor (Supplier Payments (Pay_t)). Para el cálculo de ambas se emplearán variables definidas en apartados anteriores tales como Real Price o Build Rate. Así mismo se empleará un parámetro nuevo, Variable Cost ($Vcost$).

Se define $Vcost$ como el porcentaje de costes variables del proveedor asociados a la producción de suministros para el fabricante. Dicho parámetro

depende del proveedor (aunque para dar consistencia al modelo se elabora una matriz que incluye además una dependencia del Vcost con la cartera de contratos). Los porcentajes de distribución del coste variable por proveedor se presentan en la tabla 3.11.

	Variable Cost
Supplier 1	0,3
Supplier 2	0,4
Supplier 3	0,5

Tabla 3.11 Costes fijos según proveedor

Este coste variable es el que está asociado a los suministros para la producción, puesto que los costes fijos son propios de la estructura del proveedor y, por lo tanto, no son abonados a proveedores exteriores.

Una vez definido el único parámetro desconocido hasta ahora, pasamos a enunciar las ecuaciones de las variables Supplier Purchases ($Spur_t$) y Supplier Payments ($Spay_t$) como es norma en este proyecto, tanto formalmente como en Vensim®.

Supplier Purchases:

$$Spur_t = Build Rate_t * Real Price_t * Vcost \quad (3.109)$$

$$Spur_t = "BR_t"[SProxy, CPortfolio] * "RP_t" * "Vcost"[SProxy, CPortfolio] \quad (3.110)$$

Supplier Payments: Su valor es el mismo que el calculado anteriormente, pero con un retraso en función del número de semanas que tarde cada proveedor en pagar. Dicho parámetro se ha denominado Weeks of Purchase Outstanding (WPO) y sus valores están recogidos en la tabla 3.12.

	Supplier WPO
Supplier 1	8
Supplier 2	8
Supplier 3	8

Tabla 3.12 WPO por proveedor

Una vez conocidos los valores del WPO presentamos la ecuación en Vensim® de Supplier Payments, en la que destaca el empleo una vez más de

la función DELAYFIXED que permite retrasar el valor de la variable DPO semanas:

$$Pay_t = DELAY(Pur_t[SProxy, CPortfolio] | WPO[SProxy, CPortfolio] | Pur_t[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.111)$$

Es importante resaltar que ambas variables anteriores son denominadas en este lenguaje “variables de flujo”. Como norma en dinámica de sistemas no pueden encadenarse dos variables de flujo consecutivas. Como consecuencia de ello aparece el bloque resaltado en color salmón que representa la variable de nivel Supplier Payables_t (Pbl_t) Dicha variable se caracteriza del siguiente modo:

$$Pbl_t = INTEG(Spur_t - Spay_t) \quad (3.112)$$

$$Pbl_t = Pur_t[SProxy, CPortfolio] - Pay_t[SProxy, CPortfolio] \quad (3.113)$$

3.4.2.2 Requerimientos de inventario

En este apartado se calcularán las necesidades de capital circulante derivadas de los requerimientos de inventario. Para ello se empleará el esquema que aparece en la figura 3.20

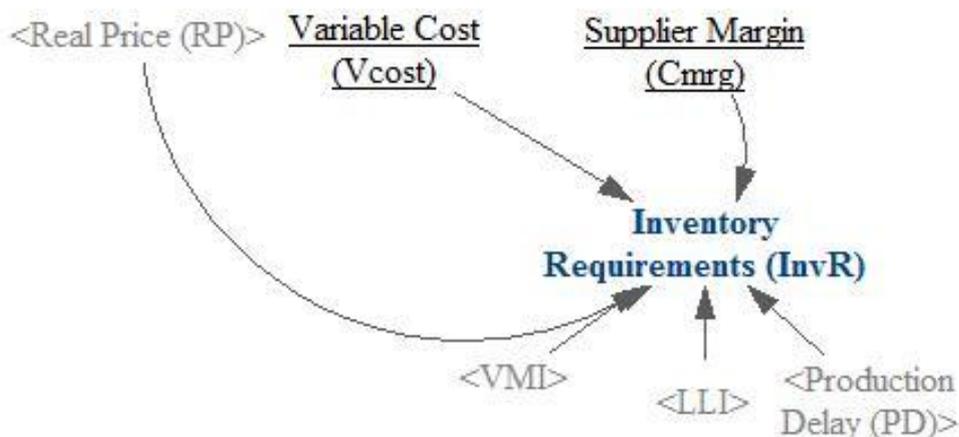


Figura 3.20 Esquema de la variable Inventory Requirements

A excepción del Supplier Margin (Cmrg) el resto de variables son conocidas. En lo que respecta a esta última, Cmrg es un parámetro que define el margen operativo de cada uno de los proveedores.

	Supplier Cmrgr
Supplier 1	0,5
Supplier 2	0,3
Supplier 3	0,1

Tabla 3.13 Márgenes operativos de los proveedores

Una vez determinados todos los parámetros y las variables, pasamos a definir los requerimientos de capital que exigen las necesidades de inventario del proveedor. Dicha ecuación corresponde única y exclusivamente a criterios de los proveedores. Es cierto que podrían haberse definido ecuaciones para cada proveedor en concreto y no habría sido complejo, puesto que sólo deberíamos haber convertido la variable $InvR_t$ en una variable vectorial. Sin embargo la aportación que esta decisión le hubiera hecho al modelo no sería significativa, con lo que se ha decidido emplear la misma expresión para los tres proveedores, debido a que el aporte no era significativo y a que, en este caso concreto, las diferencias no eran significativas. Las ecuaciones que definen, tanto en Vensim® como formalmente son:

$$InvR_t = VMI_t * RP_t * (1 - Cmrgr) + 0.5 * PD_t * RP_t * (1 - Vcost - Cmrgr) + 0.5 * PD_t ** RP_t * (1 - Cmrgr) + LLI_t * RP_t * (1 - Cmrgr) \quad (3.114)$$

$$InvR_t = VMI_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) + 0.5 ** PD_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Vcost[SProxy, CPortfolio] - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) + 0.5 * PD_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) + LLI_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.115)$$

Si nos fijamos en la ecuación 3.114, que define formalmente los costes de inventario, vemos que las exigencias financieras de inventario afectan a todas las unidades que forman parte del stock de los proveedores, tanto las que están en proceso de fabricación (representadas por el PD_t), las que acaban de ser terminadas (representadas en VMI_t) y las que están almacenadas en inventario (LLI_t)

3.4.2.3 Pagos al proveedor

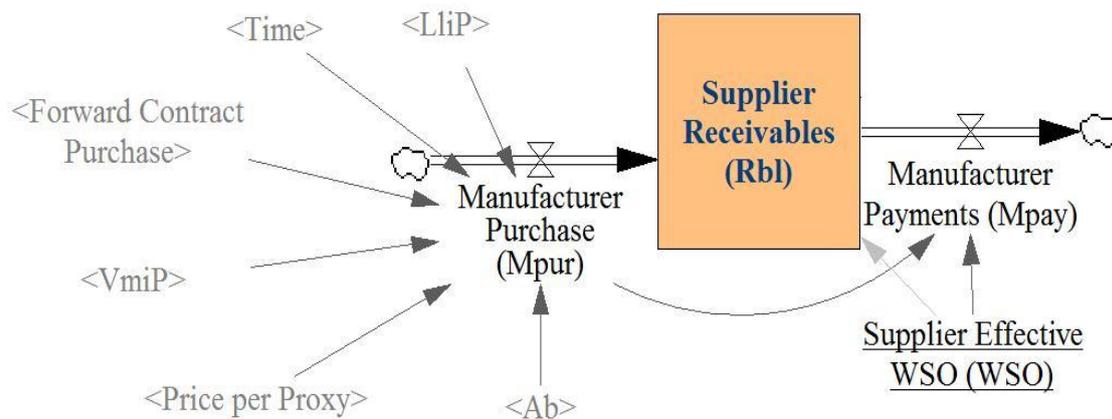


Figura 3.21 Esquema del cálculo de los pagos al proveedor

El esquema empleado en esta parte del modelo es el mismo que cuando se trató el problema de los pagos de los proveedores. Se emplearán 2 variables, una que representa los pagos pendientes de recibir por parte de los proveedores y otra los que ya se han hecho efectivos. La diferencia consiste en que en función de la cartera, a alguno se le pagará por adelantado, a otros en un plazo distinto a los demás etc. Es por eso y porque a cada proveedor se le paga según un precio establecido por contrato.

Comenzando por la izquierda de la figura 3.21, encontramos la variable Manufacturer Purchases ($Mpur_t$). Dicha variable aglutina todas las compras realizadas por el fabricante y el valor de las mismas. Su desglose se encuentra en el apartado 3.3.3.1 y por lo tanto no va a ser repetido.

La otra variable de flujo de este apartado, mide los pagos que va a recibir el proveedor. Dicha variable se denomina en el modelo Manufacturer Payments ($Mpay_t$) y se define con el mismo valor que $Mpur_t$, pero con las semanas de retraso que dictamina el parámetro Supplier Effective Weeks of Sales Outstanding (WSO), cuyos valores aparecen en la tabla 3.14

	Weeks of Sale Outstanding		
	Current	Portfolio 1	Portfolio 2
Supplier 1	8	8	8
Supplier 2	8	4	4
Supplier 3	0	0	0

Tabla 3.14 Weeks of Sale Outstanding

La ecuación de $Mpay_t$ en el modelo es la siguiente:

$$Mpay_t[SProxy, CPortfolio] = DELAYFIXED(Mpur_t, WSO, Mpur_t) \quad (3.116)$$

En la que todas las variables y parámetros comparten el corchete que sigue a $Mpay_t$ y que, una vez más, remarca su condición de variable matricial. Como ya se ha comentado con anterioridad, por orden de aparición dentro del paréntesis, cada elemento representa: Variable a retrasar; tiempo de retraso; valor inicial.

Sólo queda, por lo tanto, definir la variable de nivel Supplier Receivables (Rbl_t), que no es más que la diferencia entre pagos pendientes y ejecutados. Su definición, por lo tanto será:

$$Rbl_t = INTEG\langle Mpur_t - Mpay_t \rangle \quad (3.117)$$

Con valor inicial:

$$Mpur_t[SProxy, CPortfolio] * WSO[SProxy, CPortfolio] \quad (3.118)$$

3.4.2.4 Cálculo de las necesidades de Capital Circulante

El capital circulante es un parámetro económico ampliamente utilizado para medir el estado financiero de las empresas. En este caso se calculará como medida de las necesidades de financiación que tendrá cada uno de los proveedores. Para ello se ha planteado en el modelo la siguiente ecuación, que define la variable Working Capital Requirements (WCR_t):

$$WCR_t[SProxy, CPortfolio] = InvR + Rbl_t - Pbl_t \quad (3.119)$$

Con esta variable se le podrá dar al proveedor una estimación de las necesidades de financiación que cada política de contratación puede requiere.

Esto puede ser útil a la hora de entablar negociaciones, puesto que le otorga al proveedor de una idea aproximada de lo que cada cartera le exigiría.

Con esta última variable finaliza la descripción del modelo de gestión de inventarios propuesto en el Proyecto. En el siguiente apartado se analizarán cada una de las carteras de contratos que se ponen a prueba en el Proyecto.

3.5 Estudio de Simulación

Una vez desarrollado en profundidad el modelo de gestión, tanto desde un punto de vista formal como constructivo, el siguiente paso será definir las estrategias empleadas en la simulación. Como se ha comentado en apartados anteriores, el objeto del proyecto es valorar diferentes estrategias de aprisionamiento de componentes críticos. Para ello se van a definir en el modelo tres escenarios diferentes. El primero de ellos contiene las directrices actuales de la empresa. En los otros dos se modelan diferentes políticas de aprovisionamiento. Dichas políticas fueron desarrolladas en el apartado 3.3.2, con lo que en este punto sólo se mencionarán, encontrando más información en dicho epígrafe.

Otra consecuencia importante de la inclusión de estas políticas es que hacen que el modelo adopte la condición de modelo matricial que se ha comentado a la hora de definir las ecuaciones del mismo. La existencia, por un lado de 3 proveedores y por otro de 3 políticas de aprovisionamiento diferentes es lo que ha obligado a incluir las matrices que definen el modelado.

En lo que respecta al contenido de las políticas, es importante resaltar que se tratan de propuestas que desde este proyecto se hacen hacia la empresa. El resultado de su simulación no tiene porqué ser el óptimo. De hecho, la variedad de variables y parámetros hacen difícil definir un objetivo único. Por un lado, el modelo está enfocado a costes, con lo que se podría pensar que una buena opción sería minimizar costes totales. Sin embargo, necesidades de materiales, inventarios etc. impuestas desde la empresa pueden hacer que el reducir costes la alejen de otros objetivos estratégicos. Es por ello que desde este proyecto se dan opciones y se deja libertad al usuario final del modelo para que varíe los parámetros, y con ello las políticas, según sus propios criterios. La importancia de los resultados que estas nuevas políticas ofrezcan radica en hacer ver a la gerencia posibilidades de cambio y mejora. Luego, el modelo gracias a su construcción posibilitará probar diferentes estrategias, dando una orientación del efecto en la cadena de suministro de las mismas.

Una vez realizada la introducción a lo que son las estrategias de simulación y su función, pasamos a definir las en profundidad. Como las estrategias se refieren siempre a los proveedores (descuentos a exigir, días de pago, etc.) se hará una introducción a los parámetros más importantes de los mismos, para luego entrar a desarrollar en profundidad cada una de las estrategias simuladas.

3.5.1 Características comunes de todas las carteras de contratación

En el modelo, se han simulado diferentes estrategias siempre aplicadas a los mismos proveedores. Las políticas aplicadas en las carteras introducidas a tienen que ver con la estructura de cada proveedor. Es por ello que se ha considerado interesante remarcar las características principales de los mismos en este apartado.

Además, como todos los parámetros a modelar en las distintas estrategias afectan principalmente a los proveedores, se hará un repaso de algunas de las variables que afectan al funcionamiento de los proveedores y que no han sido tenidas en cuenta en este punto. Todas ellas afectan a políticas internas de funcionamiento del proveedor. Si un parámetro expresa alguna relación entre fabricante y proveedor, sus valores se definirán en el apartado 3.5.2 en adelante.

En primer lugar, se define el margen de beneficio de cada uno de los proveedores, así como su estructura de costes, separados entre fijos y variables. En la figura 3.22 se muestra un gráfico en el que aparecen los porcentajes de costes así como el margen operativo con el que se estima que cuentan los proveedores.

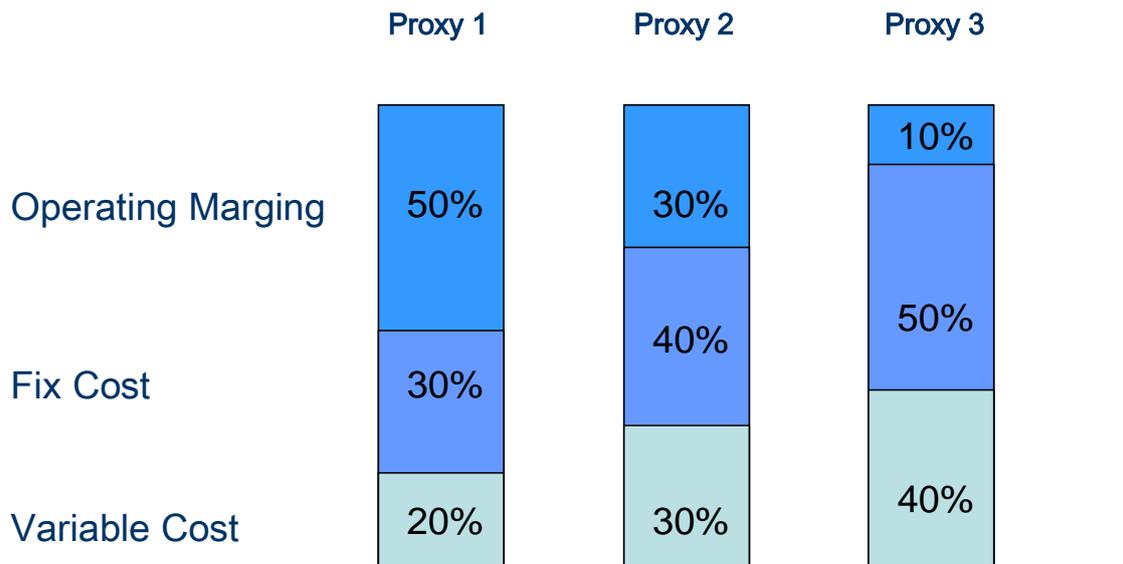


Figura 3.22 Porcentaje de la distribución de los costes por unidad fabricada.

La construcción del gráfico atiende a criterios de nomenclatura empleados en Vensim®. Por ello aparece la palabra Proxy. Dicha palabra se refiere a cada uno de los proveedores, en concreto:

Proxy 1: Proveedor 1; Proxy 2: Proveedor 2; Proxy 3: Proveedor 3

En la imagen se ve cómo el Proveedor 1 cuenta con un margen operativo estimado del 50%, mientras que el del Proveedor 3 es de sólo el 10%. El Proveedor 2 se encuentra en una situación intermedia, con un 30% de margen operativo.

Con estos datos y la información facilitada por el fabricante acerca de sus suministradores, puede deducirse la capacidad de cada proveedor. En el caso del Proveedor 1, nos encontramos con una empresa de gran tamaño. Esto es así porque, en primer lugar sus costes fijos son sensiblemente inferiores al resto, debido a su mayor tamaño. Además, la posibilidad de fabricar gran número de unidades hace que los porcentajes mostrados en la figura sean más bajos. El perfil de este proveedor posibilita el que se le facilite una demanda más variable y el que se haga cargo de mayores costes de inventario. Por ese mismo motivo será difícil conseguir algún tipo de descuento en las compras, dado que su negocio está bastante diversificado en lo que a clientes se refiere. Por consiguiente, sería interesante ofrecerle alguna

alternativa, como puede ser el fijar un precio máximo de compra, fijando por ello una contraprestación.

El Proveedor 3 se encuentra en una situación diametralmente opuesta. El pequeño tamaño de la empresa y su configuración hace que gran parte de los beneficios obtenidos por ventas reviertan en costes fijos. Por ello, a este proveedor no le benefician las demandas de inventario ni la recepción tardía de los pagos. Su escaso margen de beneficio y el porcentaje de costes fijos tan elevado le obligarían a buscar financiación, aumentando los riesgos para la empresa. Es por ello que en este Proyecto se ha propuesto aprovechar esta situación y el hecho de que la empresa propietaria del modelo es su principal cliente, para ofrecerle al proveedor la posibilidad de firmar un Forward Contract. Con ello conseguirá recibir todo el dinero el momento del pedido y no tendrá que almacenar inventario. Como contrapartida tendrá que ofrecer un nivel de descuentos adecuado.

Finalmente, el Proveedor 2 se encuentra en una situación intermedia, por lo que se le propondrán políticas para disminuir sus costes a costa de ofrecer algún tipo de descuento. Su tamaño hace que puede que le interese perder algo del dinero ingresado en compras a costa de reducir sus costes de producción, puesto que por su capacidad la empresa que encargó el estudio es uno de sus principales clientes.

Así mismo, existen otros parámetros como las semanas que los proveedores pagan a sus suministradores de material, el tiempo que emplea en el ajuste de inventario etc. que son importante a la hora de definir sus actuaciones y necesidades de financiación.

El tiempo que tarden los proveedores en pagar sus deudas de suministro es importante, puesto que si es mayor que el tiempo que tardan ellos en recibir el dinero del fabricante, no necesitarán financiación extra para la fabricación. En caso contrario se crearían necesidades de capital que dieran soporte a la fabricación de los componentes. A continuación se ofrecen las tablas con alguno de los parámetros que afectan al funcionamiento del proveedor y que no entran en juego directamente en la negociación de los contratos:

	Supplier WPO	TAI	Lead Time (LT)
Supplier 1	8	6	6
Supplier 2	8	6	6
Supplier 3	8	6	6

Tabla 3.15 Parámetros de funcionamiento de los proveedores exentos de negociación

Una vez conocida la estructura de los proveedores, así como alguna de sus características de funcionamiento, pasamos a definir las estrategias a modelar dentro del proyecto.

3.5.2 Cartera actual de contratos: Current

En la cartera *Current* se trata de modelar la política de aprovisionamiento actual. La finalidad de incluir esta cartera es doble. Por un lado, en las primeras 52 semanas de simulación se empleará para conocer si el comportamiento del modelo se ajusta a la realidad de la empresa. Por otro, pasado ese periodo, se convertirá en una más de las posibles opciones a simular, y servirá para que puedan evaluarse las diferentes políticas.

En concreto, en esta cartera se aplican dos tipos principales de políticas de compras. Por un lado, compra según la demanda existente y por otro la compra con descuento por pronto pago.

Como se ha comentado con anterioridad, el margen de beneficio tan estrecho del Proveedor 3 le hacía ser un buen candidato para aceptar un contrato con descuento por pronto pago. A dicho suministrador le interesa y al fabricante también porque lo que pierde en términos financieros se compensa con los descuentos. Esto es así principalmente porque el tamaño del Proveedor 3 hace que el número de unidades que se le compran no sea muy grande. Si dichas unidades incrementaran llegaría un punto en el que dejaría de ser interesante. Por ello esa opción no se le ofrece al resto de Proveedores.

Por lo que respecta al resto, la relación con ellos se atiene simplemente a las demandas del fabricante y a los precios del mercado de componentes. A ninguno de los 2 se le aplica una política especial de contratos.

En lo que respecta al inventario, a todos los proveedores se les demandará que cuenten en sus instalaciones con 2 semanas de inventario respecto a la demanda solicitada, así como podrá solicitarle hasta un 30% adicional de la misma en el caso de que se solicite desde el fabricante.

En la tabla 3.16 se resumen los parámetros más importantes del contrato con cada uno de los tres proveedores. En la primera columna aparece la distribución de la demanda global del fabricante entre los tres proveedores. Este valor, a pesar de no ser un parámetro de negociación, muestra el peso de cada uno de los proveedores dentro de la cadena de suministro de la empresa.

En la segunda aparecen los descuentos por pago anticipado. Como ya se comentó, en este momento sólo estamos considerando la posibilidad de obtener descuentos en las compras al Proveedor 3.

En la tercera y cuarta columna aparecen los parámetros relacionados con el inventario. En la tercera se encuentran las semanas de inventario que se exigen a cada proveedor (WOI). En la cuarta aparece el porcentaje de la demanda que se puede solicitar a los proveedores de manera suplementaria en el inventario. Esta política se aplica, como se ha comentado en apartados anteriores, para hacer frente a posibles roturas de Stock que hagan que se interrumpa el suministro de componentes a fábrica.

Por último, en la última columna se sitúa el parámetro WSO, acrónimo de (Weeks of Sale Outstanding) que representa el número de semanas que tarda el fabricante en pagar a los proveedores. Como puede observarse, al obtener del Proveedor 3 un descuento del 5% con respecto al precio de compra, éste recibe el pago en el momento de la compra, con lo que bajan sus costes financieros.

	Forecast Split per Supplier	Supplier Discounts	WOI	Upside Flex	WSO
Supplier 1	0,5	0	2	0,3	8
Supplier 2	0,3	0	2	0,3	8
Supplier 3	0,2	0,05	2	0,3	0

Tabla 3.16 Parámetros que definen la cartera Current

Con todo lo anterior queda caracterizada la política de aprovisionamiento actual de la empresa. A continuación, en los próximos apartados se concretan la dos políticas puestas a prueba en el proyecto.

3.5.3 Cartera de contratos Portfolio 1

En este “Proxy” se encuentra la primera de las dos carteras de contratación que vamos a comparar con la actual. Cuantitativamente está caracterizada en la siguiente tabla, cuya configuración sigue los mismos criterios que la tabla 3.6:

	Forecast Split per Supplier	Supplier Discounts	WOI	Upside Flex	WSO
Supplier 1	0,5	0	2	0,3	8
Supplier 2	0,3	0,1	2	0	4
Supplier 3	0,2	0,3	0	0	0

Tabla 3.17 Parámetros que definen la cartera Portfolio 1

Lo primero que vemos es que la distribución de la demanda entre los distintos proveedores es idéntica a la de la política actual. Esto se debe a que la distribución de la misma se hacía atendiendo a criterios de capacidad de fabricación, cosa que no ha cambiado. Además, el dejar ese parámetro fijo permite comparar mejor el posible ahorro que se pudiera producir. Una opción en el futuro sería la de probar a reajustar las asignaciones a cada proveedor, siempre teniendo presente la capacidad de fabricación de cada uno.

Comenzando por las variaciones en los contratos con los proveedores, en primer lugar analizamos al tercer proveedor. En este caso, se ha aumentado el descuento que se aplica en las compras. El valor de la tasa del descuento ha subido del 5% al 30%. El que este incremento sea asumible para el proveedor radica en el análisis financiero del proveedor que se realiza en este modelo que en el apartado 3.4. Si como consecuencia del mismo las necesidades de capital circulante son altas, esta política no podrá aplicarse.

Para que los requerimientos financieros no ahoguen al proveedor y pueda asimilar el descuento solicitado, se han propuesto como contrapartida las siguientes condiciones:

- a) Se firmará un contrato del tipo “Forward Contract” en las condiciones comentadas 3.3.2. Con este contrato al proveedor se le demandará una cantidad constante a la semana. Dicha cantidad se revisará cada 3 meses. Además, tanto la demanda a exigir como el precio a pagar serán filtradas a través de las variables $Sample AWD_t$ y $Sample RP_t$, con lo que la variabilidad del mercado se verá aún más atenuada.
- b) Se eliminará cualquier requerimiento de inventario a este proveedor, como puede verse en la tabla 3.17. Con ello se eliminarán parte de los costes fijos en los que incurría el proveedor incrementando su margen de beneficio.

Como efecto de estas políticas, disminuirán tanto los costes financieros como los costes fijos de operación del Proveedor, con lo que es de esperar que este descuento sea aceptado. Además, al ser el fabricante cliente casi exclusivo, le da una posición de privilegio a la hora de negociar.

En el caso del segundo proveedor se aplicará un descuento a las compras realizadas al mismo del 10% del precio, como observamos en la tabla 3.17. La posibilidad de este descuento se obtiene debido a que el plazo de pago baja de 8 a 4 semanas, reduciendo las necesidades de financiación del proveedor. Así mismo, la demanda que se le facilitará a este proveedor no será la demanda real de fábrica, sino que será previamente tratada para que presente un comportamiento más regular. Dicho comportamiento se recoge en $Smooth AWD_t$. Al Proveedor 2 se le solicitará el porcentaje que le corresponde de la demanda, pero calculado sobre la variable anterior.

Además de lo anterior, se reducen los requerimientos de inventario a este proveedor, puesto que para él se elimina el Upside Flex, ese inventario adicional del 30%, lo que hará que se reduzcan los costes fijos.

Estos 3 factores, en especial el primero y el último, harán factible la petición del 10% de descuento anteriormente comentada, basándose en la reducción de costes fijos y financieros, con la consiguiente bajada de requerimientos de capital circulante.

En lo que respecta al Proveedor 1, se mantiene la misma estrategia que en la actualidad. La cartera Portfolio 2 será la que recoja los cambios en la estrategia de contratos con este proveedor.

3.5.4 Cartera de contratos Portfolio 2

Portfolio 2 es la última cartera que va a simularse en el proyecto. En ella se encuentra la segunda estrategias de aprovisionamiento a analizar. Cuantitativamente está caracterizada en la siguiente tabla 3.18, análoga a la anterior.

	Forecast Split per Supplier	Supplier Discounts	WOI	Upside Flex	WSO
Supplier 1	0,5	0	2	0,3	8
Supplier 2	0,3	0,1	2	0	4
Supplier 3	0,2	0,3	0	0	0

Tabla 3.18 Parámetros que definen la cartera Portfolio 2

Como puede verse en la tabla, la estrategia a seguir con los Proveedores 2 y 3 es idéntica. Por un lado, al Proveedor 3 se le ofrecerá firmar un Forward Contract en las condiciones comentadas en la cartera anterior. Por otro, al Proveedor 2 se le harán una serie de mejoras en cuanto a exigencias de inventario y condiciones de pago idénticas a las del apartado anterior, solicitando por ello nuevamente un 10% de descuento

La única diferencia con respecto al Portfolio 1 se encuentra en el contrato a firmar con el Proveedor. En esta cartera se le ofrecerá al proveedor la posibilidad de un acuerdo en el que se garantice un precio máximo de compra. Dicho precio se recoge en el modelo con el parámetro Strike Price. Si el precio de mercado es inferior a ese precio, las compras se realizarán a precio de mercado. Si no es así, el fabricante tiene derecho a comprar las unidades al Strike Price. Como contrapartida, el Proveedor 1 recibirá un 3% del valor de todas las unidades que compre el Proveedor 1, valoradas éstas a Strike Price. En el análisis de los resultados deberá comprobarse si el ahorro conseguido con esta política compensa el coste de la misma.

Con esto se da por finalizado el capítulo 3. A continuación se analizarán los resultados del modelo que aquí se ha desarrollado.

Capítulo 4. Resultados

Índice del Capítulo

CAPÍTULO 4. RESULTADOS	135
4.1 PROCESO DE VALIDACIÓN DEL MODELO.	136
4.2 RESULTADOS DEL PROYECTO.....	141
<i>4.2.1 Resultados para el fabricante</i>	<i>141</i>
4.2.1.1 Costes de compras del fabricante	142
4.2.1.2 Análisis del coste de las nuevas políticas simuladas.....	149
4.2.1.2.1 Costes del Proveedor 1	150
4.2.1.2.2 Costes del Proveedor 2	152
4.2.1.2.3 Costes del Proveedor 3	154
4.2.1.3 Análisis del Backlog	156
4.2.1.4 Análisis de los niveles de inventario	161
4.2.1.4 Otros resultados interesantes para el fabricante	165
4.2.1.4.1 Análisis de Precios	165
4.2.1.4.2 Evolución conjunta de la tasa de fabricación y la demanda.....	167
4.2.1.4.2.1 Evolución para el Proveedor 1	168
4.2.1.4.2.2 Evolución para el proveedor 2	171
4.2.1.4.2.3 Evolución para el Proveedor 3	174
<i>4.2.2 Resultados económicos para el proveedor.....</i>	<i>177</i>
4.2.2.1 Análisis financiero para el Proveedor 1	178
4.2.2.2 Análisis financiero para el Proveedor 2	180
4.2.2.3 Análisis financiero para el Proveedor 3	181

4.1 Proceso de validación del modelo.

En este capítulo se ofrecerán los resultados obtenidos a partir del modelo de gestión construido en el apartado anterior. En primer lugar y antes de entrar a analizar el se va a comentar primero la mecánica que se ha seguido. Este punto podría haber formado parte del capítulo anterior. No obstante se ha decidido contar en este punto, principalmente porque la validación se ha basado en los resultados que se han ido obteniendo fruto de la construcción del modelo.

Para la validación del modelo ha sido necesaria una estrecha colaboración con los distintos departamentos de la empresa implicados en el mismo. En un primer lugar, se procedió a la fase comentada en la introducción del capítulo 3 de búsqueda de información. Tras haber finalizado el proceso de reuniones, comenzó la construcción del modelo. Para ello se hicieron diversas hipótesis sobre el posible funcionamiento de algunas de las variables y parámetros del modelo. Dichas hipótesis irán siendo contrastadas con los agentes de la empresa involucrados en las mismas. Como se percibe en la figura 4.1, a medida que avanza el proceso de validación del modelo, aumenta el conocimiento que se tiene sobre el funcionamiento de la empresa y disminuye el número de hipótesis validadas disminuyendo el de hipótesis incorrectas.

Es interesante ver la evolución que siguen las hipótesis que acaban siendo invalidadas. En un primer momento su número es bajo, puesto que han de asumirse ciertos comportamientos para iniciar la construcción del modelo. A medida que aumenta el conocimiento sobre la empresa, el número de hipótesis invalidadas aumenta. Esto se debe a que ya se cuenta con la información necesaria para corregir los aspectos erróneos del modelado. Esta tendencia se mantiene hasta que se alcanza un máximo. A partir de ese momento el conocimiento cada vez mayor de los procedimientos de la empresa y sus proveedores hace que las hipótesis realizadas se ajusten mejor a la realidad. A partir de ese momento la mayoría de las decisiones que se tomen a la hora de construir el modelo serán acertadas, puesto que estarán basadas en un conocimiento cada vez más profundo de la empresa.

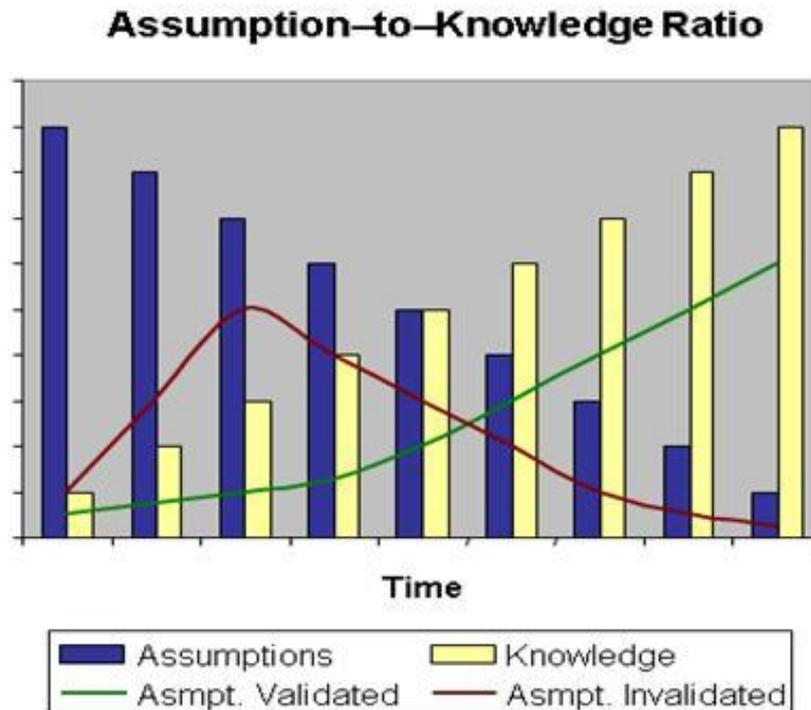


Figura 4.1 Esquema de validación del modelo

Así mismo, en cuanto el valor de las hipótesis invalidadas se estanca se incrementa casi exponencialmente el número de las mismas que son admitidas por el usuario del modelo. En el gráfico se marcan dos tendencias claras, por un lado una ascendente de las hipótesis validadas y por otro una descendente que se refiere a las hipótesis invalidadas.

Este proceso tiene varios efectos positivos. Uno de ellos es que permite al creador del modelo conocer detalladamente el funcionamiento de la empresa. Otro beneficio será trabajar estrechamente con las personas que posteriormente van a ser los usuarios del producto desarrollado. Esto es muy positivo porque el que se involucren en el proceso de validación permitirá que luego conozcan mejor el funcionamiento del modelo.

Además de todo lo anterior, un proceso curioso sucede cuando se afronta un proceso de este tipo. En muchas empresas sucede que, por efecto de la dureza del trabajo diario, en cierto modo se abandonan algunos procesos de gestión. Es por ello que pueden darse situaciones en la construcción del modelo en las que en la empresa no conozcan cómo caracterizar una variable. Otro resultado positivo que se puede obtener del modelado y de su validación

consistirá en un mejor conocimiento de la empresa de sus propios mecanismos de toma de decisiones. Esto puede dar lugar a que se conozcan errores o posibles mejoras no detectadas con anterioridad. Por ello, es importante que todas las partes afronten el proceso con actitud crítica y constructiva. Si tanto el modelista como los representantes de la empresa admiten posibles errores en sus planteamientos, los resultados de esta etapa de validación pueden ser tan interesantes como los que se extraigan posteriormente del modelo.

Una vez comentado el proceso de manera genérica, en la figura 4.2 aparece un diagrama de flujo en el que se recogen detalladamente las etapas seguidas hasta llegar al modelo definitivo desarrollado en el capítulo 3.

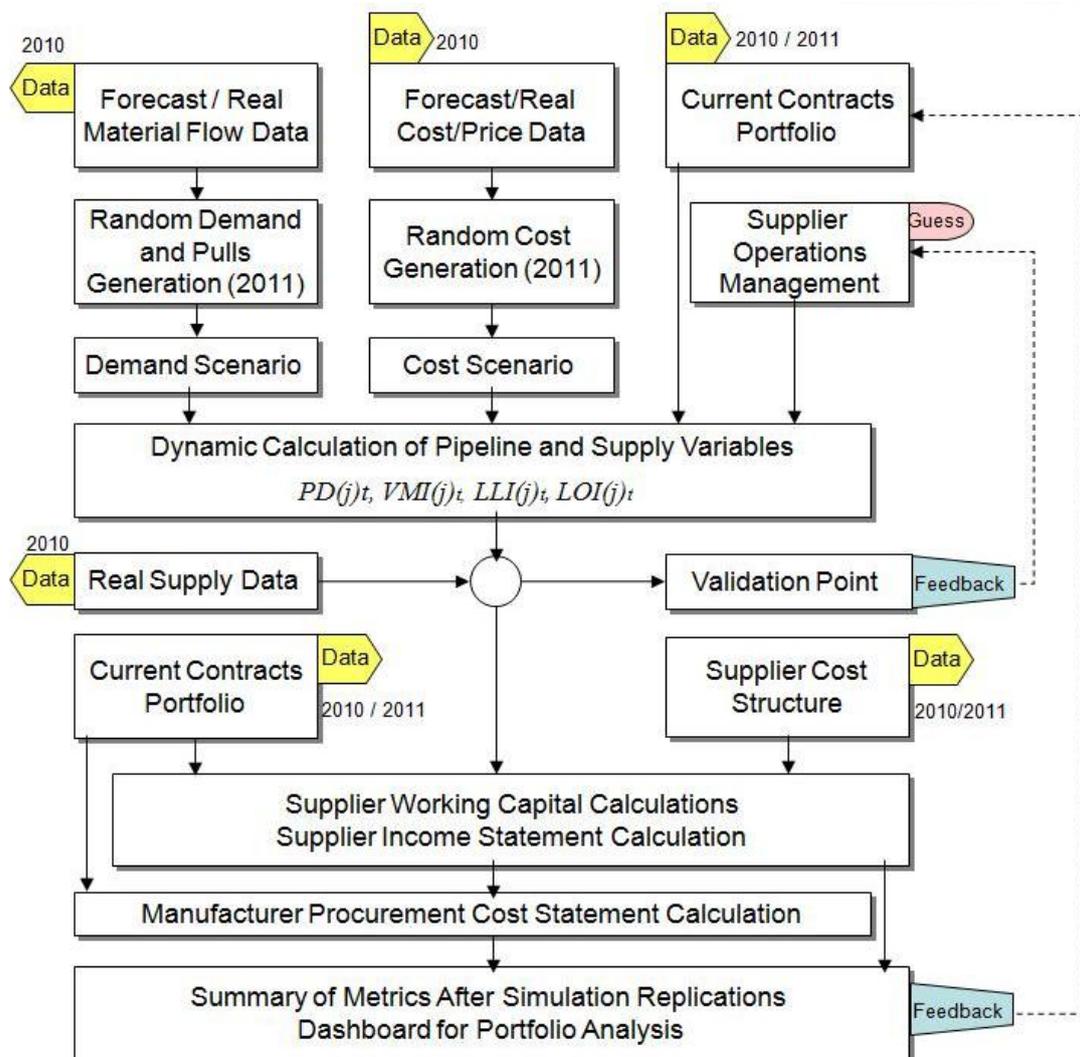


Figura 4.2 Diagrama de flujo de validación del modelo

En primer lugar vemos como en la parte superior aparece tres columnas se corresponden con tres procesos distintos y que deberán validarse en paralelo. El primero de ellos hace referencia a los datos y previsiones referentes al flujo de materiales. En concreto se refiere a la previsión de la demanda y de las pulls de fábrica. Se deberán conocer los valores demandados en 2010 y se comentará a los gestores el procedimiento que se empleará en el modelo para prever los valores demandados a los proveedores y las pulls en 2011. Con eso se cerrará el escenario inicial creado para gestionar la demanda.

En la columna central aparece el precio de los componentes, otra de las variables cuyo valor se tendrá que predecir para 2011. En este punto, como se comentó en la introducción al capítulo 3, se deberán conocer los precios de compra de 2010 así como el método para realizar las previsiones para el futuro. Como resultado de las conversaciones con la empresa y del análisis de los datos suministrados se propuso un nuevo modelo de previsión de precios. Dicho modelo deberá de ser revisado y validado en este punto. Como resultado de este apartado se generará un escenario de costes que permita poder imputar posteriormente los costes de suministro de los componentes.

El último de los bloques hace referencia al modelado de la cartera de contratos actual. En este punto se deberán conocer los indicadores empleados por la empresa para negociar los contratos así como acordar la inclusión de parámetros nuevos que permitan el contraste de las políticas alternativas con la actual. Así mismo, se harán las hipótesis necesarias para definir el modelo de flujo de materiales de los proveedores.

Finalizadas estas 3 etapas se procederá al cálculo de las variables relacionadas con los inventarios (las más fáciles de contrastar), para contrastar los resultados del modelo con los reales. En concreto se calcularán los valores de PD_t , VMI_t , LLI_t y LOI_t .

Una vez calculados los resultados serán analizados por los responsables de inventario de la empresa para determinar si se ajustan a los términos reales, como se observa en la figura. Como resultado de esta comparación existen 2 opciones. O bien se continúa con el modelado o bien se produce un feedback

con destino el apartado de gestión de flujo de materiales para recalibrar alguno de sus parámetros.

Una vez se consigan los resultados idóneos y quede validado el módulo de gestión del flujo de materiales, se continuará con la construcción del resto del modelo. Por un lado se construirá el módulo de gestión económica del proveedor, con el fin de conocer sus necesidades de capital circulante. Para ello se emplearán, como puede verse en el diagrama, los datos disponibles sobre su estructura de costes así como los de la política actual de contratación.

Finalizado este punto se emplearán los datos de la cartera actual nuevamente, esta vez para construir el modelo de costes del fabricante.

Por último, con estos dos módulos finalizados, se calcularán los resultados económicos que se desprenden de la política actual de contratación para su contraste con los reales. En este punto se calcularán costes totales, coste por unidad y necesidades de capital circulante de los proveedores. Si el resultado se ajusta a los parámetros reales se dará por concluida la fase de validación. En caso contrario se producirá una realimentación al inicio. En concreto se empleará la información extraída del proceso de contraste de hipótesis para redefinir en el modelo la estrategia actual de contratos.

El empleo de este diagrama ha sido clave para el desarrollo del modelo. Por su estructura ha permitido la participación gradual del fabricante en la validación, además de facilitar la prematura detección de errores. Otra posibilidad que se podría haber contemplado sería la de contrastar modelo finalizados en su totalidad. Este punto se descartó por dos motivos. El primero es que un error en los inicios puede suponer un planteamiento deficiente aguas arriba que haga inútil los esfuerzos posteriores. El otro motivo es que al ir validando etapa por etapa la participación activa del usuario del modelo está garantizada. El ir poco a poco hace que sea más fácil la comprensión y el análisis crítico. Un modelo como el expuesto en el capítulo 3 es lo suficientemente extenso como para hacer que se pierda la visión de conjunto del proyecto. Además, cuanto menor sean los puntos a analizar más fácil resultará la detección de errores. Es por ello que el procedimiento desarrollado en este apartado se ha considerado adecuado para este proyecto.

4.2 Resultados del proyecto.

En este punto se mostrarán los resultados obtenidos en el proyecto. El periodo de simulación empleado ha sido de 36 semanas (9 meses). Esta decisión ha sido tomada por el fabricante, al considerar éste un periodo lo suficientemente significativo como para valorar los resultados. Además, desde un punto de vista constructivo del modelo, también es un periodo aceptable, pues se puede conocer bien la tendencia sin alargar en exceso los tiempos de previsión. Hay que tener en cuenta que, a pesar de los esfuerzos realizados para ajustar las previsiones de precios, cualquier movimiento brusco del mercado puede hacer que dejen de ser válidas. Es por eso que 9 meses o 1 año sean los periodos ideales para conocer los frutos del proyecto.

En este punto no se muestran resultados anteriores a 52 semanas. Esto se debe a que éstos se corresponden con el periodo de validación del modelo. En el punto anterior se comentó el procedimiento de validación. Es por ello, que una vez ha sido validado por la empresa el modelo se ha considerado más interesante para el proyecto conocer los valores futuros calculados por el modelo.

En los siguientes apartados se presentarán los resultados más destacados del modelo, comentados a través de las gráficas obtenidas con Vensim®.

4.2.1 Resultados para el fabricante

En este apartado se incluirán los resultados más destacados de interés para el fabricante. En primer lugar se hablará del coste de aprovisionamiento de cada política.

Seguidamente se analizarán los resultados obtenidos para el backlog, para comprobar si se producen roturas importantes de stock.

A continuación, se mostrará la comparativa entre los precios inicialmente previstos y los generados por el modelo.

Por último se comentará la demanda de productos que se le solicita a cada proveedor, comparándola con las solicitudes hechas desde fábrica.

4.2.1.1 Costes de compras del fabricante

En este punto se discutirán los resultados referentes al coste de aprovisionamiento. Este apartado será fundamental, puesto que el objetivo fundamental de este proyecto consiste en bajar los costes que genera la política actual de compras. Hay que recordar que en el apartado de costes, la variable $Accp_t$ recoge todos los costes de las distintas políticas, incluidos los costes financieros.

Para ello se analizarán diferentes gráficas que darán una visión global de las ventajas e inconvenientes, desde el punto de vista económico, de cada una de las políticas.

En primer lugar y antes de comenzar el análisis de las primeras gráficas, se va a hacer una introducción a una de las herramientas más potentes que Vensim® incorpora en el apartado de resultados. Se trata del análisis de sensibilidad. Esta funcionalidad permite conocer de una forma muy gráfica cuál es el efecto que la incertidumbre genera en el modelo. Dicha incertidumbre viene generada por las variables cuya distribución puede variar dentro de un mismo escenario. Por ejemplo, en el caso de la demanda, en el modelo esta variable sigue una distribución aleatoria uniforme. Como se comentó en el apartado 3.2.1 dicha distribución se ve influida por un parámetro exógeno al modelo, la semilla SeedD. El análisis de sensibilidad se emplea para conocer el efecto que ese parámetro tiene sobre el resto de las variables del modelo.

En este caso se han incluido las 3 semillas que influían en las 3 distribuciones aleatorias que aparecen en el modelo, la distribución de la demanda (AWD_t), la de Real Price (RP_t) y la de las órdenes de fábrica, ($TPull_t$).

Las próximas gráficas han son producto de un análisis de sensibilidad en el que se han realizado 500 simulaciones. Este número se ha considerado suficiente para conocer el comportamiento del modelo sin la influencia de la aleatoriedad. Sin embargo, Vensim® es una herramienta que permite incrementar el número de simulaciones sin aumentar en demasía los tiempos de espera. Esto unido a la gran capacidad de operaciones de los ordenadores actuales hace que este valor pueda ser modificado prácticamente al antojo del responsable de la simulación.

En primer lugar se muestra el análisis de sensibilidad para el NPV (Net Present Value) de los costes acumulados de compra ($Accp_t$)

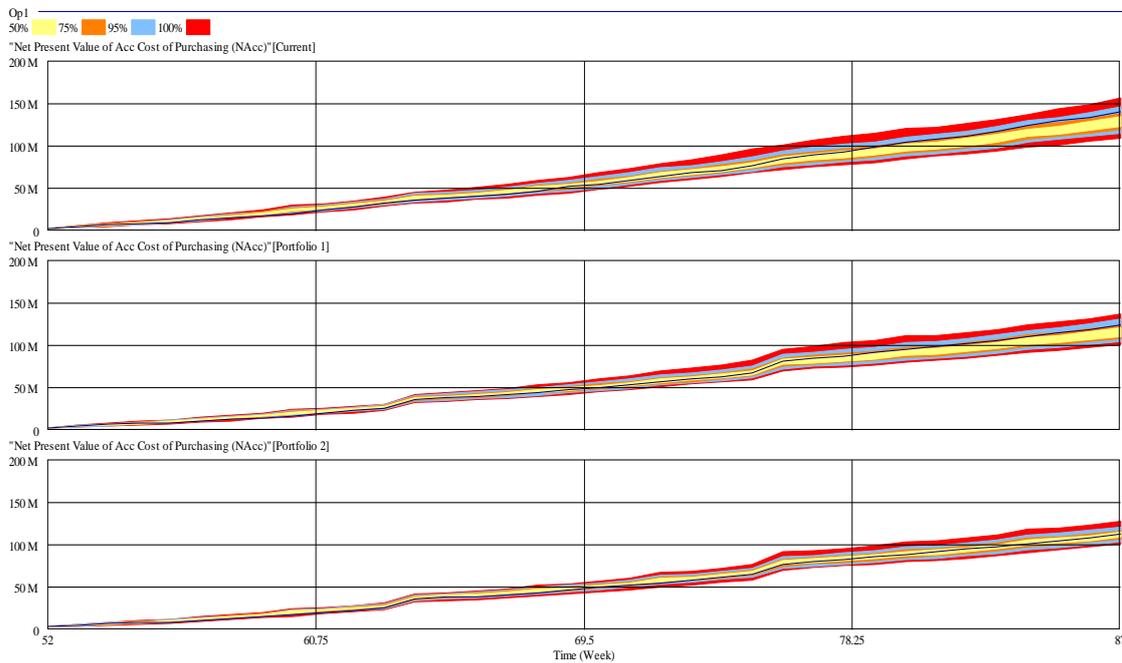


Figura 4.3 Análisis de sensibilidad para NPV del Coste Acumulado de Compras

En primer lugar, se explicará el código de colores de la figura. Como se puede ver en la leyenda, cada color se corresponde con un porcentaje. Dicho valor es el promedio de simulaciones que se sitúa en dicha franja. Es decir, en la franja amarilla se sitúan el 50% de las simulaciones, en la naranja el 75% y así sucesivamente.

Analizando ya el contenido de la imagen, la primera conclusión que se extrae de este gráfico es la notable disminución de costes que se produce en el momento en el que se decide cambiar la política. Tomando como referencia la banda del 50%, el ahorro aproximado entre emplear la cartera Portfolio 2 y Current es de 40 M\$ en los 9 meses de simulación.

Además se observa cómo la cartera Portfolio 2 da mejores resultados que la cartera Portfolio 1, además de presentar una menor incertidumbre en los resultados. Esto se observa en el ancho de cada una de las gráficas. Como puede verse en la figura, la banda que representa los costes de Portfolio 2 es mucho más estrecha que la banda de la cartera Current y también más estrecha que Portfolio 1.

En esta imagen se observa con mayor claridad los resultados del análisis de sensibilidad para la cartera Portfolio 2.

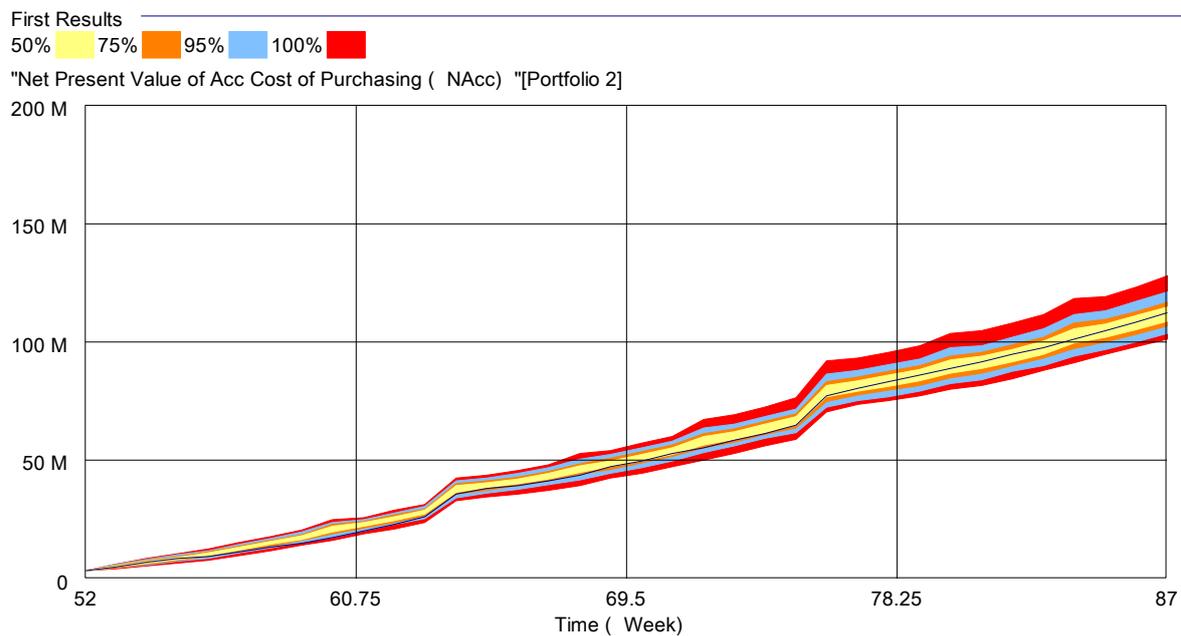


Figura 4.4 Análisis de sensibilidad del Coste de Aprovisionamiento de Portfolio 2

En esta imagen se perciben con más nitidez las bandas que caracterizan estos gráficos. El interés de incluir el gráfico anterior radica en que gracias a él pueden compararse las distintas políticas en una sola figura.

Un detalle que no se ha comentado en la figura anterior es el de la línea azul situada dentro de las bandas del análisis. Esta línea refleja el resultado de la estrategia de simulación calculado con los parámetros iniciales que se introdujeron en las semillas.

En lo que se refiere al contenido de la imagen, un aspecto a destacar es el del valor aproximado de los costes. Con un 95% de probabilidad, el coste se encuentra aproximadamente entre 100 M\$ y 125M\$. Esto supone como mínimo un ahorro de 15M\$ en 9 meses, tomado como valor medio del coste de la política actual 140M\$. Esto supone que el fabricante puede ahorrarse más de un 10% modificando su política actual de suministro.

No obstante, estos datos que se pueden deducir estimando los valores a partir de las figuras 4.3 y 4.4 se perciben mejor en la siguiente figura.

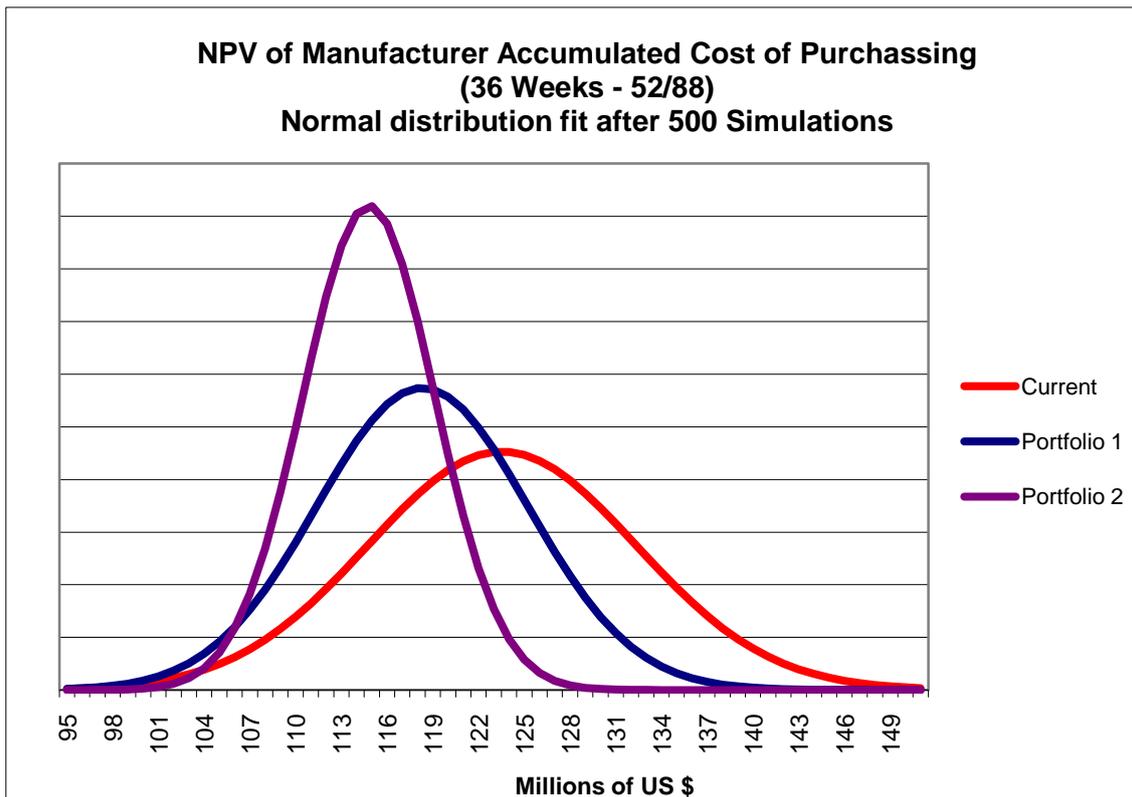


Figura 4.5 Distribución normal del NPV del Coste Total Acumulado de Compras

Otra de las funcionalidades de Vensim® es que cuenta con herramientas que realizan el análisis estadístico de las variables sometidas al análisis de sensibilidad. Gracias a esas herramientas se han obtenido los parámetros necesarios para construir este gráfico en Excel, que recoge cómo se distribuyen los costes totales de compra de acuerdo a una distribución normal.

En la imagen se ve con mayor claridad que en la figura 4.3 algunos de los aspectos comentados anteriormente. En primer lugar, puede verse como la incertidumbre de las simulaciones disminuye de la cartera Current a Portfolio 1 y de Portfolio 1 a Portfolio 2. Esto se manifiesta en el ancho de las curvas. Cuanto más ancha sea una normal más incertidumbre tendrá en torno al valor medio de la distribución y, por lo tanto, menos concentrados estarán los datos en torno a ese valor medio.

Al tratarse de una distribución normal, el valor medio se sitúa en el máximo de la gráfica. Como se ve en la figura 4.5, el valor medio del coste acumulado de compras es mayor en el escenario actual que en cualquiera de los otros que se han simulado. Así mismo, Portfolio 2 se sitúa como la política

que mejores resultados económicos ofrece del estudio. Una consecuencia de ello es que la estrategia que se oferta al Proveedor 1 esta cartera es mejor que la política actual, puesto que esa es la única diferencia entre Portfolio 1 y Portfolio 2. En concreto y atendiendo a los valores medios de la figura 4.5 la política Portfolio 2 baja 13 M\$ de media, lo que representa un 11% de bajada y además, con menor incertidumbre en los datos, con lo cual es previsible que esta bajada alcance incluso un 15% de ahorro.

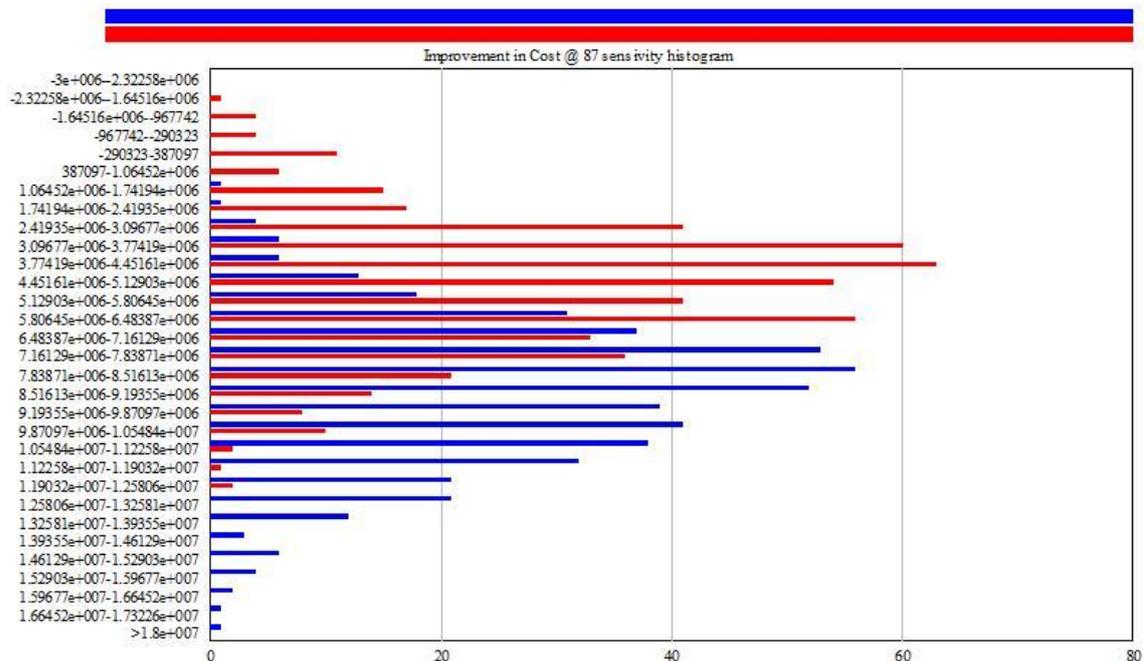


Figura 4.6 Histograma en Vensim

En la figura 4.6 se muestra cómo Vensim® ofrece a través de sus herramientas gráficas imágenes acerca de la distribución aproximada de los resultados similares a los de la distribución normal.

En el eje de abscisas aparecen los intervalos de costes, mientras que en el de ordenadas el número de simulaciones que se han situado en dicho intervalo.

En este caso se comparan las políticas Portfolio 1 y Current. Esta imagen se ha querido incluir para ilustrar otra de las posibilidades que Vensim® ofrece. Sin embargo, parece observarse que en los gráficos obtenidos con Excel a través del análisis estadístico de Vensim® se obtienen unos resultados mejor presentados y más fácilmente interpretables.

Otro de los indicadores principales a la hora de caracterizar el coste económico de una política será el coste por unidad suministrada. En la figura 4.7 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad realizado para las tres carteras a analizar de esta variable.

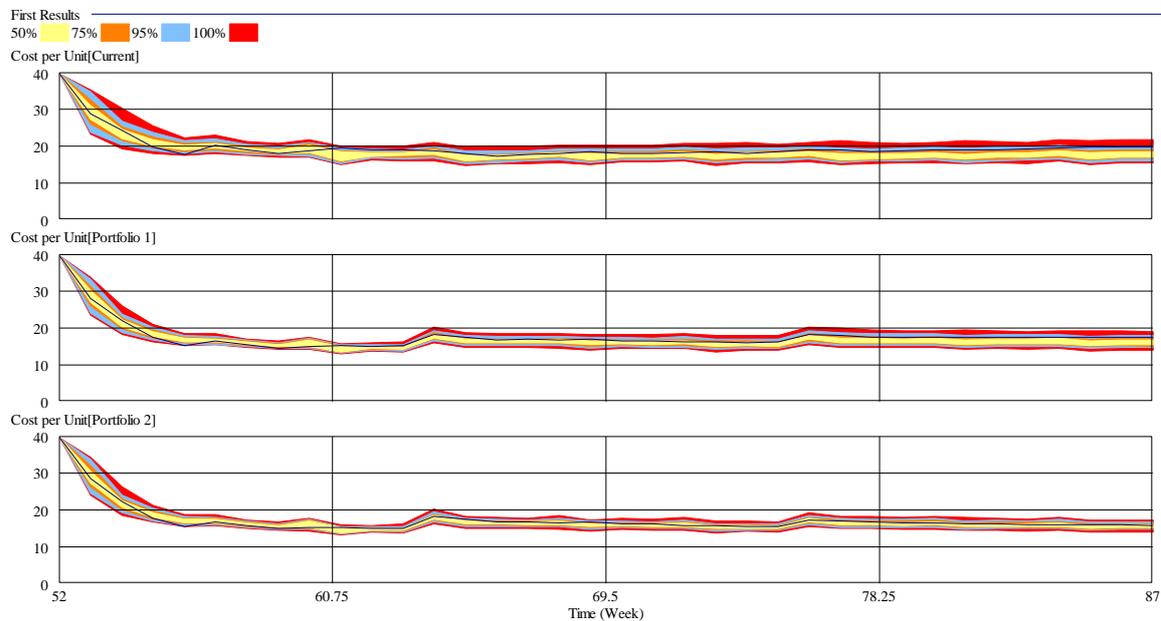


Figura 4.7 Análisis de sensibilidad del coste por unidad suministrada por cartera

Como ya se percibía en la figura 4.3, el coste por unidad baja de una política a otra. Esto se debe a que con los nuevos contratos en los que se incluyen mayores descuentos y mejores opciones para el fabricante los costes de compra bajan.

En esta imagen se percibe además, el efecto de los Forward Contract en los precios unitarios de los componentes. En la figura 4.7 puede apreciarse que en las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2, cada 12 semanas se produce un máximo local de precios. Esto se debe a que en ese momento se recalculan los precios y, por efecto de las fluctuaciones del mercado, se incrementa el precio por unidad de producto. De todas formas ese incremento no es muy significativo, aunque sí es una medida del impacto de dicha política en los costes.

Por último, se percibe también la tendencia de los precios a mantenerse dentro de unos niveles más o menos constantes, dado que el comportamiento de todas las franjas tiende a ser horizontal.

Si acudimos de nuevo a las herramientas de análisis estadístico de Vensim®, unidas con Excel, se obtendrá las siguientes distribuciones, ajustadas a la normal correspondiente, del coste unitario de los suministros.

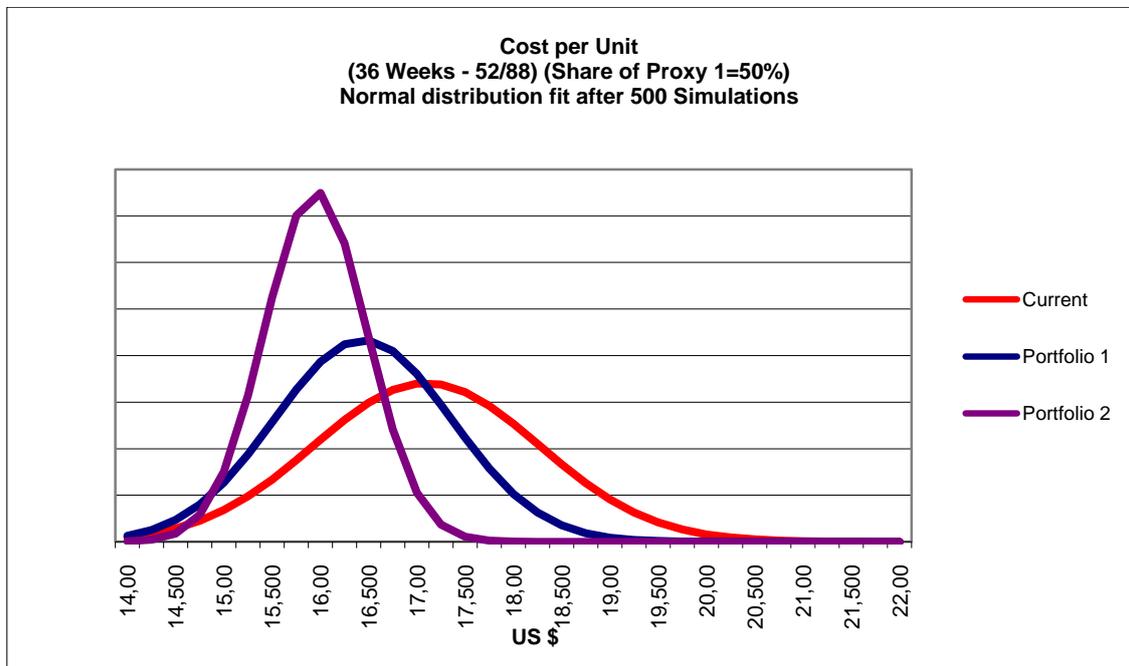


Figura 4.8 Resultados de la simulación, ajustados a la distribución normal.

En este gráfico se percibe con mayor claridad la tendencia del comportamiento del coste unitario.

En primer lugar vuelve a aparecer el estrechamiento de las distribuciones, más acusado para Portfolio 2. Esto significa que los resultados obtenidos para las nuevas carteras en las 500 simulaciones realizadas presentan una menor dispersión para las nuevas propuestas que para la situación actual.

El desplazamiento de las distribuciones hacia la izquierda es el que marca la bajada del precio medio por unidad. En concreto en la gráfica se ve cómo el coste unitario baja 1,5\$ de la política actual a Portfolio 2. Esto unido a la menor incertidumbre de los datos hace que esta política se perciba como una buena estrategia a intentar implantar en fábrica.

4.2.1.2 Análisis del coste de las nuevas políticas simuladas.

A continuación se analizará cada una de las políticas de contratación que se han introducido para cada proveedor. Antes de comenzar el análisis, comentar nuevamente el significado de cartera y de política en este proyecto. El término política de aprovisionamiento hace referencia a las diferentes estrategias que se proponen a cada proveedor a la hora de firmar el contrato de suministro de materiales. Una cartera se compone del conjunto de todas las políticas de aprovisionamiento simuladas para cada proveedor. Es decir, la cartera es el compendio de todas las políticas de aprovisionamiento existentes en la empresa.

Para tener una mejor referencia de los resultados se van a emplear los resultados tanto de una política en particular como aquellos que representan la tendencia a lo largo de las 500 simulaciones. Por lo tanto, el primer gráfico de este apartado será el que refleja los costes totales de aprovisionamiento para un escenario en particular.

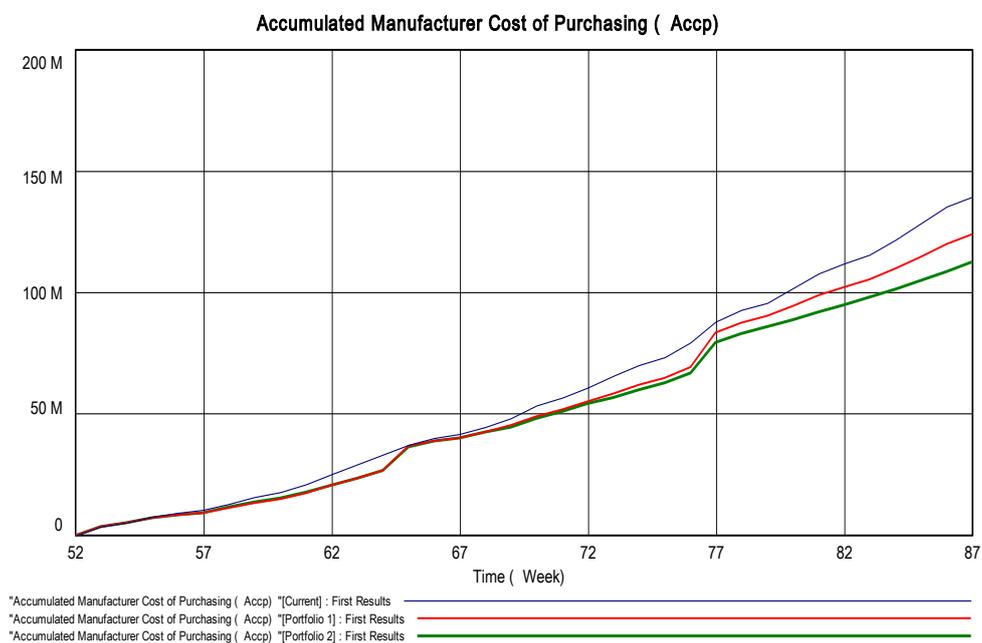


Figura 4.9 Coste Acumulado de compras para un escenario concreto

En esta gráfica pueden verse de manera aproximada los valores intermedios así como el coste final de todas las carteras de aprovisionamiento. Para conocer los valores exactos, acudimos nuevamente a Vensim®. El programa dispone de una herramienta que ofrece en una tabla los valores de

las variables que se representan semana a semana. En este caso, esta funcionalidad nos sirve para conocer el valor exacto del coste final de aprovisionamiento. En concreto, el coste total de cada cartera en este escenario es:

Accumulated Cost of Purchasing ($Accp_t$)	
Current	139,21
Portfolio 1	123,74
Portfolio 2	112,71

Tabla 4. 1 Costes totales de compra del escenario

Por último resaltar que se trata de valores para un escenario concreto. Para conocer la tendencia se emplearán los gráficos referidos a la distribución normal que siguen los costes tras las 500 simulaciones, como el que aparece en la figura 4.5.

4.2.1.2.1 Costes del Proveedor 1

Finalizada la introducción, pasamos a evaluar el impacto de las políticas simuladas para cada proveedor individualmente, comenzando por el Proveedor 1. Recordamos que para este Proveedor en las carteras Current y Portfolio 1 se sigue la misma estrategia, mientras que en la cartera Portfolio 2 se ha contemplado la opción de firmar un contrato que garantice un precio de compra máximo. Para mayor información, las políticas se encuentran desarrolladas con detalle en el punto 3.5 del proyecto.

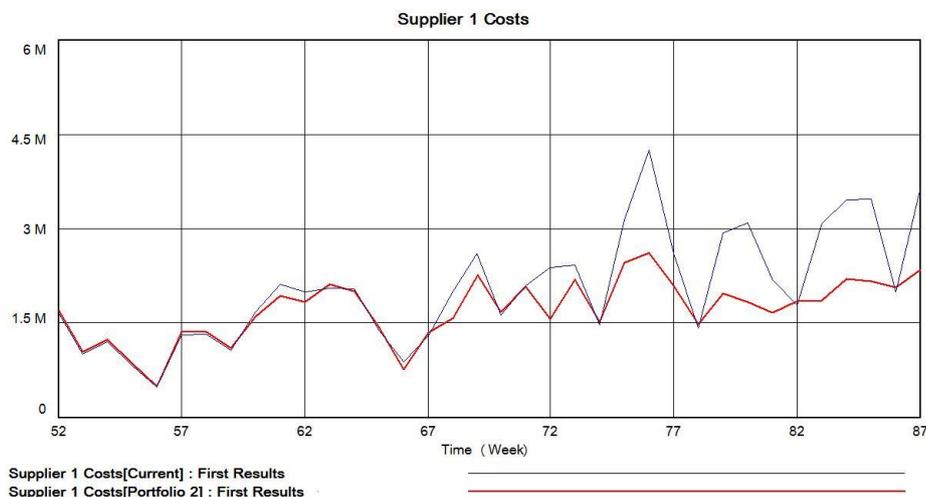


Figura 4.10 Coste semanal de compras para el Proveedor 1

En la figura puede percibirse la evolución que sigue el coste generado por las compras al Proveedor 1. La gráfica azul se corresponde con el coste semanal de la política actual, mientras que la roja representa el coste en el caso de la cartera Portfolio 2.

Como primer apunte, puede verse que en las primeras semanas de simulación los costes de aprovisionamiento son muy parecidos, llegando incluso a pagarse más con la política nueva que con la actual. Sin embargo, un incremento de los precios (que luego se analizará en posteriores apartados) hará que el nuevo contrato acabe siendo más rentable.

La evolución del coste acumulado está recogida en la figura 4.11. En ella se puede ver cómo el ahorro final que supone la cartera Portfolio 2 en el caso del Proveedor 1 asciende aproximadamente a 10M\$. Para calcular el valor exacto sólo hay que restar el coste acumulado de Portfolio 1 y de Portfolio 2, puesto que ambas carteras sólo se diferencian en las políticas empleadas con el Proveedor 1. El valor concreto es de 11,03 M\$. Esto supone un 42% del ahorro previsto en este escenario entre las carteras Current y Portfolio 2.

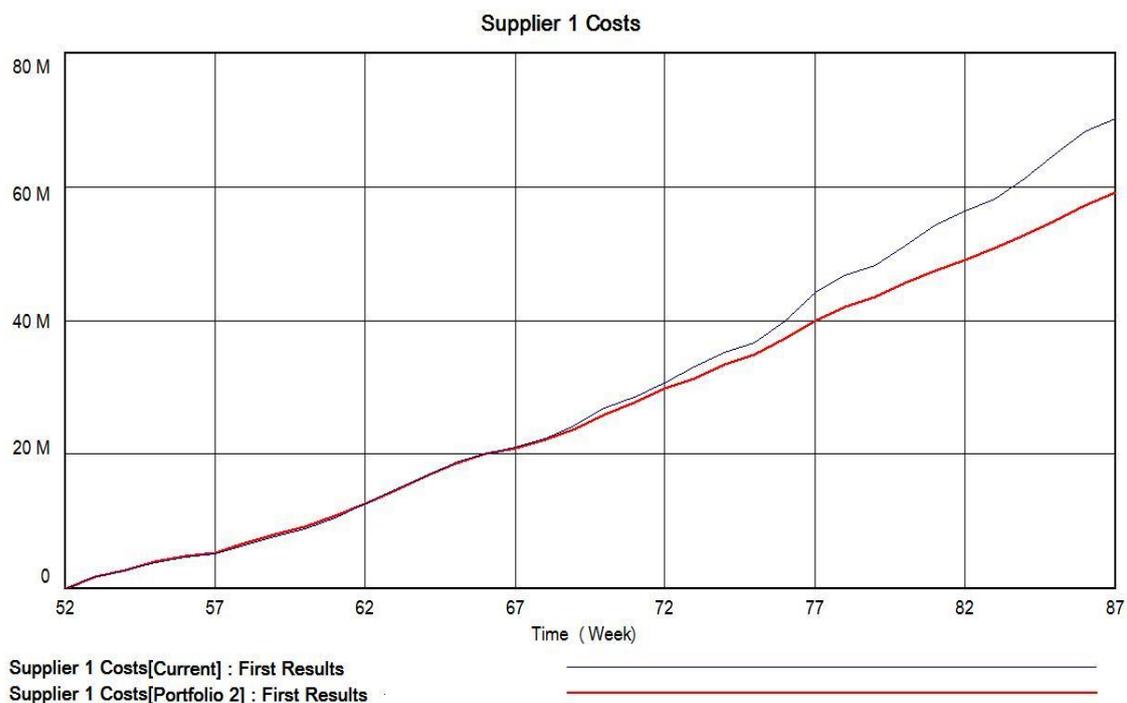


Figura 4.11 Coste acumulado de compras para el Proveedor 1

Para evaluar la tendencia que siguen los pagos al Proveedor 1 en las 500 simulaciones, empleamos la figura 4.12

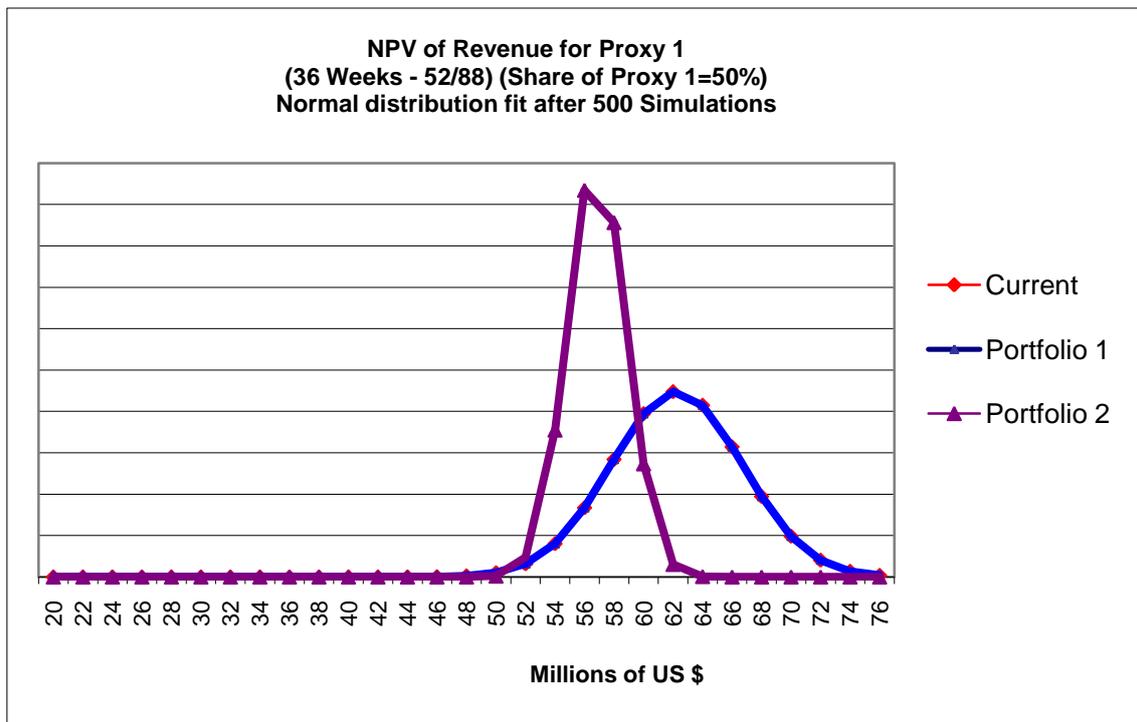


Figura 4.12 NPV de los ingresos del Proveedor 1

Como se aprecia en la imagen, los ingresos que percibe el Proveedor 1 disminuyen en el caso de la Cartera Portfolio 2 una media de 8 M\$ con respecto a la estrategia actual. Además, el comportamiento de este proveedor es mucho más fiable para cartera que para las otras 2. El motivo no es otro que el ancho de las distribuciones, sensiblemente inferior para Portfolio 2.

Por último, señalar la diferencia entre los resultados estadísticos y los del escenario concreto. Una diferencia de 5 M\$ supone casi un 50% con respecto al ahorro que se calculó en el escenario First Results. Eso remarca la importancia de los análisis de sensibilidad y los análisis estadísticos, porque sólo así se podrá conocer la verdadera tendencia que siguen las variables en el modelado. Tomando escenarios particulares se corre el riesgo de que éstos no sean lo suficientemente representativos.

4.1.2.1.2 Costes del Proveedor 2

La estrategia que se ha modelado para el proveedor 2 buscaba bajar los costes de aprovisionamiento a través de conseguir descuentos en los precios

de compra. Dichos descuentos tendrán como contrapartida reducciones de inventario y mejoras en los tiempos de pago que, como se verá en próximos apartados incidirán en los requerimientos de capital circulante.

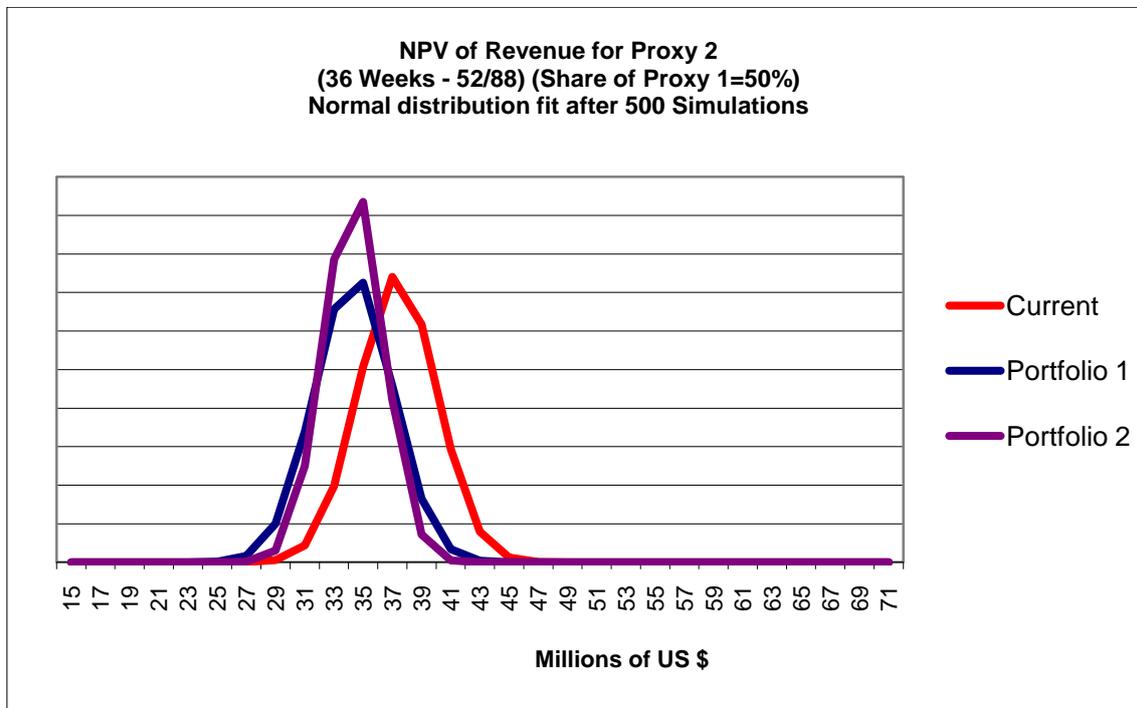


Figura 4.13 NPV de los ingresos del Proveedor 2

En la figura 4.13 se observa la tendencia que han seguido los ingresos del Proveedor 2 a lo largo de las 500 simulaciones.

Lo primero que se observa es la bajada en los costes que se produce empleando las nuevas condiciones de compra. En concreto la media de costes de aprovisionamiento disminuye en torno a 2 M\$ (de 38 a 36). Esto representa una bajada del 5,5% respecto a los costes actuales generados por este proveedor.

En segundo lugar, era de suponer que las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2 se solaparan, pues en ellas la definición de los costes y las órdenes de compra es la misma. Esto sucede en términos de valores de los costes. La diferencia que se ve en ambas gráficas la da el grado de incertidumbre presente en cada cartera. Tanto el ancho de la gráfica como el alto de la misma hacen ver una vez más que Portfolio 2 ofrece unos resultados más robustos frente a la incertidumbre presente en el modelado.

Para finalizar comentar que, en términos absolutos los costes que genera el Proveedor 1 son mucho mayores que los generados por el Proveedor 2. Esto se debe principalmente a la demanda que suministra cada uno, aunque también está presente la influencia de los precios empleados para el cálculo del valor final de los componentes.

4.1.2.1.3 Costes del Proveedor 3

Finalmente, este apartado concluye con el análisis de costes generados por el Proveedor 3. Hay que recordar que este proveedor es el de menor tamaño de todo. En el modelado se apostó por ofrecerle una política de contratación basada en el concepto de Forward Contract. Esta estrategia consistía en ofrecerle suministrar una demanda, revisable cada 3 meses pagada en su totalidad por adelantado. Además, se le ha eliminado cualquier tipo de obligación en lo que respecta a inventario. Como contrapartida se ha solicitado un descuento de un 30%. Las posibilidades de poder aceptar esta oferta vendrán dadas por los beneficios que perciba el proveedor a través de la disminución de las necesidades de capital circulante.

En primer lugar se muestra una figura en la que se puede ver el cambio en la configuración de las unidades demandadas al proveedor 3 con la política actual respecto a la nueva.

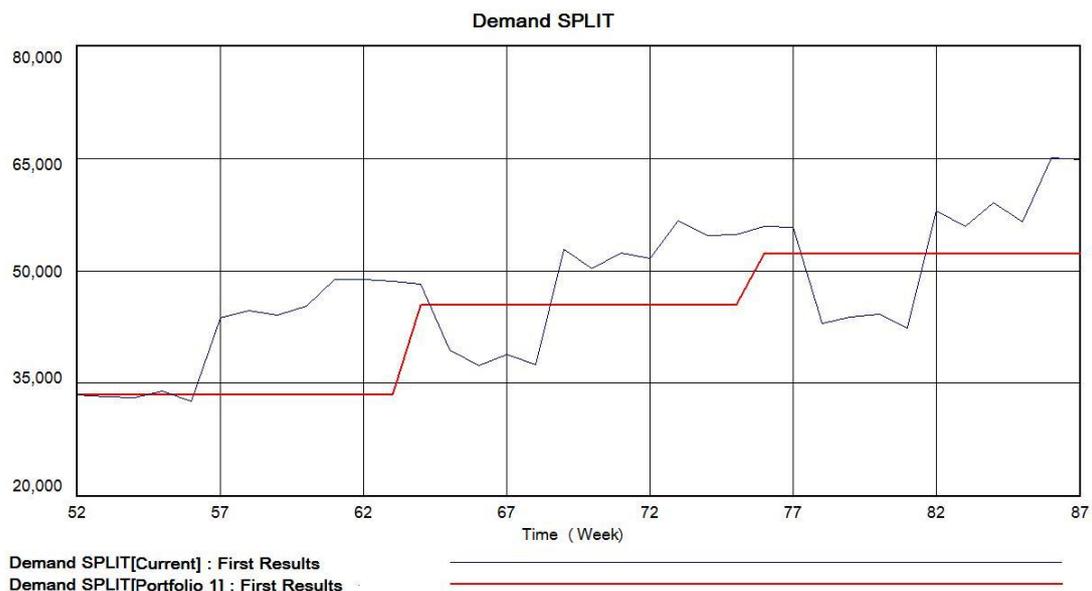


Figura 4.14 Demanda solicitada al Proveedor 3

En esta imagen puede verse mejor la circunstancia comentada anteriormente. La demanda actual está sometida a muchas fluctuaciones, mientras la solicitada en los nuevos escenarios mantiene un valor constante que es revisado trimestralmente, lo cual para un pequeño proveedor ofrece grandes ventajas para la planificación de su proceso.

En la figura siguiente aparece la distribución normal de los costes de aprovisionamiento causados por las compras al Proveedor 3.

En ella se puede observar cómo la política 2 y 3 se solapan. Al ser constante la cantidad demanda, la influencia de la incertidumbre del resto de las variables afecta a ambas carteras con lo que se produce el solapamiento de ambas gráficas. Esta es una diferencia importante con la distribución del proveedor anterior, en la que la variabilidad de la demanda afectaba a las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2 de manera distinta.

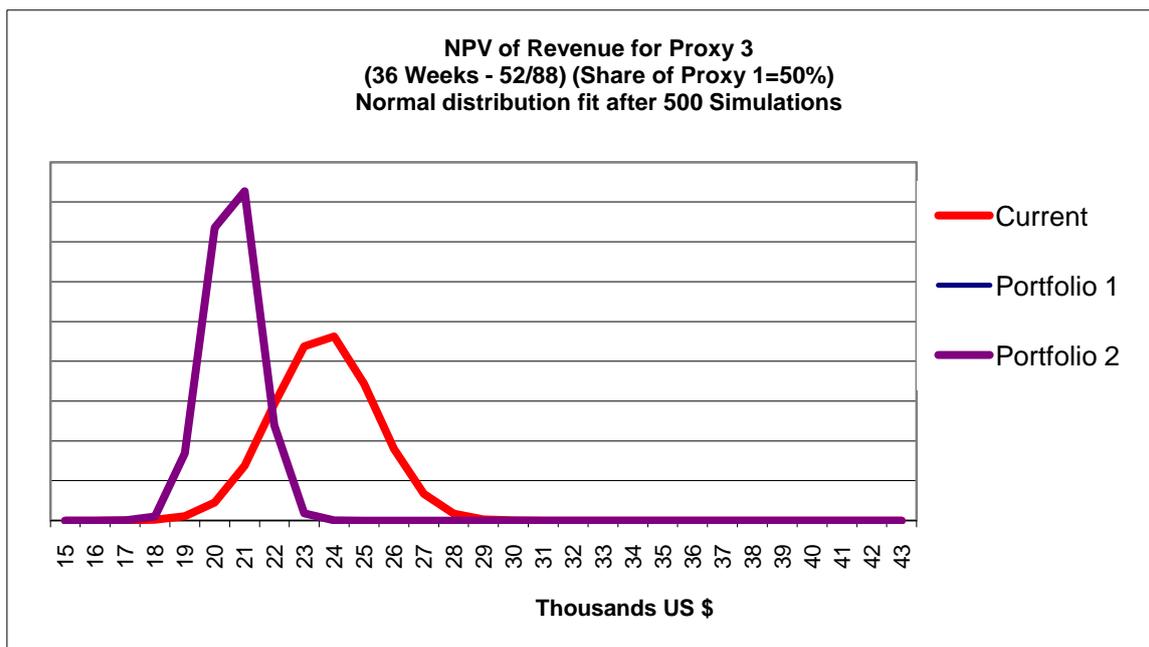


Figura 4.15 NPV de los ingresos del Proveedor 3

Así mismo, uno de los aspectos más llamativos de la gráfica es la disminución de costes. Siempre atendiendo al valor medio, la bajada aproximada se sitúa en torno a 2 M\$, lo que representa un 9% de bajada con respecto al valor actual de la variable.

Un aspecto favorable será también la bajada de la incertidumbre en los resultados, reflejada una vez más en la morfología de las gráficas.

Con este punto concluye el apartado dedicado al análisis de costes. En él se ha podido ver como resultado más importante la bajada de costes que supone la cartera Portfolio 2 con respecto a la actual. Además, se ha constatado que Portfolio 1 también es una opción que disminuye costes y mejora incertidumbres.

A través de los análisis de sensibilidad se ha podido comprobar la afectación de la aleatoriedad del modelo en los resultados. Desde el punto de vista del fabricante estos resultados se han valorado como muy positivos, puesto que al no solaparse casi en ningún momento las políticas nuevas la actual la garantía de disminución de costes es alta.

A continuación en los siguientes puntos se ofrecerán otras variables de interés para el fabricante.

4.2.1.3 Análisis del Backlog

Al tratar el proyecto sobre aprovisionamiento de componentes críticos, el Backlog se ha considerado una variable clave para el modelo. Hay que recordar que el Backlog se ha definido como el número de unidades requeridas por el fabricante y no suministradas por los proveedores. Con ello se puede tener una idea bastante aproximada del nivel de servicio de los proveedores con la empresa.

Las estrategias empleadas para bajar los costes del aprovisionamiento se han basado, entre otras cosas, en bajar los niveles de inventario requeridos a algunos proveedores. Como consecuencia de ello pueden producirse roturas de stock. Esto en la actualidad no pasaba debido a que los inventarios demandados a todos los proveedores estaban sobredimensionados. Este exceso de celo es una de las razones principales de que los costes actuales sean tan elevados respecto a las otras políticas.

En la figura 4.16 se va la distribución del backlog en la actualidad.

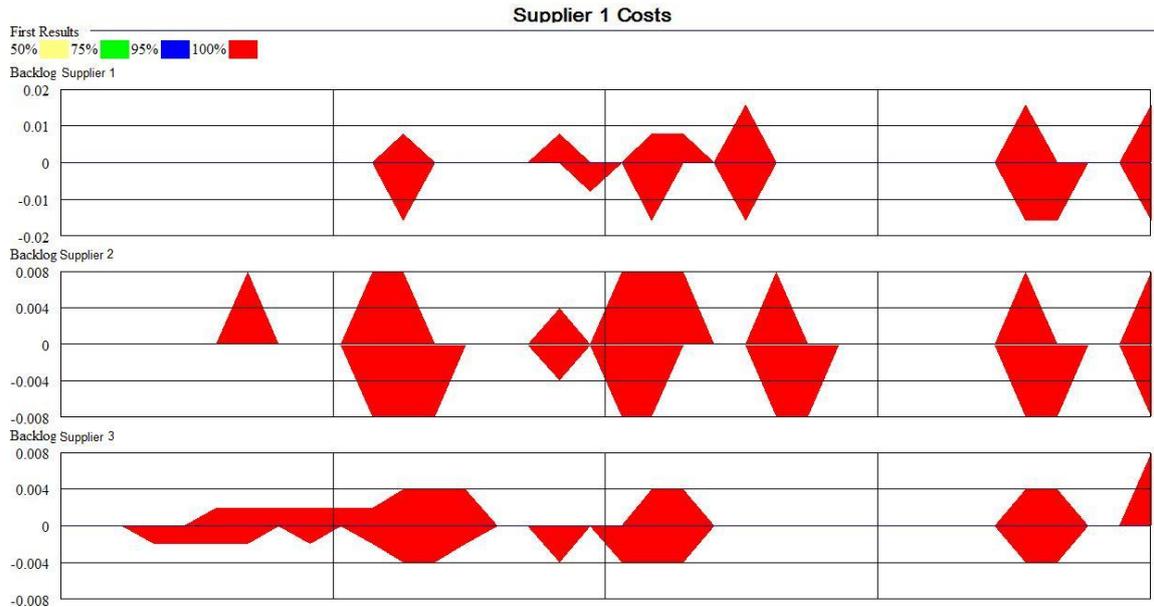


Figura 4.16 Backlog producido por las políticas actuales

En la imagen puede verse cómo no se produce ningún tipo de backlog, puesto que sólo para los casos extremos se presentan valores que son además menores a una unidad.

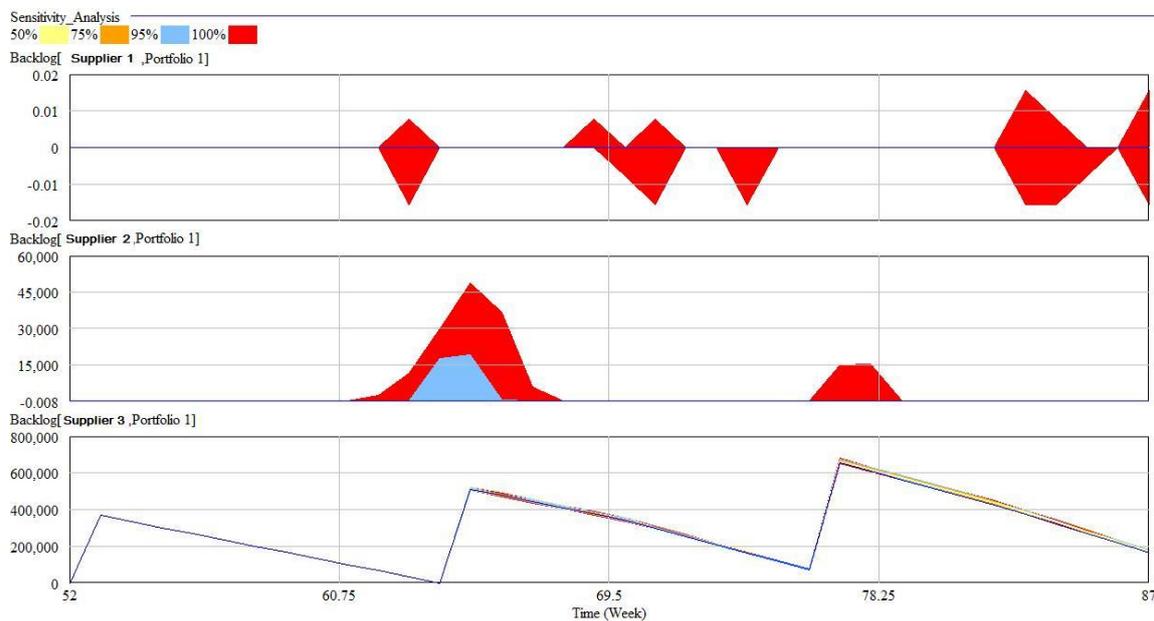


Figura 4.17 Backlog producido por las nuevas estrategias de aprovisionamiento

En la figura 4.17 aparecen sin embargo valores de backlog que pueden suponer un problema para la empresa.

En primer lugar van a analizarse los valores del Backlog que aparecen para el Proveedor 3. Aunque en un principio puedan parecer altos, estos valores no se corresponden con la realidad. La definición de la variable se hizo teniendo en cuenta el contrato que se ha firmado con el Proveedor 3. Como éste recibía a principio de trimestre las unidades que tenía que suministrar en los 3 meses. Esa demanda se suministrará con una tasa constante a la semana. Es por ello que al inicio de cada trimestre aparece una gran cantidad que está pendiente de suministro, pero que irá siendo enviada semana a semana. Es por ello que los valores de la figura 4.17 no se corresponden con una situación real sino que son un resultado del modelado de las distintas variables.

En los que se refiere al Proveedor 2 el gráfico sí que muestra la realidad de la evolución del Backlog. En la siguiente figura aparece ampliado el estado en el que se encuentra esta variable a raíz de las nuevas políticas aplicadas.

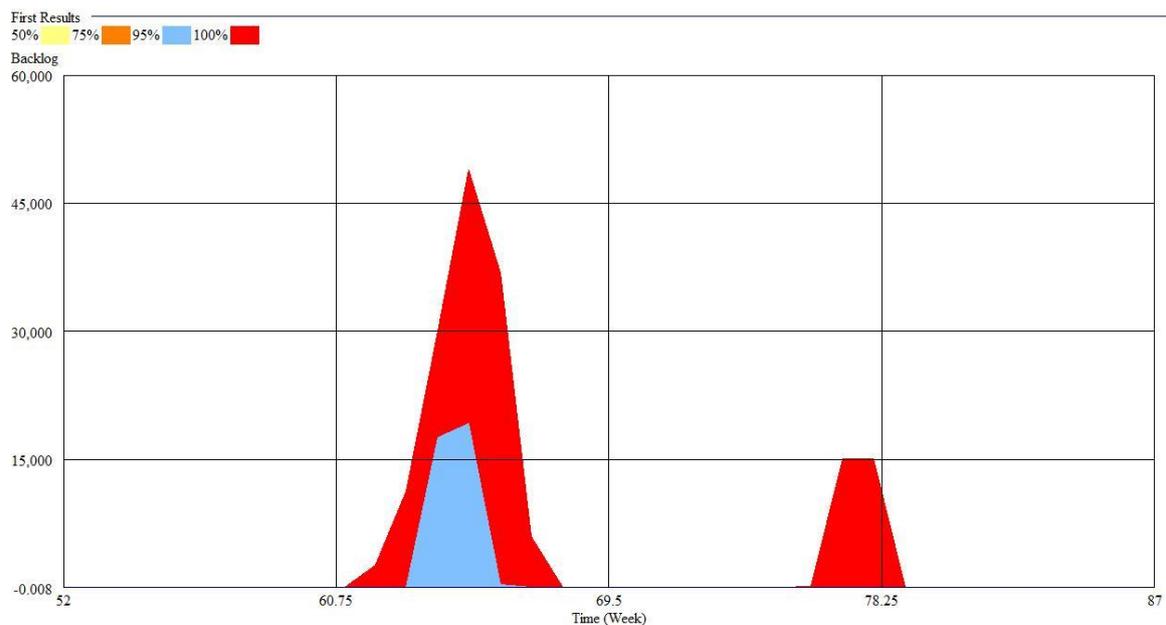


Figura 4.18 Backlog del Proveedor 2 en las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2

En esta imagen se detecta la posibilidad de que aparezca Backlog en el caso de llevar a cabo las nuevas estrategias de contratación. La posibilidad de que se genere Backlog no es muy alta. Del análisis de sensibilidad mostrado en la figura 4.18 se concluye en el 75% de las simulaciones no se produjeron situaciones en las que la demanda de fábrica no fuera satisfecha. Así mismo, en el 95% de las simulaciones sólo se produjo Backlog en un intervalo concreto

de tiempo y el valor máximo del mismo fue de aproximadamente 20.000 unidades.

El caso más desfavorable está recogido en la franja roja de la figura, con un valor máximo de 47.000 unidades. Hay que resaltar que este escenario sólo sucede en el 5% de las ocasiones.

A pesar de lo que la estadística pueda indicar, el backlog supone un grave problema para la empresa. El trabajar con componentes críticos exige unos niveles de servicio lo más próximos posible al 100%. Para conocer el impacto que estas unidades no suministradas puede tener en el fabricante conoceremos en primer lugar las unidades que el Proveedor 2 suministra en un escenario cualquiera para tener una idea del porcentaje de unidades no servidas respecto al total.

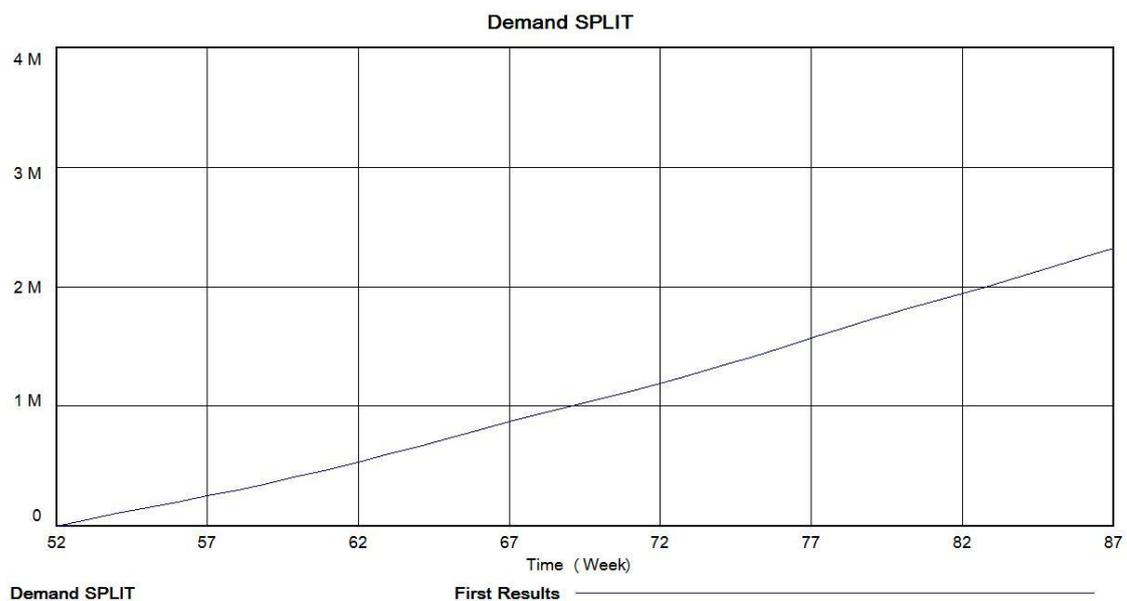


Figura 4.19 Demanda solicitada al Proveedor 2

En la imagen se aprecia como al Proveedor 2 se le demandan en este escenario particular cerca de 2,25 millones de unidades. Esto hace que las aproximadamente 47.000 que no se sirven representen el 2% de las unidades demandadas a este proveedor.

Otra comparación interesante se obtiene calculando el número total de unidades suministradas a la fábrica.

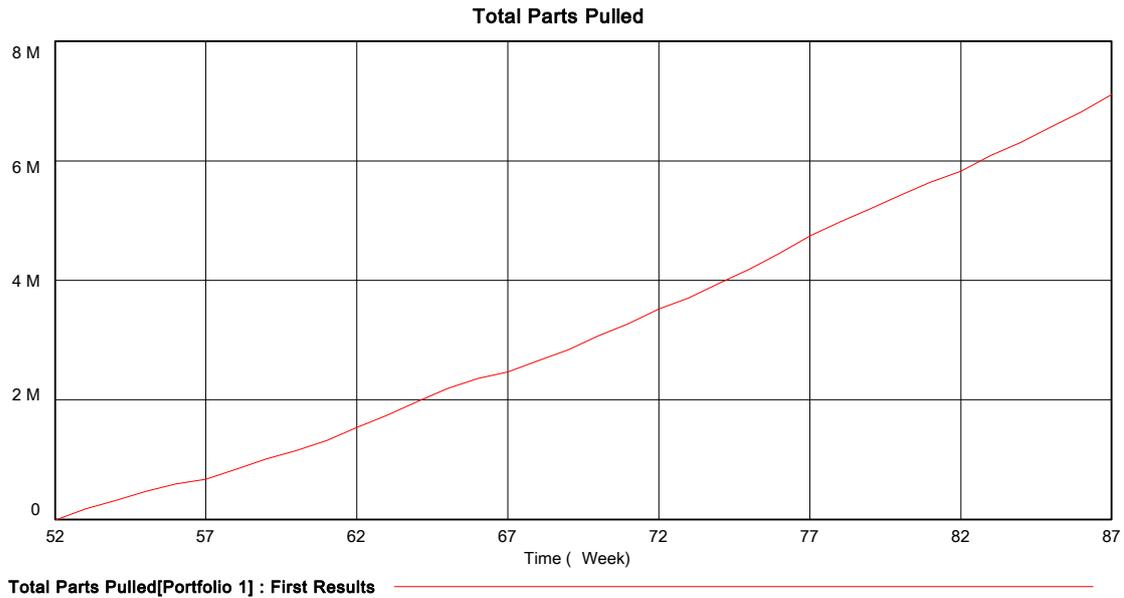


Figura 4.20 Total de unidades suministradas a la fábrica

Para ello acudimos a la variable Total Parts Pulled, cuya gráfica se muestra en la figura 4.20. El número total de unidades suministradas a fábrica alcanzó el valor de 7,103 millones. Esto hace que el backlog máximo que aparece en el modelo represente un 0,7%. Este valor además sólo se presenta en el 5% de los casos. No obstante, debido a la criticidad del proceso la admisión de estos valores o el remodelado de la cartera será una decisión que dependerá de los gestores de la fábrica.

Tras el análisis de los resultados anteriores se tomó la decisión desde la gerencia de tomar como admisible la aparición de Backlog en el modelo en los términos en los que aparece en el mismo. A la hora de tomar esa decisión se tuvieron en cuenta la escasa influencia de los valores de backlog sobre el global de las métricas de la fábrica así como el escaso porcentaje de aparición del mismo.

4.2.1.4 Análisis de los niveles de inventario

Una de las variables más importantes a la hora de trabajar con componentes críticos para el proceso de fabricación es el inventario. La inclusión de las nuevas políticas de contratación tiene un efecto inmediato en los niveles de inventario que debe ser analizado.

Atendiendo a las condiciones de los nuevos contratos, la tendencia de los niveles de inventario debe ser a la baja con respecto a los valores actuales. Una primera pista de este comportamiento la da la aparición de Backlog en algunos escenarios que se comentó en el apartado anterior. El motivo de esta bajada no es otro que la relajación de las exigencias a los Proveedores 2 y 3. En el caso del primero se elimina el inventario de seguridad adicional (Upside Flex), con lo que se reduce en un 30% los valores de inventarios requeridos. Al Proveedor 2 se le elimina directamente cualquier exigencia. Por ello los niveles deberán de disminuir. En la figura 4.21 puede verse un análisis de sensibilidad para el inventario propiedad de los proveedores (VMI). Los resultados para las dos carteras nuevas son idénticos en este apartado porque las variables que afectan al inventario son iguales en ambas, con lo que en la gráfica se incluye solo una de las nuevas propuestas para poder ver mejor los resultados.

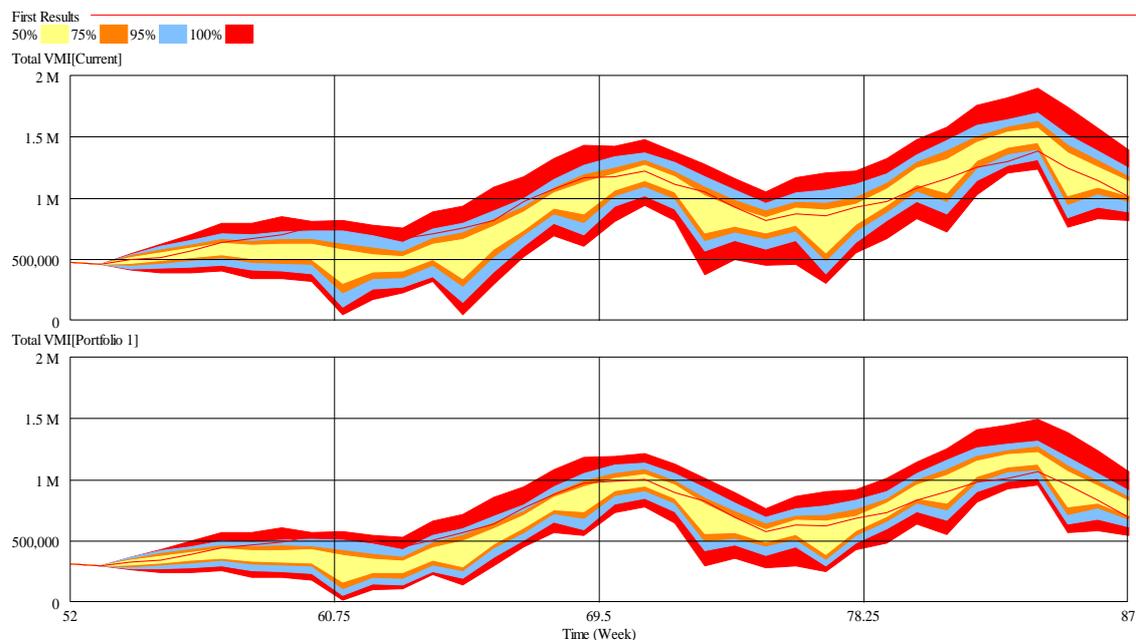


Figura 4.21 Análisis de sensibilidad para VMI.

En la figura puede verse cómo los valores de inventarios almacenados en VMI disminuyen con las nuevas políticas. Hay que recordar que desde el punto de vista del proveedor esto supone un ahorro importante, puesto que era éste el que asumía los costes de las unidades allí almacenadas. Para el fabricante supone menos costes por el hecho de que se producen menor número de unidades, como se verá mejor en apartados posteriores. Además, en las próximas imágenes se verá como el menor número de unidades almacenadas en VMI hace que disminuyan también el LLI, de cuyos costes se responsabiliza el fabricante.

En lo referente a la incertidumbre, puede verse que los niveles esperados de inventarios son más fiables en el caso de las nuevas políticas, por el ancho de las bandas.

Otro aspecto importante es que para el caso de las nuevas políticas, existe la posibilidad que el inventario se quede a cero. Esto va directamente vinculado al Backlog comentado en el apartado anterior. Por lo tanto para analizar las consecuencias de la rotura del inventario consúltese el punto inmediatamente anterior a éste.

Por último, una característica en la que ambas políticas parecen coincidir es en la tendencia que toman los valores, pues ambas gráficas presentan una morfología parecida.

Una vez realizado el análisis sobre el inventario más importante del que se dispone por tamaño, pasamos a ver el comportamiento del resto. Hay que resaltar que para el fabricante, a nivel de costes LLI y LOI son más importantes, puesto que las unidades allí almacenadas repercuten en su economía. Sin embargo, desde el punto de vista del proceso de suministro es mucho más importante VMI por el número de unidades almacenadas en cada uno.

Comenzando por LOI, hay que recordar que este inventario es 100% propiedad de la empresa, tanto las instalaciones donde se almacena como las unidades que contiene. En el modelo es del primero del que se toman los componentes. Hay que recordar que sólo se llena si se realizan compras por

adelantado. Si quieren conocerse más detalles de su funcionamiento consúltense el apartado 3.2.5 del proyecto.

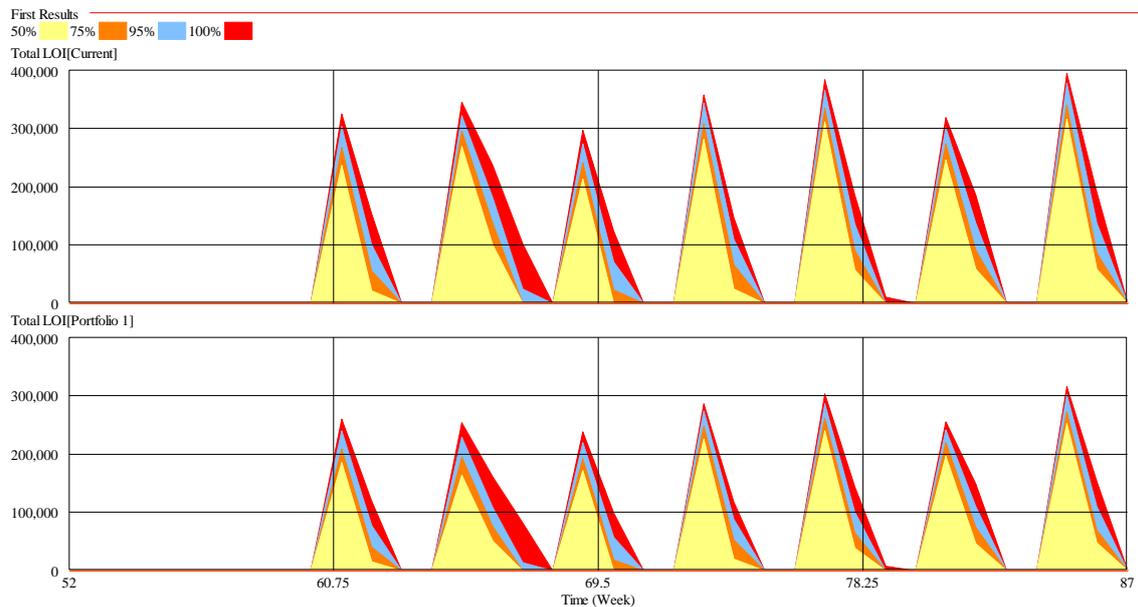


Figura 4.22 Análisis de sensibilidad para LOI

En la figura 4.22 se ve el análisis de sensibilidad realizado para esta variable. En él se puede ver cómo los niveles de inventario almacenado disminuyen en números absolutos, aunque esta opción sigue ejecutándose prácticamente a principios de cada mes.

El comportamiento triangular sucede como efecto de la representación, al comprar a inicios de cada mes y ser el primero en consumirse, antes de la compra está vacío y luego se va llenando paulatinamente.

En la imagen se percibe también como el efecto de la incertidumbre es escaso en esta variable, al estar las franjas muy pegadas entre sí. Este efecto es el mismo para ambas políticas, a diferencia de lo que ha venido sucediendo en otros gráficos del modelo.

La disminución del número de unidades almacenadas en esta localización tendrá un efecto inmediato en la disminución de los costes, lo que representa una ventaja más de las políticas de aprovisionamiento sometidas a análisis.

Por último sólo queda hablar de las unidades almacenadas en LLI. Hay que recordar que en este almacén se sitúan las unidades que fueron demandadas

inicialmente al proveedor pero que luego no fueron requeridas pasadas las 6 semanas. Las unidades se almacenan en la misma ubicación que VMI, pero los costes corren a cargo del fabricante. Es por ello que de nuevo es de desear que las unidades situadas en este punto sean las mínimas posibles. Este almacén servirá además para saber cómo las cantidades demandadas al proveedor se ajustan a las solicitadas desde fábrica. Para hacer este análisis hay que tener en cuenta las que se compran por adelantado (Ab_t) y que suponen un posible desajuste. A pesar de ello supone una buena medida de fiabilidad del ajuste demanda-pulls del fabricante.

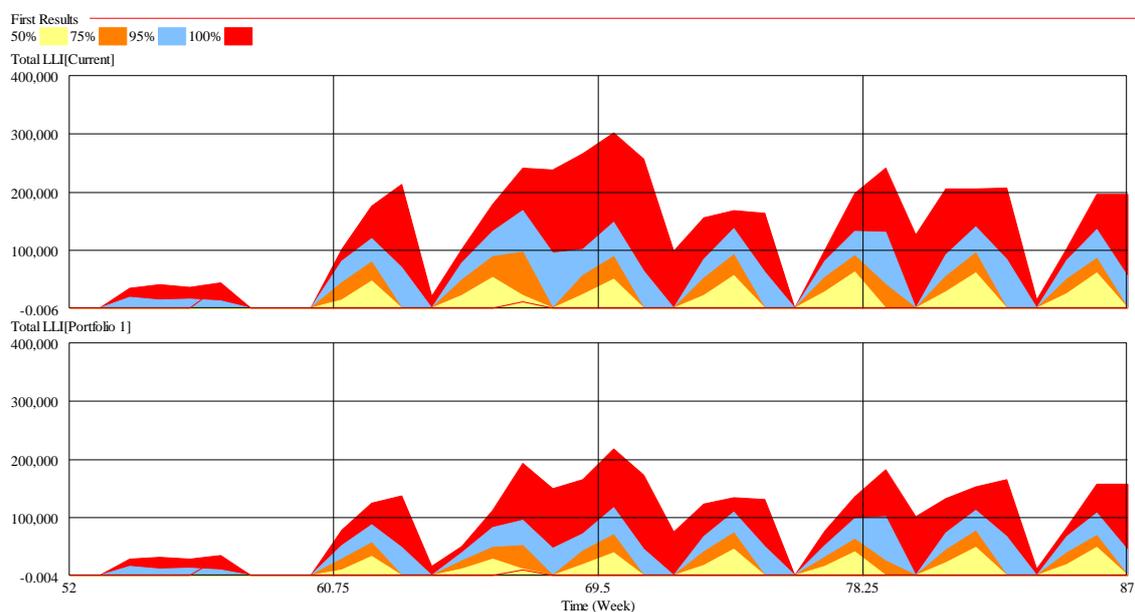


Figura 4.23 Análisis de Sensibilidad para LLI

Lo primero que se ve nuevamente es una bajan las unidades almacenadas en esta instalación. Esto revertirá, como en el caso anterior, en una disminución de costes para el fabricante. Además permitirá a los proveedores alojar unidades para otros fabricantes.

La disminución supone también que las nuevas cantidades demandadas se ajustan mejor a las necesidades de la fábrica que las que se solicitaban anteriormente.

En lo referente al análisis estadístico de la evolución de la variable, LLI muestra un comportamiento más aleatorio que las anteriores. Esto puede verse como efecto del amplio margen existente entre las franjas del análisis de

sensibilidad. Eso sí, las franjas que recogen el 95% de las probabilidades sí están más cercanas entre sí, especialmente para las nuevas políticas. Son los posibles resultados de probabilidad marginal los que dan más incertidumbre al análisis.

El comportamiento de la variable como tal es análogo en ambas gráficas. El almacén tiende a llenarse y vaciarse de forma cíclica. En ambos escenarios los máximos de unidades almacenadas se mantienen dentro de unos valores aproximadamente constantes, lo que da lugar a gráficas tipo “dientes de sierra”.

En definitiva, la tendencia que sigue el inventario es a disminuir como efecto de las nuevas políticas, aunque la forma de comportarse de las variables que caracterizan los inventarios sigue la misma tendencia que en las políticas actuales.

La disminución de costes por efecto de la bajada de inventario será uno de los aspectos positivos de las nuevas políticas para el fabricante y uno de los efectos que éste deberá mostrar a los proveedores a la hora de que éstos acepten ser partícipes de los nuevos contratos.

4.2.1.4 Otros resultados interesantes para el fabricante

4.2.1.4.1 Análisis de Precios

El problema de la previsión de los precios reales de los componentes fue uno de los puntos más conflictivos a la hora de elaborar el modelo. El fabricante suministró una previsión demasiado estable, en la que no se recogían las fluctuaciones propias del mercado de componentes que se está estudiando. Para solventar ese problema y contar con un escenario de precios más ajustado a la realidad, en el proyecto se abordó la construcción de un modelo de generación de precios que permitiera al fabricante estar más seguro en sus predicciones.

En primer lugar se va a mostrar una gráfica con la evolución de la previsión suministrada por el fabricante frente a la variable Real Price, que recoge el precio previsto en el modelo frente a la previsión suministrada por el fabricante. En ella se puede ver cómo frente a la estabilidad existente en las previsiones, que varían cada mes (periodo de revisión) la variable Real Price sufre

alteraciones semanales, más acusadas además, que hacen que se corresponda mejor con la evolución del precio de los componentes en el mercado.

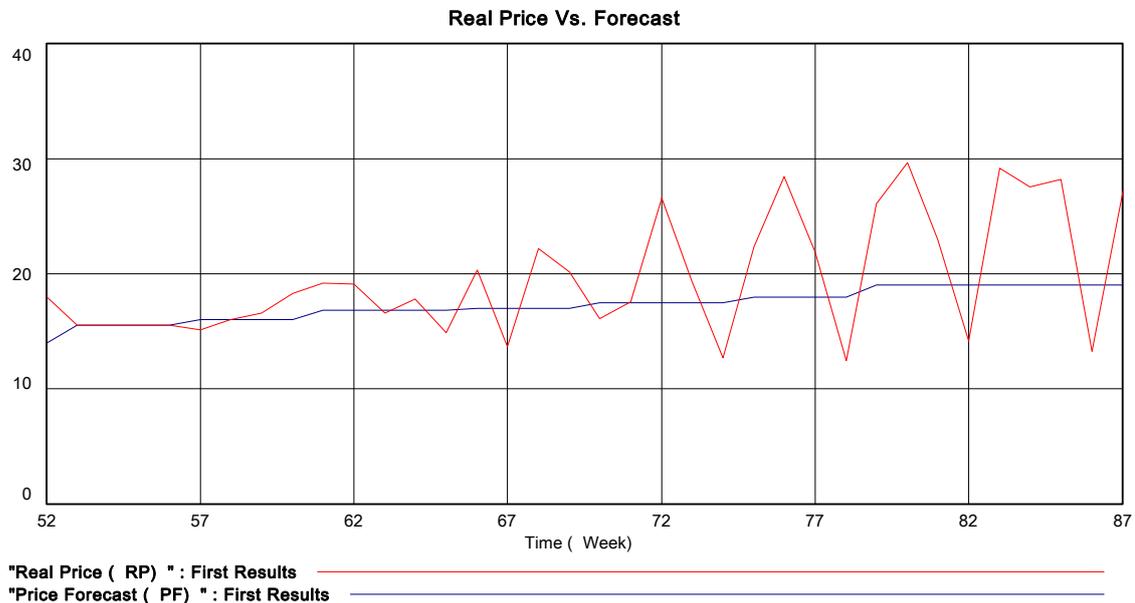


Figura 4.24 Precio Real para el modelo frente a la previsión del fabricante

Como puede verse, a partir de las 56 semanas de simulación, que es cuando se deja de emplear el histórico de datos, se producen acusadas fluctuaciones, tanto al alza como a la baja que hacen que el modelo se ajuste mejor a la realidad del mercado.

En lo que respecta a la fiabilidad de los resultados, en la siguiente imagen aparece el análisis de sensibilidad realizado en el modelo sobre el precio calculado para el modelo.

En la figura 4.25 se observa cómo la franja de confiabilidad del 75% se corresponde con los estudios que se hicieron conjuntamente con la empresa para validar el modelo de previsión de precios.

Cuando se tienen en cuenta el 95% de las simulaciones el resultado sufre un desajuste mayor del esperado. Esta discrepancia se hace más acusada si se tienen en cuenta el 100% de las simulaciones, aunque estos datos representan resultados marginales.

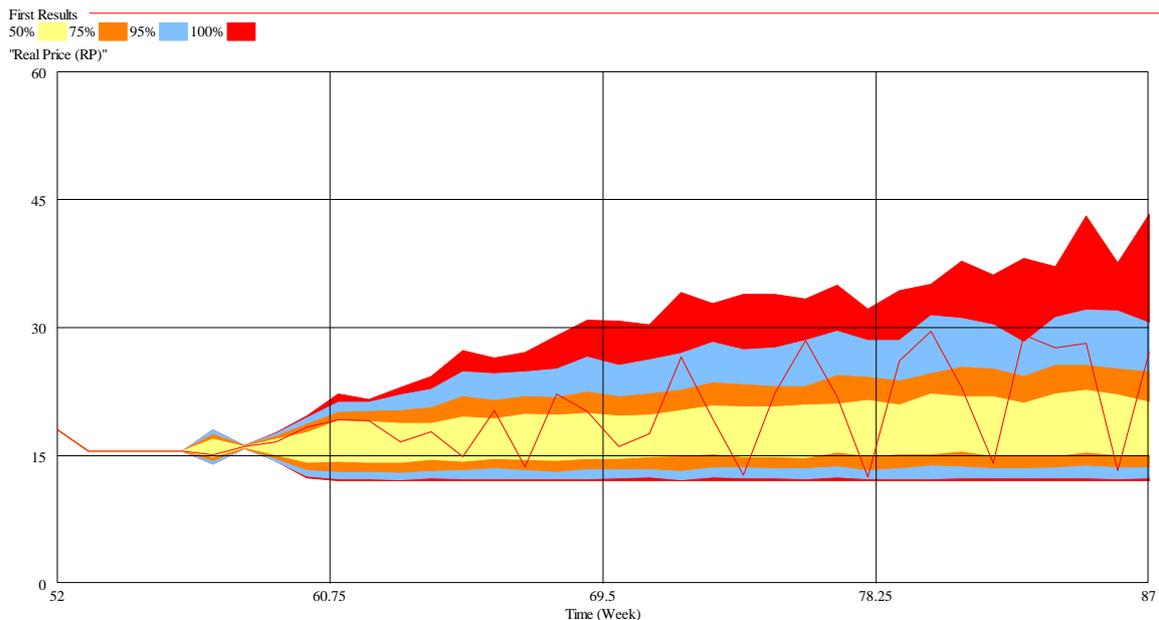


Figura 4.25 Análisis de sensibilidad para Real Price

Tras presentar estos resultados a la gerencia de la empresa se llegó a la conclusión de que el modelo simula adecuadamente el comportamiento del mercado de suministros y que las fluctuaciones extremas son asumibles por su escasa posibilidad de aparición. Además, estos valores extremos, especialmente los más elevados son positivos para conocer la robustez del modelo. El comportamiento del sistema frente a una posible subida brusca de precios. Desde la dirección se valoró positivamente el comportamiento del modelo frente a este escenario de incremento brusco de precios.

4.2.1.4.2 Evolución conjunta de la tasa de fabricación y la demanda

La tasa de fabricación de los proveedores es una de las variables más importantes a la hora de conocer los efectos sobre las unidades disponibles para la fábrica. Esta variable se ve afectada principalmente por 2 parámetros, la demanda y las necesidades de inventario. La demanda es una variable de seguimiento fundamental para la empresa, pero por sí misma no es capaz de mostrar cómo las nuevas políticas afectan a las unidades suministradas. Esto se debe a que la previsión de la demanda no tiene en cuenta las necesidades de inventario. Aquí es donde entra en juego la tasa de fabricación, porque permite disponer de una visión conjunta de los efectos del modelo sobre la demanda y el inventario. En las siguientes gráficas se verá la evolución de la

tasa de fabricación de cada proveedor para las 3 carteras simuladas en el modelo. Los resultados ofrecidos son:

- Análisis de sensibilidad para la demanda solicitada a cada proveedor.
- Análisis de sensibilidad de la tasa de fabricación de cada proveedor.
- Gráfico de tasa de fabricación del proveedor en cada cartera en un escenario concreto.

4.2.1.4.1 Evolución para el Proveedor 1

En primer lugar se presenta el análisis de sensibilidad de la demanda solicitada al Proveedor 1 en las carteras Current y Portfolio 1, que presenta idénticos resultados para esta variable que Portfolio 2 e incluyendo solo una se consigue una mejor resolución de los gráficos. Esta práctica se hará en todos los análisis de sensibilidad presentes en este punto.

Lo primero que se observa en la figura 4.25 es que la banda de incertidumbre es más estrecha que en anteriores casos. Esto hace que las previsiones de este apartado sean las más fiables que las presentadas anteriormente, desde el punto de vista de la incertidumbre del modelo.

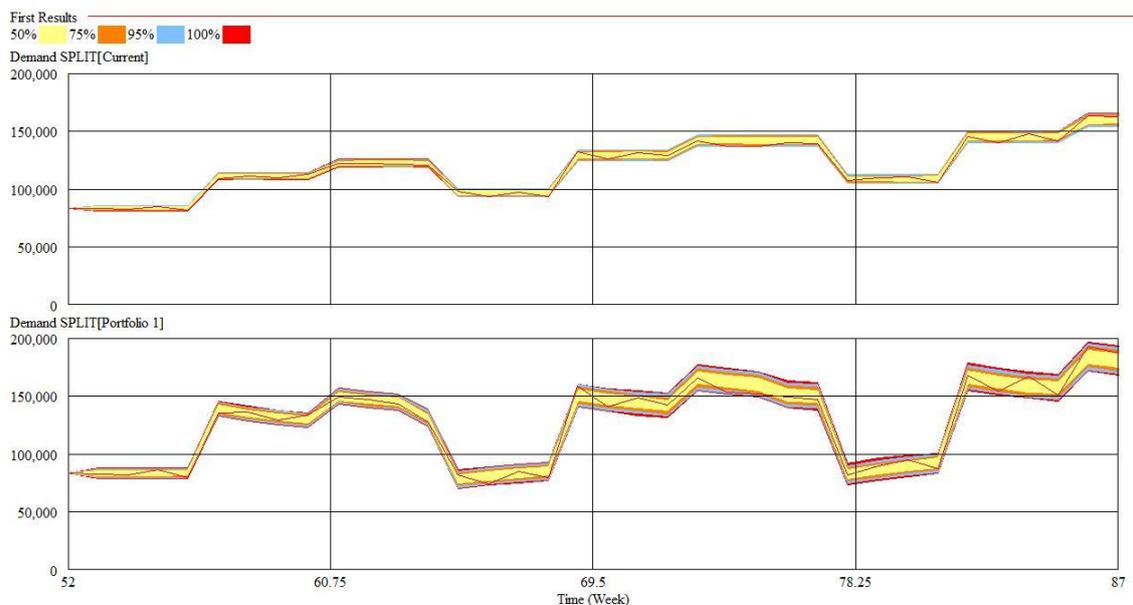


Figura 4.26 Análisis de sensibilidad para la demanda al Proveedor 1

En el aspecto cuantitativo se observa cómo los valores demandados son menores en la cartera actual, mientras que aumentan para las nuevas políticas a simular. Como ejemplo de esta tendencia se adjunta la figura 4.27, en la que se observa este mismo comportamiento un una simulación en particular.

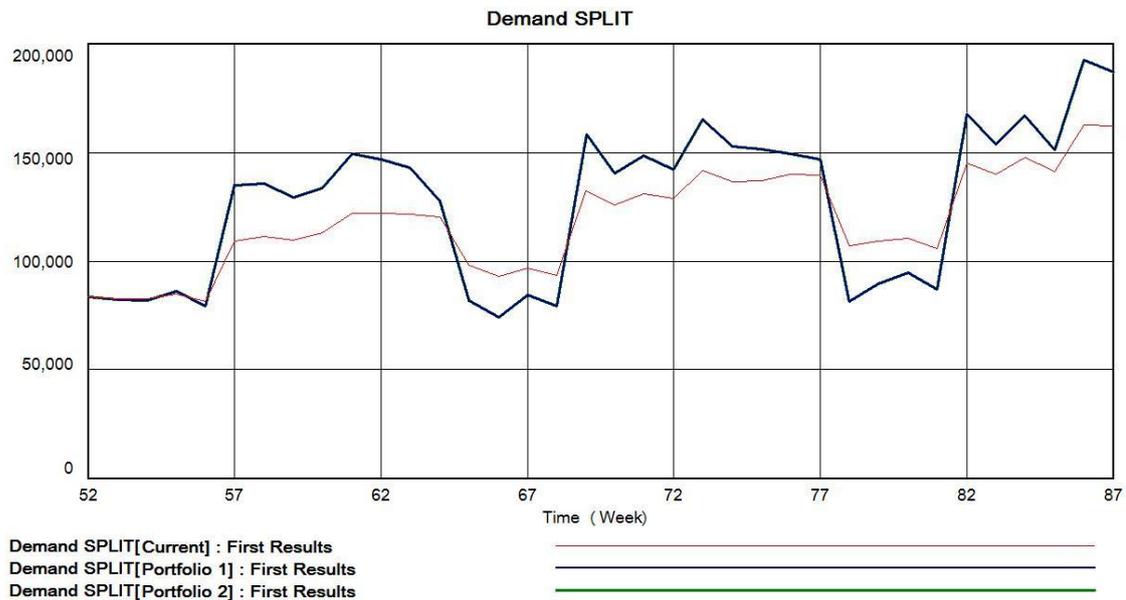


Figura 4.27 Cantidad demandada al Proveedor 1 en un escenario particular

En la figura puede verse cómo las cantidades coinciden para las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2. Así mismo, estas cantidades oscilan, haciendo que a veces las cantidades solicitadas en la política actual sean mayores, aunque se percibe cómo en el cómputo global de la simulación las unidades demandadas a este proveedor son mayores en las nuevas carteras que en la actual.

El motivo de la subida radica en que la cantidad demandada al Proveedor 1 en los escenarios Portfolio 1 y 2 depende de 3 variables, como puede verse en las ecuaciones 3.9 y 3.10. La primera de ellas, AWD_t no varía para ningún escenario, sólo de una simulación a otra por factores aleatorios. Las otras 2 variables de las que depende son las cantidades demandadas a los demás proveedores. Como se verá en las próximas imágenes, esta cantidad baja por efecto de la disminución de los inventarios. Es por ello que la diferencia AWD_t y la demanda al resto de los proveedores será mayor para las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2, con lo que incrementará su valor global.

Una vez vistos los efectos que las distintas carteras tienen sobre la demanda pasamos a analizar la influencia que las nuevas políticas de contratación tienen sobre la tasa de fabricación del Proveedor 1.

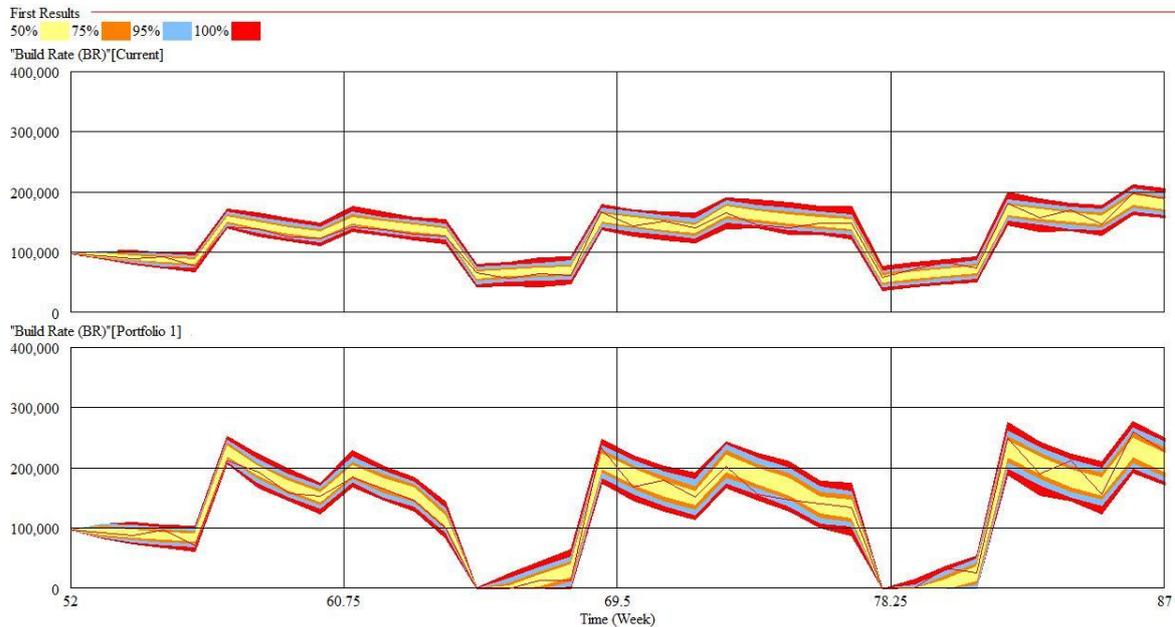


Figura 4.28 Análisis de sensibilidad para la tasa de fabricación

En ella se observa cómo inicialmente se fabrican mayor número de unidades hay momentos en los que se fabrican mayor número de unidades, esto hará que, como se vio en el apartado 4.2.1.3 aumenten los niveles de inventario con respecto a los que se tienen actualmente a disposición de la empresa. Ello hará que la tasa de fabricación disminuya para ajustar las unidades en inventario, llegando a parar la producción. Una vez se hayan restablecido los niveles deseados de inventario volverá a iniciarse la producción. Cuando nuevamente el inventario existente supera el deseado la tasa de fabricación vuelve a caer. La brusquedad de los ciclos dependerá del TAI, que es el parámetro que se encarga de regular los reajustes en el inventario. El fenómeno de parada de la línea no llega a suceder en la política actual, al estar la demanda mejor ajustada al inventario deseado y, sobre todo, al ser tan alto el número de unidades que se exigen almacenar actualmente, que hace que siempre la fabricación tenga que estar en curso.

4.2.1.4.2 Evolución para el proveedor 2

En la figura 4.29 se presenta un análisis de sensibilidad de la demanda solicitada a este proveedor. El factor principal que debe ser tenido en cuenta a la hora de su análisis es que la demanda basa su cálculo en la demanda alisada (Smooth AWD_t). Esto significa que las fluctuaciones deben de ser menos acusadas que en el punto anterior. En la figura se han incluido las carteras Current y Portfolio 2. No se ofrecen los resultados de Portfolio 1 al ser idénticos en este aspecto a Portfolio 2.

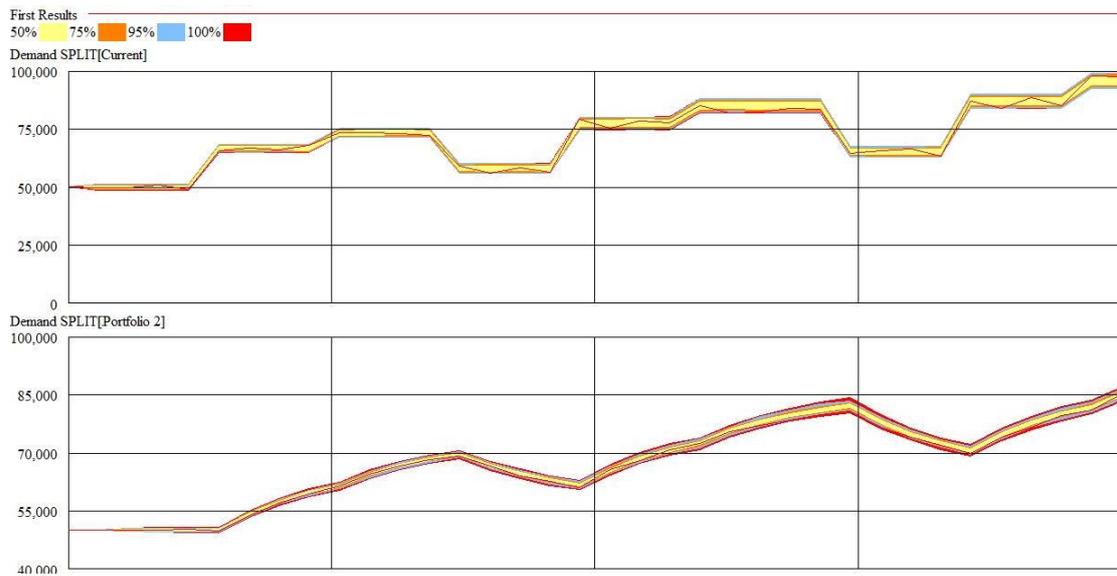


Figura 4.29 Demanda solicitada al Proveedor 2

Dos son los resultados más destacables de esta imagen. En primer lugar se puede ver cómo la demanda solicitada a este proveedor sufre muchas menos fluctuaciones. Esta es la prueba de la influencia del empleo de la demanda alisada en lugar de la demanda real. Esto beneficia al proveedor en el sentido en el que le permite mejorar su gestión dado que la cantidad que tiene que fabricar no está sometida a variaciones tan importantes.

El segundo aspecto interesante es que la cantidad demandada en los escenarios puestos a prueba baja con respecto a la demanda actual a este proveedor. Esta bajada no tiene que ver con el inventario (eso se verá en la tasa de fabricación). El motivo está en que al emplear la demanda alisada los picos disminuyen y por tanto el global demandado baja.

Un tercer punto importante es la incertidumbre que se percibe del análisis de sensibilidad. La estrechez de las distintas bandas hace ver que es baja. Además, comparada con la de la demanda al Proveedor 1, la incertidumbre que el modelo introduce a esta empresa es menor.

Por último destacar la tendencia creciente de la función. Aunque sufre algunas bajadas en determinados puntos, la tendencia de la demanda es a crecer a medida que evoluciona la simulación.

En la siguiente imagen se puede ver la misma variable, pero para un escenario concreto. En la figura pueden observarse mejor las características comentadas anteriormente.

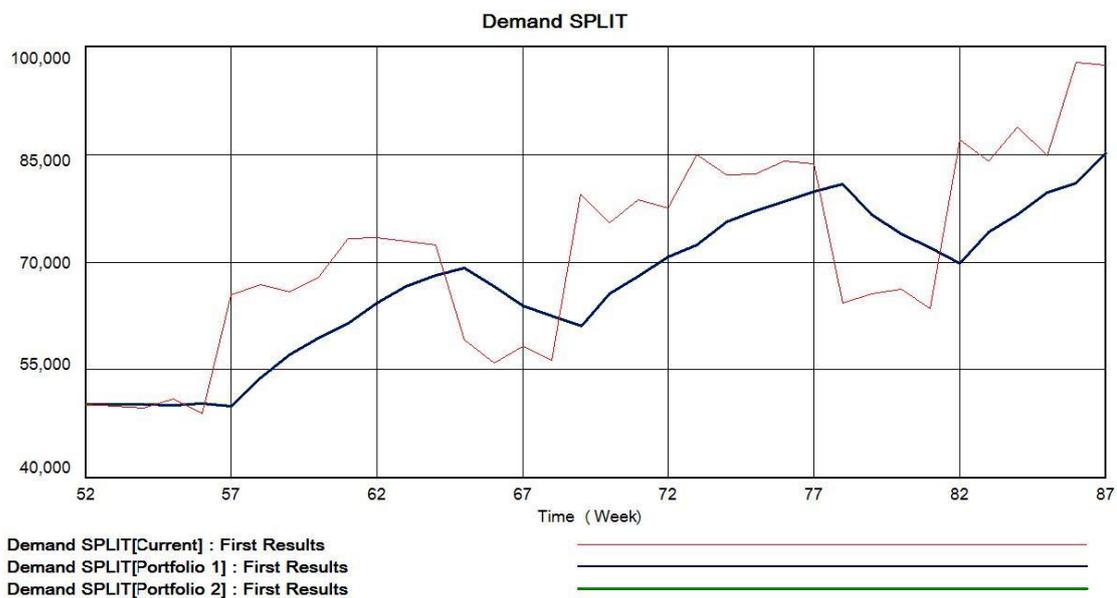


Figura 4. 30 Demanda al Proveedor 2 en un escenario concreto

Tanto el alisamiento como la tendencia creciente se hacen notar en la figura. Así mismo se ve como, aunque en momentos puntuales la cantidad demandada con las nuevas políticas es mayor, en el global de la simulación la demanda disminuye con respecto a la que se solicita en la actualidad.

A continuación se estudia la tasa de fabricación de componentes del Proveedor 2 a través de un análisis de sensibilidad. Como los resultados para las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2 son iguales, se ha omitido la primera para obtener una mejor resolución de los gráficos.

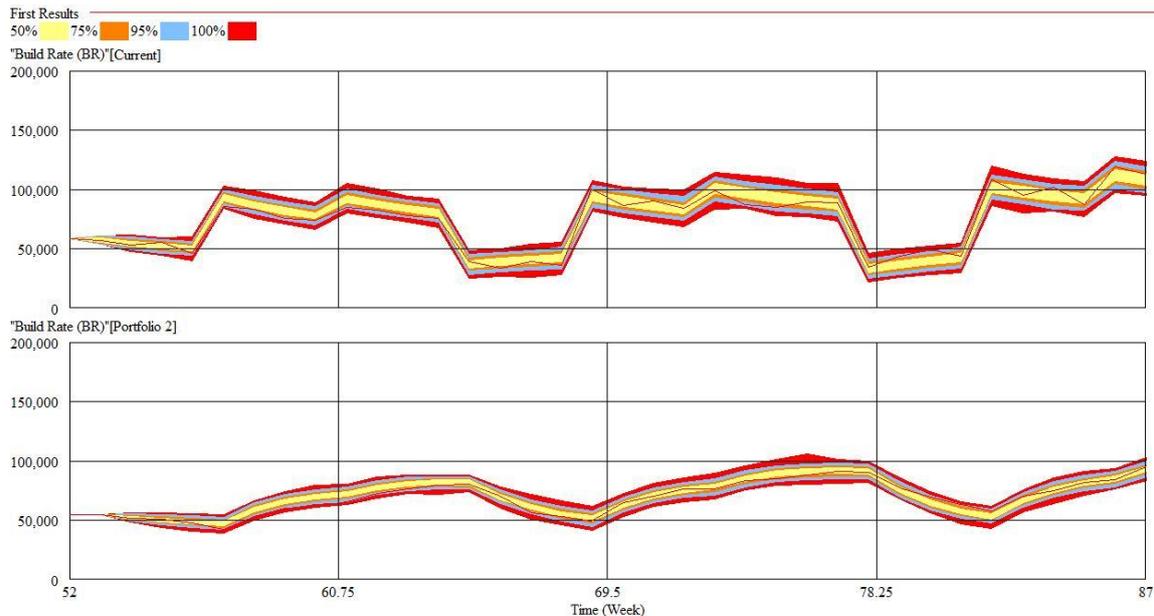


Figura 4.31 Análisis de sensibilidad para la tasa de fabricación del proveedor 2

En primer lugar comentamos el efecto del cambio experimentado por efecto de la demanda. La tasa de fabricación tiene un comportamiento menos oscilante en los nuevos escenarios. Esto hace que sea más fácil planificar los inventarios y el proceso de fabricación, disminuyendo los esfuerzos de gestión y sus costes asociados.

A diferencia de lo que ocurrió para el Proveedor 1, en este caso en ambos escenarios la producción es constante, no produciéndose paradas. Esto se debe a que al depender la cantidad demandada únicamente de la demanda del fabricante y no de otras variables, sea posible controlar mejor la fabricación. No obstante, como se comentó en el apartado 4.2.1.2 y 4.2.1.3 para este proveedor existe la posibilidad que se produzca Backlog, con lo cual si quiere eliminarse esta opción deberán de reajustarse los parámetros que influyen en el mismo, como el TAI o demandar más inventario a este proveedor.

Por último y en lo que se refiere a la incertidumbre en la fabricación, es menor que en el caso del Proveedor 1, con lo cual los resultados que ofrezca el modelo para este proveedor son más ajustados a la realidad futura. Esto hace que las consideraciones de la empresa sobre el Backlog tratadas en el punto 4.2.1.2 sean aún más importantes. La mayor seguridad en el comportamiento de estas variables hace que haya que controlar más eficazmente el Backlog.

4.2.1.4.3 Evolución para el Proveedor 3

El caso del Proveedor 3 es totalmente distinto al del resto de proveedores. La inclusión de la política de Forward Contracts hace que en las nuevas carteras la demanda que se le solicite sea constante. Además, en las nuevas carteras a este proveedor se le suprimen las exigencias de inventario, lo que hará que fabrique en términos idénticos a la demanda. Es por ello que el análisis realizado anteriormente para los proveedores 1 y 2 no presenta el mismo interés en este caso. No obstante en la figura 4.32 puede verse la diferencia de comportamiento entre el escenario actual y los futuros.

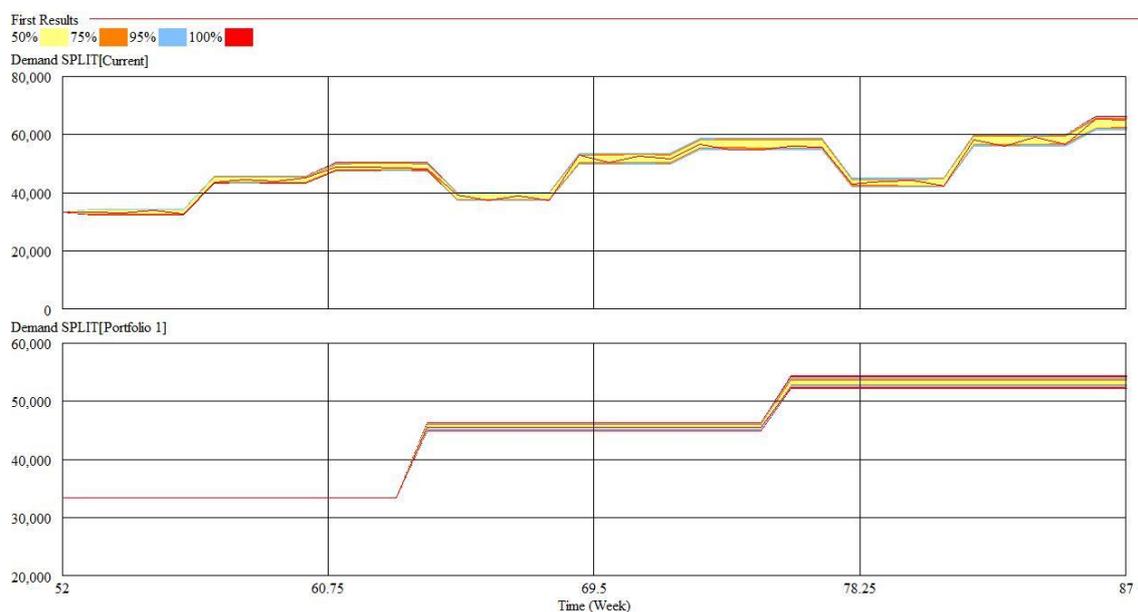


Figura 4.32 Análisis de sensibilidad para la demanda del Proveedor 3

Como puede verse en la imagen, la incertidumbre que existe con la política actual prácticamente se elimina en los escenarios futuros. Esto favorece mucho la planificación, en especial en este caso en el que el proveedor tiene tan poco margen de actuación.

Podría pensarse que en caso del Proveedor 3, la demanda debería ser determinista. Lo es para cada escenario concreto, pero como las cantidades requeridas se calculan a partir de la demanda alisada (ver apartado 3.2.1.3) y en esta sí es variable para cada escenario, se producen las ligeras variaciones que se aprecian en la figura.

Por último comentar que, como en el caso del Proveedor 2, la demanda tiene una tendencia creciente, aunque en este caso no baja la cantidad solicitada en ningún momento. En lo que respecta a las cantidades es difícil decir en qué escenario se demanda mayor cantidad, aunque parece ser que en la política actual se demandan más unidades. Esto se debe a que actualmente se solicita inventario a este proveedor. En la figura 4.33 se ve la cantidad de demanda acumulada a este proveedor para un escenario concreto.

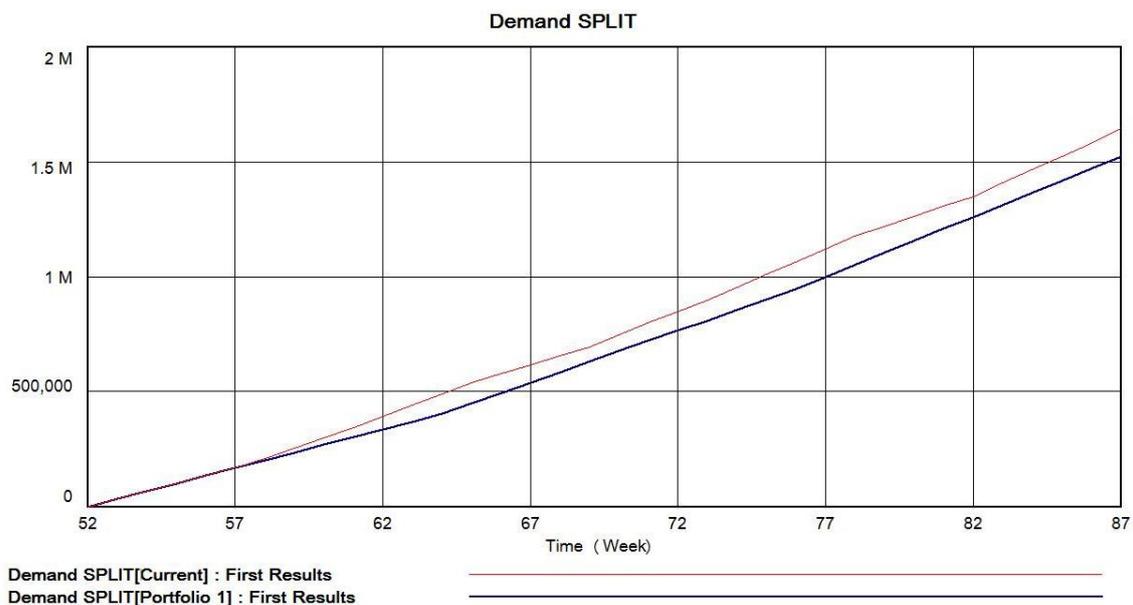


Figura 4.33 Demanda Acumulada al Proveedor 3 en un escenario concreto

En ella puede verse como la cantidad demandada al Proveedor 3 actualmente es algo mayor que en las políticas futuras.

Si quiere analizarse la demanda para un escenario particular, ver la imagen 4.14, en la que se comentan los aspectos más destacados de la misma y que coinciden con los de los párrafos anteriores.

En lo que se refiere a la tasa de fabricación, el comportamiento es muy similar al que tiene la demanda. De hecho, en el caso de las carteras Portfolio 1 y Portfolio 2 es el mismo, dado que el Proveedor 3 en estos casos sólo fabrica lo que se le requiere. En la figura 4.34 se observa esa circunstancia, pero además se puede apreciar otro aspecto interesante. La evolución de la tasa de fabricación actual del Proveedor es muy oscilante. Esto dificulta su proceso de fabricación y aumenta el coste del mismo. Gracias a las nuevas políticas se

introduce en el proceso mucha más estabilidad. Esto será un arma interesante a la hora de afrontar las negociaciones.

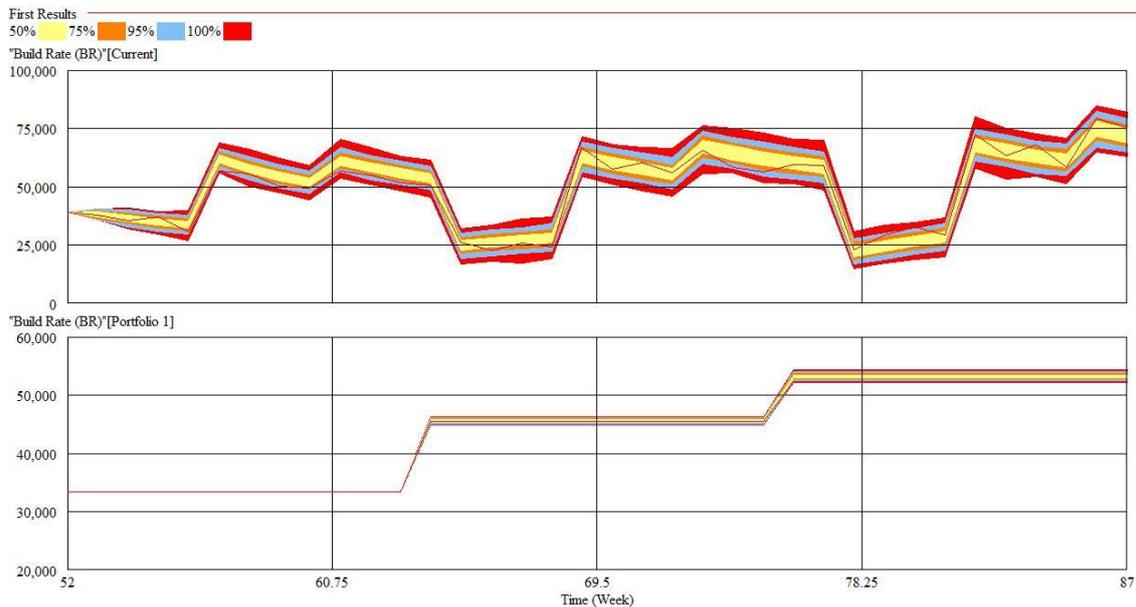


Figura 4.34 Análisis de sensibilidad para la tasa de fabricación

Con esto finaliza el apartado dedicado a los resultados que afectan al fabricante. A lo largo del mismo se ha podido observar cómo las nuevas políticas consiguen disminuir los costes y las consecuencias sobre el inventario y el Backlog que esto tiene. Así mismo se han estudiado los resultados adicionales sobre las previsiones de precios y de la demanda solicitada. Por último, se han observado los efectos de las nuevas políticas sobre la tasa de fabricación de unidades del proveedor.

4.2.2 Resultados económicos para el proveedor

Hasta ahora se han comentado los resultados más interesantes para el fabricante. Como resultado de ellos se ha podido ver cómo afectan las nuevas políticas al proceso de fabricación de los proveedores. Queda por definir ahora el aspecto económico.

Como se vio en el capítulo dedicado a analizar los costes de aprovisionamiento, los ingresos de los proveedores bajan. Ciertamente es que posteriormente pudo comprobarse que sus costes de almacenamiento también disminuían por efecto de la caída de las unidades demandadas.

Otro foco de disminución de costes, este no cuantificable en el modelo, es el que se obtendría como consecuencia de la mejora de la planificación que posibilitan las nuevas políticas. Como se comentó cuando se habló de la tasa de fabricación de los proveedores, el cambio que se produce en la demanda a los Proveedores 2 y 3 tiene como efecto inmediato la disminución de costes en el proceso de fabricación. Dicha bajada tendrá que ver con las posibilidades que ofrecen al proveedor las nuevas políticas de ajustar mejor procesos, inventarios propios de materia prima etc.

Esto sin embargo puede que no sea suficiente para convencer a los proveedores de que firmen los nuevos contratos. En el caso del Proveedor 3, por ejemplo, es más que probable que haya que hacerle ver que la política tiene otras ventajas adicionales para su empresa que le hagan aceptar una rebaja tan sustancial como la del 30%.

El Proveedor 2 también exigirá conocer en qué le puede beneficiar el nuevo contrato antes de aceptar ofrecer un descuento del 10%.

En el caso de los 2 proveedores anteriores, especialmente el Proveedor 3, su existencia está muy ligada al fabricante, con lo que puede costar menos convencerle. Sin embargo el Proveedor 1, dada su capacidad de fabricación, será difícil sin buenas cifras en la mano convencerlo.

Es por ello que a continuación se adjuntan los resultados referidos al capital circulante que requerirá cada proveedor. Con este parámetro puede que se les logre convencer, pues así podrán ver cómo afectan las nuevas políticas

a sus costes financieros. Hay que recordar que el capital circulante mide las necesidades de financiación que generará la fabricación de componentes. Si disminuye la presión financiera lo suficiente, es probable que los proveedores acepten las nuevas propuestas.

En la figura 4.35 aparece un gráfico de barras en el que se observa la evolución del capital circulante para cada política.

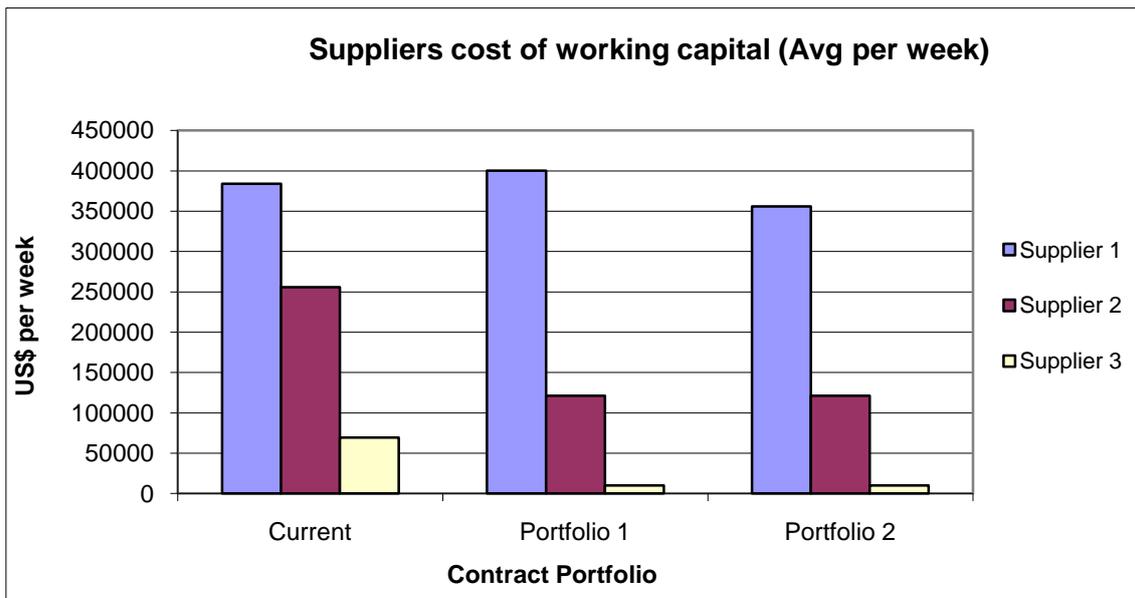


Figura 4.35 Evolución del Capital Circulante (WCR)

En la imagen se ve como en el caso de que el proveedor firme nuevos contratos sus necesidades de capital bajan, en algunos casos significativamente. Esto hará que se incrementen los márgenes de beneficio y que, por lo tanto a ellos les resulte también rentable el firmar los nuevos contratos. A continuación se analizarán los resultados para cada proveedor por separado.

4.2.2.1 Análisis financiero para el Proveedor 1

El Proveedor 1 es el que mayor demanda asume a la semana. Además, el fabricante no tiene con él una posición de privilegio como sucede en los casos anteriores. Ello obliga por lo tanto a ofrecerle beneficios interesantes para que acepte el nuevo contrato. En su caso será la cartera Portfolio 2 la que recoja las modificaciones en la relación cliente proveedor. A modo de recordatorio dicha política consistirá en solicitar el fabricante un precio máximo de compra

ofreciendo un porcentaje del coste de las unidades vendidas como compensación. Para una explicación más detallada consultar el apartado 3.5.4 del proyecto. En la figura 4.35 se puede ver el gráfico anterior, particularizado para el Proveedor 1.

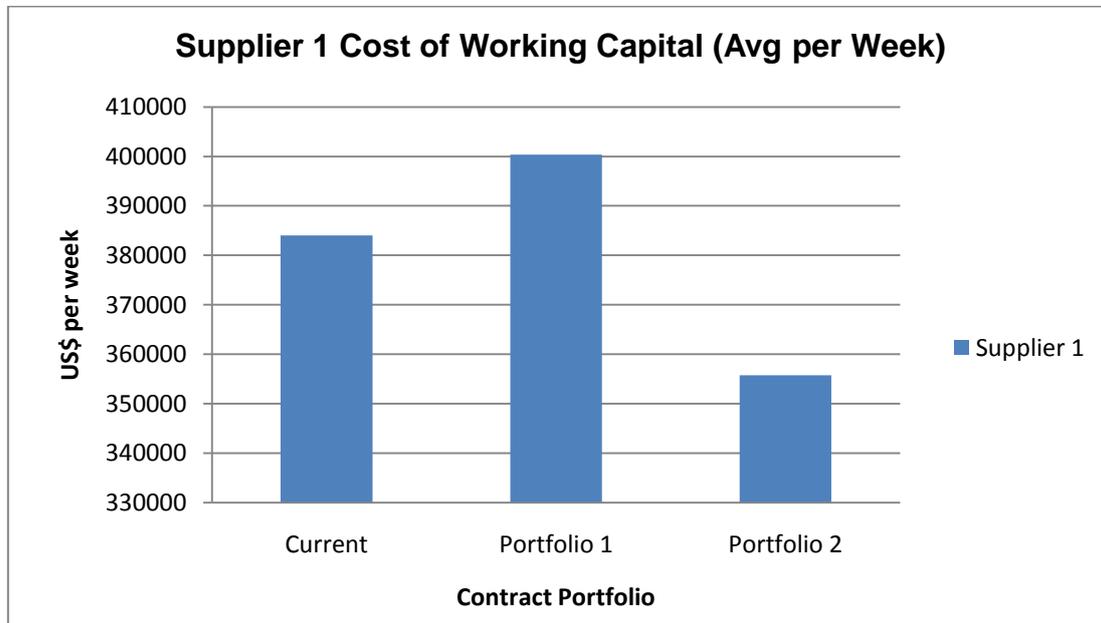


Figura 4.36 Evolución del Capital Circulante (WCR) para el Proveedor 1

En la imagen se ve cómo en el caso del nuevo contrato (Portfolio 2) los requerimientos semanales de capital disminuyen un 7,35%, lo cual puede que haga atractivo el nuevo contrato.

Otro aspecto interesante es ver como si se aplica la política Portfolio 1 las necesidades de financiación aumentan a pesar de que el contrato no ha sido modificado. Esto se debe a que, como se vio al analizar la demanda, las cantidades solicitadas al Proveedor 1 con las nuevas políticas aumentan. Esto hace aún más valioso el resultado para la política Portfolio 2.

Volviendo al aspecto del ahorro entre Portfolio 2 y la política actual, en el gráfico se puede ver que el ahorro semanal que aparece en el gráfico 4.36 es de algo más de 28.000 US\$ a la semana, lo que supone un ahorro global de 1.017.110 US\$. En la figura 4.12 se puede ver que la bajada en los ingresos del proveedor es, en este caso, de casi 8M US\$, lo que hace muy difícil que la oferta sea aceptada a no ser que se añadan otras contrapartidas como que se suba el precio de seguridad.

4.2.2.2 Análisis financiero para el Proveedor 2

El Proveedor 2 será el siguiente en ser analizado. Como se pudo ver en la figura 4.35, las necesidades semanales de capital circulante disminuyen casi un 50%. Esto se debe principalmente a la bajada en las exigencias en inventario. Dicho argumento podría ser suficiente para que aceptara nuevo acuerdo. En la figura 4.38 se muestra de manera más detallada el comportamiento que tiene el capital circulante en el caso de este proveedor en concreto para cada una de las carteras.

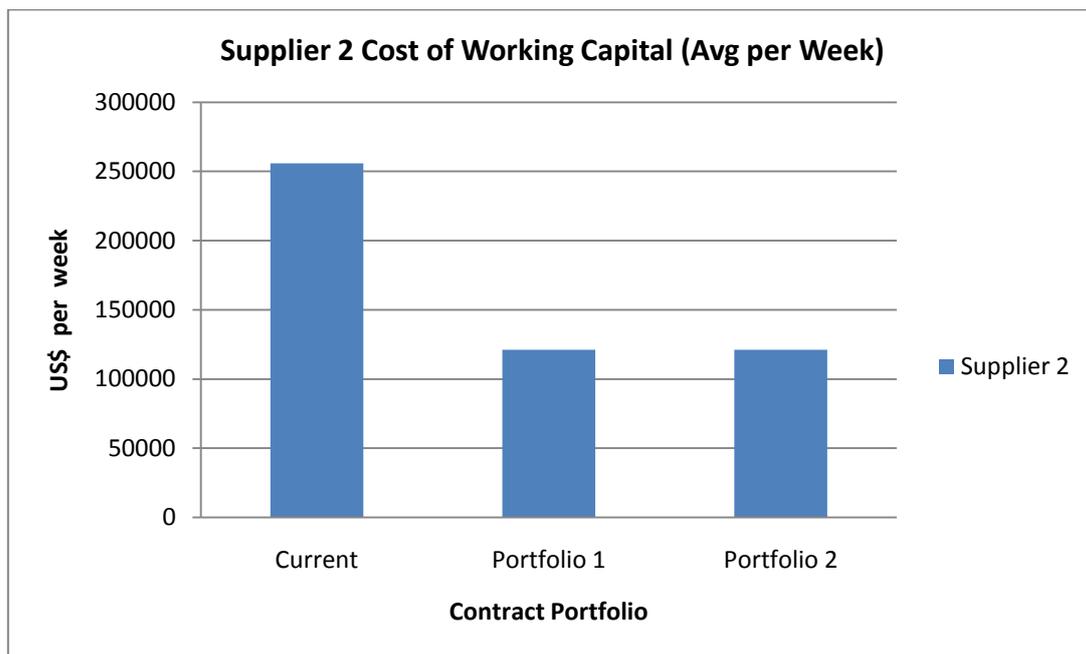


Figura 4. 37 Evolución del Capital Circulante (WCR) para el Proveedor 2

En la imagen se ve que los costes generados por los nuevos contratos es el mismo, lógico puesto que ambos tienen los mismos parámetros para el proveedor. En la figura se puede ver cómo el ahorro semanal en costes de capital circulante asciende a 135.000 US\$, lo que en las 36 semanas supone un ahorro de 4.849.810 US\$, lo que hace que al proveedor también le resulte una opción interesante. Esto es así porque la nueva política le supone al Proveedor 2 una bajada en los ingresos de algo más de 2 M US\$, lo que nos hace ver que todavía puede exigirse al Proveedor un descuento aún mayor, aunque hay que recordar que algunos de los datos empleados para calcular el capital circulante puede que no sean exactos por pertenecer al proveedor,

aunque esta cifra probablemente hará que considere atractiva la propuesta o una nueva más ajustada.

4.2.2.3 Análisis financiero para el Proveedor 3

Por último analizamos la situación del Proveedor 3. Es el que peor posición tiene para negociar, dado que la mayor parte de su producción tiene como destino al mismo fabricante, lo que lo sitúa en una posición privilegiada. No obstante también es el que sufre un mayor recorte en los gastos de capital circulante, puesto que se le elimina cualquier requerimiento de inventario y se le paga por adelantado. Esto hace que los requerimientos de capital circulante prácticamente se anulen, como puede verse en la siguiente imagen.

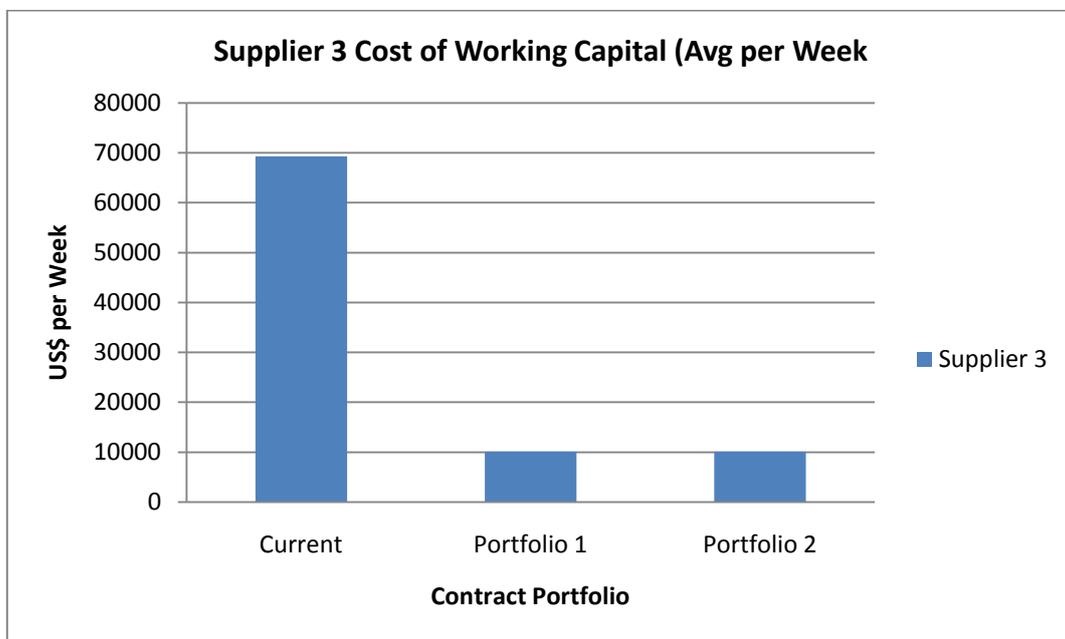


Figura 4. 38 Evolución del Capital Circulante (WCR) para el Proveedor 3

En la figura puede verse como los costes de capital circulante se reducen a la sexta parte, eliminando prácticamente las necesidades de financiación y con ello bajando los costes financieros de la empresa. Aproximadamente supone un ahorro de casi 60.000\$ (en concreto 59.181) a la semana, lo que hace un total de 2.131.000 US\$ para las 36 semanas de simulación. Esta cantidad es algo mayor que los 2 M US\$ que aparecen como ahorro en la figura 4.15. Como puede verse esta política está mucho mejor ajustada que la anterior.

Hay que tener en cuenta que, además del ahorro en coste capital, la mejora de la planificación que permite la nueva cartera hará que bajen también otros costes, haciendo esta política aún más interesante al proveedor.

Con este punto finaliza el capítulo de resultados del proyecto, en el que se ha intentado analizar con el mayor grado de detalle posible las variables más destacadas del modelo.

Capítulo 5. Conclusiones

Índice del Capítulo

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	183
5.1 SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	184
5.2 SOBRE LOS RESULTADOS DEL MODELO.	186
5.3 SOBRE LOS ASPECTOS CLAVES EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	188

5.1 Sobre la construcción del modelo.

Durante el desarrollo de este proyecto se ha evaluado el impacto de nuevas políticas de gestión para una cadena de suministro de componentes críticos. Para ello se han aplicado técnicas de simulación continua basadas en la dinámica de sistemas. El objetivo ha sido conocer el impacto de nuevas estrategias en el proceso global de suministro. Estas estrategias son fruto del estudio de las diferentes opciones de contratación con cada uno de los proveedores en función de sus características.

Para conocer el impacto global de los posibles cambios a introducir se ha elaborado un modelo recoja por completo el proceso de suministro teniendo en cuenta todos los agentes que intervienen en él. Como ha podido verse en el capítulo 4 la inclusión en el esquema de simulación tanto del proveedor como del fabricante posibilita conocer el impacto total de las nuevas políticas. Esto posibilitará recalibrar los términos que definen las nuevas estrategias hasta hacerlas atractivas para todos los participantes en el proceso de suministro.

La elaboración y calibración del modelo es un proceso complejo que requiere de la colaboración de todos los protagonistas del proceso. La dificultad consiste en que el proceso parte del fabricante, que es el que quiere disminuir sus costes de aprovisionamiento. Es por ello que probablemente aparezcan dificultades a la hora de conseguir la información necesaria para llevar adelante el proyecto. Para que el modelo refleje lo mejor posible la realidad del problema desde este documento se hacen las siguientes recomendaciones:

- Recomendaciones en la fase de diseño de las métricas del fabricante:
 - Contar con el apoyo de la organización. La confianza en el proyecto es necesaria para conseguir la implicación de los encargados de verificar la construcción del modelo.
 - En lo que concierne al proceso de diseño del modelo, es imprescindible conseguir la implicación de los encargados de la toma de decisiones. Es importante que sean éstos los que validen el modelo porque ellos son los que mejor conocen la evolución del sistema.
 - A la hora de diseñar el modelo, lo ideal es tomar, en la medida de lo posible, los mismos indicadores que existan en la empresa. En el caso

de que eso no sea posible es interesante que las variables que se introduzcan se parezca lo máximo posible a las existentes.

- En el caso de que se propongan nuevos indicadores, su introducción tiene que ser fruto del consenso con el personal encargado de la gestión de operaciones en ese punto. No se debe introducir ningún elemento en el modelo sin el consenso de los gestores del área donde la variable o parámetro influya.
 - La implicación de la empresa debe conseguirse desde el conocimiento de los gestores del funcionamiento del modelo. Este conocimiento facilitará el proceso de validación del mismo.
 - En lo que se refiere al tratamiento de la información, el fabricante ha suministrar toda la información requerida con el mayor detalle posible. Además, tiene que intentar no censurar datos aún a pesar de que se crea que no son importantes, puesto que cualquier información puede facilitar el desarrollo del proyecto.
 - El encargado de la construcción del modelo, por su parte debe analizar la información recibida para comprobar si los datos son coherentes y forman un conjunto lógico. Este análisis crítico es clave para poder obtener la mejor información posible.
 - Una vez conocida la estructura de funcionamiento, tanto el diseñador del modelo como la gerencia tienen que ser lo suficientemente críticos para detectar los puntos débiles del proceso y proponer posibles mejoras en la gestión.
- Recomendaciones en la fase de diseño de las métricas del proveedor:
- Intentar implicar al proveedor en el modelo, indicándole que la mejora que se busca en el proyecto es una mejora global, que también va a repercutir en su funcionamiento.
 - Hacer ver al proveedor que gracias al proyecto que desde el fabricante se acomete puede mejorar su funcionamiento y su economía.
 - Si no se consigue una colaboración total, al menos conseguir la mayor cantidad de información posible directamente desde la fuente.

- En el caso de que no se obtenga la colaboración deseada, solicitar los datos requeridos a través de un estudio de consultoría lo más detallado posible.
- Recomendaciones en la fase de diseño de las estrategias de simulación:
- Una vez conocido el funcionamiento global de la cadena, analizar los puntos débiles de marco actual de gestión.
 - Proponer cambios que mejoren el proceso en su conjunto, es decir, que mejoren el funcionamiento de proveedor y fabricante.
 - Conseguir mejoras tangibles no sólo para el fabricante, sino también para el proveedor.
 - Lograr que los resultados ofrecidos sean atractivos, en el sentido que puedan suscitar un interés real del proveedor en el modelo.

5.2 Sobre los resultados del modelo.

En primer lugar resaltar que el objetivo principal de disminuir los costes de aprovisionamiento del fabricante se cumplen en las 2 nuevas políticas que se ponen a prueba en el modelo. Esto hace ver que la gestión actual que hace la empresa de su cadena de suministro no es eficiente.

En concreto, se consigue un ahorro a lo largo de los 9 meses de simulación de cerca de 13M\$ en el caso de la cartera de contratos Portfolio 2, aquella que ofrece los mejores resultados económicos para el fabricante. Esto hace que disminuya el coste una media de un 11%. Además, las nuevas políticas disminuyen la incertidumbre en los resultados, lo que significa que el ahorro podría ser mayor y alcanzar un valor del 15%.

En el caso de la cartera Portfolio 1 el coste medio baja aproximadamente 5M\$, con lo que a pesar de no ser la política óptima, se consigue un ahorro estimado de un 5% en costes de aprovisionamiento.

Así mismo, baja el coste unitario de los componentes. Esto indica que el ahorro conseguido tiene que ver más con la mejora de la gestión que con el descenso que se produce en las compras por efecto de la disminución de los niveles de inventario.

En lo que respecta al Backlog, se ha comprobado que la política actual de la empresa hacía imposible que se diera esta circunstancia. El gran nivel de inventario que se exigía a los proveedores imposibilitaba que se produjeran roturas de stock. Con las nuevas políticas esta posibilidad se hace real en el caso del Proveedor 2. Sin embargo analizando los valores de Backlog que aparecen y la probabilidad de que esto ocurra se ha decidido que es asumible teniendo en cuenta el ahorro que se consigue.

Por último, en lo que se refiere al fabricante, se puede ver que el nuevo modelo de previsión de precios que se ha desarrollado en el proyecto recoge mejor el comportamiento del mercado que el empleado en la actualidad por los gestores de la empresa.

En cuanto a los resultados de los proveedores se ha comprobado que las nuevas políticas benefician además de al fabricante al Proveedor 2 y al Proveedor 3.

En el caso del primero se produce una importante mejora desde el punto de vista de los requerimientos de capital circulante. Tal es así que se recomienda reajustar el descuento exigido para compensar los beneficios de una y otra parte.

Al Proveedor 3 la política le beneficia, aunque no tanto como en el caso anterior. De hecho se recomienda proponer los parámetros recogidos en las políticas actuales.

Por último, el Proveedor 1 sale claramente perjudicado de la nueva política. Por ello se propone su modificación, o bien incrementando el precio de seguridad o bien disminuyendo los requerimientos de inventario, aunque esto último se antoja complicado viendo la evolución que siguen los inventarios.

5.3 Sobre los aspectos claves en el desarrollo del proyecto

La elaboración de este proyecto ha sido un proceso largo y laborioso. Durante el mismo se han dado algunas circunstancias que considero que son importantes de destacar.

- 1) El empleo de la última versión del software Vensim® ha permitido un desarrollo más fácil del proyecto. Esto se debe a que la versión actual permite trabajar con otros programas tales como Excel, lo que ha simplificado la inclusión de los datos en el modelo.
- 2) La colaboración con el profesor Adolfo Crespo Márquez ha sido clave a la hora de conseguir los datos de la empresa y poder validar el modelo. Sin su ayuda no habría sido posible la finalización del proyecto en los términos que se han dado.
- 3) La creación del modelo ha sido un proceso complicado por el gran número de personas que ha intervenido en ella. No obstante, el optar por una configuración modular ha sido un factor clave en la elaboración del mismo. Esto se debe a que el número de personas que intervenían en cada parte del proceso bajaba y facilitaba la comunicación.
- 4) Los resultados obtenidos para la validación del modelo han sido claves para aumentar la confianza de la empresa en el éxito del proyecto. Tal es así que a partir de que se obtuvieron los primeros resultados fueron saliendo nuevas propuestas tales como el modelado de las previsiones de precios que se incluye como uno de los resultados más importantes del proyecto.
- 5) Finalmente, a nivel personal, la gran cantidad de horas de trabajo me ha permitido adquirir un buen manejo del software y de sus posibilidades. Esto podrá permitirme en el futuro aplicar técnicas similares a otros posibles problemas que puedan surgir en mi vida profesional.

Capítulo 6. Bibliografía

Crespo Márquez, A. (2010). *Dynamic Modeling for Supply Chain Management*. Sevilla: Springer.

Ron, B., & J, N. W. (2008). *Total Supply Chain Management*. Elsevier.

New, S. (2008). *Supply Chain Management*. Londres: Taylor and Francis.

Brunes, B., & Whittle, P. (Febubary 1995). Supplier Development: Getting Started. *Logistics Focus* .

Burnes, B., & New, S. J. (1997). Collaboration in customer-supplier relationships. Strategy, operations and the function of rhetoric. *International Journal of Purchasing and Materials Management* , 10-17.

Crespo Márquez, A., & Blanchas, C. (2004). The procurement of strategic parts. Analysis of a portfolio of contracts with suppliers using a system dynamics. *International Journal of Production Economics* , 29-49.

Ramsay, J. (1996). The Case Against Purchasing Partnerships. *International Journal of Purchasing and Materials Management* 32(4) , 13-19.

Anexo I: Ecuaciones del Modelo

En este apartado se van a recoger todas las ecuaciones que conforman el documento, por orden de aparición.

$$DH_t = GET\ XLS\ DATA('Data_Book.xls', 'Time\ Related\ Data', '5', 'B10') \quad (3.120)$$

$$RDG_t = IF\ THEN\ ELSE(Time \leq 52, 0, RANDOM\ UNIFORM(Dmin, Dmax, SeedD)) \quad (3.121)$$

$$Avg\ Weekly\ Demand\ (AWD_t) = \begin{cases} t < 52\ (semanas) & DH_t \\ e.o.c. & RDG_t \end{cases} \quad (3.122)$$

$$AWD_t = IF\ THEN\ ELSE\langle Time \leq 52 | DH_t | RDG_t \rangle \quad (3.123)$$

$$Sample\ AWD_t = SampleIfTrue[Time \geq 52: AND: (Time - 52)/CRP = INTEGER((Time - 52)/CRP), Smooth\ RP, Smooth\ RP] \quad (3.124)$$

$$DS_t[Sproux, Current] = Share[Sproux, Current] * AWD_t \quad (3.125)$$

$$DS_t = \begin{cases} si\ t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier\ 3, Current] \\ e.o.c. & Share[Supplier\ 3, Portfolio\ 1] * SAWD_t \end{cases} \quad (3.126)$$

$$DS_t = \begin{cases} si\ t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier\ 2, Current] \\ e.o.c. & Share[Supplier\ 2, Portfolio\ 1] * SAWD_t \end{cases} \quad (3.127)$$

$$DS_t = \begin{cases} si\ t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier\ 1, Current] \\ e.o.c. & AWD_t - DS_t[Supplier\ 3, Portfolio\ 1] - DS_t[Supplier\ 2, Portfolio\ 1] \end{cases} \quad (3.128)$$

$$DS_t = \begin{cases} si\ t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier\ 1, Current] \\ e.o.c. & AWD_t - DS_t[Supplier\ 3, Portfolio\ 2] - DS_t[Supplier\ 2, Portfolio\ 2] \end{cases} \quad (3.129)$$

$$DS_t = \begin{cases} si\ t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier\ 2, Current] \\ e.o.c. & Share[Supplier\ 2, Portfolio\ 2] * SAWD_t - DS_t[Supplier\ 3, Portfolio\ 2] \end{cases} \quad (3.130)$$

$$DS_t = \begin{cases} si\ t \leq 52 & AWD_t * Share[Supplier\ 3, Current] \\ e.o.c. & Share[Supplier\ 3, Portfolio\ 2] * SAWD_t \end{cases} \quad (3.131)$$

$$Future\ WOI_t = GET\ XLS\ CONSTANTS('Data_Book.xls', 'Constants\ Data', 'B30') \quad (3.132)$$

$$FUpF = GET\ XLS\ CONSTANTS('Data_Book.xls', 'Constants\ Data', 'B34') \quad (3.133)$$

$$ICP_t = \begin{cases} [LT + WOI + UpF * LT] & \text{si Time} < 52 \text{ (semanas)} \\ [LT + Future\ WOI + FUpF * LT] & \text{si Time} > 52 \end{cases} \quad (3.134)$$

$$ICP_t = \begin{cases} Si\ t \geq 52\ LT * (1 + FUpF) + Future\ DOI[SProxy, CPortfolio] \\ e.o.c.\ LT + WOI + LT[SProxy, CPortfolio] * UpF \end{cases} \quad (3.135)$$

$$Pipeline\ Desired\ Inventory\ (DInv_t) = DS_t * ICP_t \quad (3.136)$$

$$(Dis_t) = DInv_t - (Unidades\ en\ fabricacion + \sum\ Inventarios) \quad (3.137)$$

$$Dis_t = [DInv_t - (PD_t + Supply\ by\ Proxy)] * (1 - Forward\ Contract) \quad (3.138)$$

$$TAI = GET\ XLS\ CONSTANTS('Data_Book.xls', 'Constants\ Data', 'B38') \quad (3.139)$$

$$BR_t = MAX\left\{Demanda + \frac{Dis_t}{TAI} \mid 0\right\} \quad (3.140)$$

$$BR_t = MAX\left\{\frac{AWD_t * Share[SProxy, Current] + Dis_t * [SProxy, Current]}{TAI} \mid 0\right\} \quad (3.141)$$

$$Production\ delay\ (PD_t) = Build\ Rate\ (BR_t) - Build\ Completion\ Rate\ (BCR_t) \quad (3.142)$$

$$PD_t = INTEG(BR_t[SProxy, CPortfolio] - BCR_t[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.143)$$

$$AWD_t * Share[SProxy, CPortfolio] * LT[SProxy, CPortfolio] * PDi\ factor \quad (3.144)$$

$$BCR_t = DELAYFIXED(BR_t | LT | AWD_t * Share[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.145)$$

$$f_1(t) = 3,969 * t - 2,094 \quad (3.146)$$

$$f_2(t) = 1,760 * t - 0,904 \quad (3.147)$$

$$I_{95\%} = \varpi \pm 2 * \sigma \quad (3.148)$$

$$MAX(marzo) = Precio(marzo) + f_1(t = 3) + f_2(t = 3) \quad (3.149)$$

$$MIN(marzo) = MAX\{Precio(marzo) - f_1(t = 3) - f_2(t = 3) \mid P_{min}\} \quad (3.150)$$

$$MinModified_t = MÁXIMO[(RealModified_{t-1} + DMIN); MIN] \quad (3.151)$$

$$MaxModified_t = MINÍMO[(RealModified_{t-1} + DMAX); MAX] \quad (3.152)$$

$$RealMod = Aleatorio: [MAX(Min, MinModified); MIN(Max, MaxModified)] \quad (3.153)$$

$$LP_t = DELAY FIXED (RP_t, 4, Price History) \quad (3.154)$$

$$Maxim_t = PF_t + f_1(t) + f_2(t) \quad (3.155)$$

$$Maxim_t = \begin{cases} Si t \geq 56 & PF_t + (3.969 * \frac{(t-56)}{4} - 2.0944) + 2 * (1.7602 * \frac{(t-56)}{4} - 0.904) \\ e.o.c. & 0 \end{cases} \quad (3.156)$$

$$MaxMod_t = \begin{cases} Si t > 56 & MIN(LP_t + MaxPricInc, Maxim_t) \\ e.o.c. & 0 \end{cases} \quad (3.157)$$

$$Minim_t = \begin{cases} Si t \geq 56 & Max \left(PF_t - \left(3.969 * \frac{(t-56)}{4} - 2.0944 \right) - 2 * \left(1.7602 * \frac{(t-56)}{4} - 0.904 \right) \middle| Floor \right) \\ e.o.c. & 0 \end{cases} \quad (3.158)$$

$$MinMod_t = \begin{cases} Si t > 56 & MAX(LP_t - MaxPricInc, Maxim_t) \\ e.o.c. & 0 \end{cases} \quad (3.159)$$

$$RPG_t = \begin{cases} Si t > 56 & RANDOM UNIFORM(MinMod_t, MaxMod_t, SeedP) \\ e.o.c. & 0 \end{cases} \quad (3.160)$$

$$PH_t = GET XLS DATA('Data_Book.xls', 'Time Related Data', '5', 'B18') \quad (3.161)$$

$$RPG_t = \begin{cases} Si t \leq 56 & PH_t \\ e.o.c. & RPG_t \end{cases} \quad (3.162)$$

$$Smooth RP_t = SMOOTH(RP_t, Time to Smooth Price) \quad (3.163)$$

$$Sample RP_t = SampleIfTrue[Time \geq 52: AND: (Time - 52)/CRP = INTEGER((Time - 52)/CRP), Smooth RP_t, Smooth RP_t] \quad (3.164)$$

$$PpP_t[Sproxy, Current] = (1 - Price Discount[SProxy, Current]) * RP_t \quad (3.165)$$

$$PrDisc = GET\ XLS\ CONSTANTS('Data_Book.xls', 'Constants\ Data', 'B43') \quad (3.166)$$

$$PpP_t[Supplier\ 1, Portfolio1] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 1, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 1, Portfolio\ 1]) * RP_t & \end{cases} \quad (3.167)$$

$$PpP_t[Supplier\ 2, Portfolio1] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 2, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 2, Portfolio\ 1]) * Smooth\ RP_t & \end{cases} \quad (3.168)$$

$$PpP_t[Supplier\ 3, Portfolio1] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 3, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 3, Portfolio\ 1]) * SampleRP_t & \end{cases} \quad (3.169)$$

$$PpP_t[Supplier1, Portfolio2] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 1, Current] \\ MIN((1 - PDisc[Supplier1, Portfolio2]) * RP_t | StrikeP) & \end{cases} \quad (3.170)$$

$$PpP_t[Supplier\ 2, Portfolio2] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 2, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 2, Portfolio\ 2]) * Smooth\ RP_t & \end{cases} \quad (3.171)$$

$$PpP_t[Supplier\ 3, Portfolio2] = \begin{cases} Si\ t \leq 52 & PpP_t[Supplier\ 3, Current] \\ (1 - PDisc[Supplier\ 3, Portfolio\ 2]) * SampleRP_t & \end{cases} \quad (3.172)$$

$$RANDOM\ NORMAL\ [{min}, {max}, {mean}, {stdev}, {seed}] \quad (3.173)$$

$$\varpi = -30.940,04 \quad (3.174)$$

$$\sigma = 36.469,63 \quad (3.175)$$

$$RDAD_t = RANDOM\ NORMAL(\varpi - 2 * \sigma, \varpi + 2 * \sigma, \varpi, \sigma, SeedPull) \quad (3.176)$$

$$RPG_t = \begin{cases} Si\ t > 52 & RDG_t + RDwAD_t \\ e.o.c. & 0 \end{cases} \quad (3.177)$$

$$TPull_t = \begin{cases} si\ t \leq 52 & HP_t \\ e.o.c & RPG_t \end{cases} \quad (3.178)$$

$$Psp[SProxy, CPortfolio] = GETXLSCONSTANTS(Data_Book.xls, Constants\ Data, B16) \quad (3.179)$$

$$Pull_t = Psp[SProxy, CPortfolio] * TPull_t \quad (3.180)$$

$$IP_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Pull_t[Supplier 3, Portfolio 1] \\ e.o.c & FCP_t(Portfolio 1) \end{cases} \quad (3.181)$$

$$IP_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Pull_t[Supplier 3, Portfolio 2] \\ e.o.c & FCP_t(Portfolio 2) \end{cases} \quad (3.182)$$

$$IP_t = Pull_t[Supplier 3, Current] \quad (3.183)$$

$$IP_t = Pull_t[Supplier 2, Portfolio 1] \quad (3.184)$$

$$IP_t = Pull_t[Supplier 1, Current] \quad (3.185)$$

$$IP_t = Pull_t[Supplier 1, CPortfolio] \quad (3.186)$$

$$FP_t = LliP_t + LoiP_t + VmiP_t \quad (3.187)$$

$$Bk_t = INTEG(IP_t - FP_t) \quad (3.188)$$

$$TtP_t = Backlog[SProxy, CPortfolio] + Intended Pulls[SProxy, CPortfolio] \quad (3.189)$$

$$VMI_t = INTEG(BCR_t - AB_t - LFM_t - VMIp_t) \quad (3.190)$$

$$VMI_0 = VMiFactor * BCR_t * [Future DOI + LT[SProxy, CPortfolio] * FUpF] \quad (3.191)$$

$$Fprt_t = \begin{cases} Si RP_t < APR * SMOOTH(PF_t, 2) & Fprt_t = 1 \\ e.o.c & Fprt_t = 0 \end{cases} \quad (3.192)$$

$$Ftrt_t = \begin{cases} Si INTEGER(Time/4) = Time/4 & Ftrt_t = 1 \\ e.o.c & Ftrt_t = 0 \end{cases} \quad (3.193)$$

$$Fp&tR_t = Ftrt_t + Fprt_t \quad (3.194)$$

$$Ab_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Min(2 * AWD_t * Fsp_t * Fp&tR_t | VMI_t + BCR_t) \\ e.o.c & (1 - FC) * Min(2 * AWD_t * Fsp_t * Fp&tR_t | VMI_t + BCR_t) \end{cases} \quad (3.195)$$

$$LoiP_t = MIN(TTP_t | LOI_t + Ab_t) \quad (3.196)$$

$$LoiP_t = \begin{cases} Si t \leq 52 MIN(TTP_t[SProxy, Current]|LOI_t[SProxy, Current] + Ab_t[SProxy, Current]) \\ e. o. c MIN(TTP_t[SProxy, Cportfolio]|LOI_t[SProxy, Cportfolio] + Ab_t[SProxy, Cportfolio]) \end{cases} \quad (3.197)$$

$$LOI_t = Ab_t[SProxy, CPortfolio] - LoiP_t[SProxy, CPortfolio] \quad (3.198)$$

$$LFm_t = \begin{cases} Si t \leq 52 MIN(VMI_t + BCR_t - Ab_t|MAX(MFPS_t - IP_t|0)) \\ e. o. c (1 - FC) * (VMI_t + BCR_t - Ab_t|MAX(MFPS_t - IP_t|0)) \end{cases} \quad (3.199)$$

$$VMI_t + BCR_t - Ab_t \quad (3.200)$$

$$LliP_t = MIN(TTP_t - LoiP_t|LLI_t + LFm_t) \quad (3.201)$$

$$LLI_t = INTEG(LFm_t[SProxy, CPortfolio] - LliP_t[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.202)$$

$$VmiP_t = MIN(TTP_t - LoiP_t - LliP_t|VMI_t + BCR_t - Ab_t - LFm_t) \quad (3.203)$$

$$Inventory\ holding\ cost(IhC_t) = (LLI_t + LOI_t) * Real\ Price\ (RP_t) * Idcf \quad (3.204)$$

$$"IhC_t"[SProxy, CPortfolio] = (LLI_t[SProxy, CPortfolio] + LOI_t[SProxy, CPortfolio]) * "RP_t" * "Idcf" \quad (3.205)$$

$$PBOpC_t = AB_t(Supplier1) + LliP_t(Supplier1) + VmiP_t(Supplier1) \quad (3.206)$$

$$PBOpC_t = AB_t[Supplier1, Portfolio 2] + LliP_t[Supplier1, Portfolio 2] + VmiP_t[Supplier1, Portfolio 2] \quad (3.207)$$

$$COpC_t[Portfolio2] = \begin{cases} Si\ time \leq 52 & COpC_t = 0 \\ e. o. c & COpC_t = PBOpC_t * StrikeP * Cost\ of\ the\ Option \end{cases} \quad (3.208)$$

$$FCP_t[Cportfolio] = \begin{cases} 0\ en\ la\ cartera\ Current \\ Si[t \geq 52\ AND\ \frac{(Time-52)}{CRP} = INT](Time - 52)/CRP, CRP * DS_t[Supplier 3, Portfolio 1], 0) \\ Si[t \geq 52\ AND\ \frac{(Time-52)}{CRP} = INT](Time - 52)/CRP, CRP * DS_t[Supplier 3, Portfolio 2], 0) \end{cases} \quad (3.209)$$

$$CFC_t = FCP_t * PpP_t[Supplier 3, CPortfolio] * DR * CRP \quad (3.210)$$

$$CFC_t = FCP_t[CPortfolio] * PpP_t[Supplier 3, CPortfolio] * DR * CRP \quad (3.211)$$

$$MPur_t = (Ab_t + VmiP_t + LliP_t) * PpP_t \quad (3.212)$$

$$MPur_t = PpP_t[Supplier1, CPortfolio] * (Ab_t[Supplier1, CPortfolio] + LliP_t[Supplier1, CPortfolio] + VmiP_t[Supplier1, CPortfolio]) \quad (3.213)$$

$$MPur_t[Supplier2, CPortfolio] = PpP_t * (Ab_t + LliP_t + VmiP_t) \quad (3.214)$$

$$Mpur_t[Supplie 3, Current] = PpP_t * (Ab_t + LliP_t + VmiP_t) \quad (3.215)$$

$$Mpur_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Mpur_t = Mpur_t[Supplier 3, Current] \\ e.o.c & PpP_t[Supplier 3, Portfolio 1] * FCP_t[Portfolio 1] \end{cases} \quad (3.216)$$

$$Mpur_t = \begin{cases} Si t \leq 52 & Mpur_t = Mpur_t[Supplier 3, Current] \\ e.o.c & PpP_t[Supplier 3, Portfolio 2] * FCP_t[Portfolio 2] \end{cases} \quad (3.217)$$

$$Ccom_t[SProxy, CPortfolio] = Mpur_t[SProxy, CPortfolio] \quad (3.218)$$

$$Cpur_t = IhC_t + Ccom_t + CFC_t + COpC_t \quad (3.219)$$

$$Cpur_t = SUM(IhC_t"[SProxy!, CPortfolio] + Ccom_t"[SProxy!, CPortfolio]) + CFC_t[CPortfolio] + COpC_t[CPortfolio] \quad (3.220)$$

$$Accp_t = INTEG([Cpur_T[CPortfolio]) \quad (3.221)$$

$$TPPpW_t = SUM(Ab_t[SProxy!, CPortfolio] + LliP_t[SProxy!, CPortfolio] + VmiP_t[SProxy!, CPortfolio]) \quad (3.222)$$

$$TotalP_t = INTEG(TPPpW_t[CPortfolio]) \quad (3.223)$$

$$NPV(stream, discount rate, init val, factor) \quad (3.224)$$

$$NAcc_t = NPV(Cpur_t[CPortfolio], DR, 0, 1) \quad (3.225)$$

$$CpU_t [Cportfolio] = \begin{cases} Si t = INITIAL TIME & 39,66 \\ e.o.c & \frac{NAcc_t[Cportfolio]}{TPull_t[Cportfolio]} \end{cases} \quad (3.226)$$

$$Spur_t = Build Rate_t * Real Price_t * Vcost \quad (3.227)$$

$$Spur_t = "BR_t"[SProxy, CPortfolio] * "RP_t" * "Vcost"[SProxy, CPortfolio] \quad (3.228)$$

$$Pay_t = DELAY(Pur_t[SProxy, CPortfolio]|WPO[SProxy, CPortfolio]|Pur_t[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.229)$$

$$Pbl_t = INTEG\langle Spur_t - Spay_t \rangle \quad (3.230)$$

$$Pbl_t = Pur_t[SProxy, CPortfolio] - Pay_t[SProxy, CPortfolio] \quad (3.231)$$

$$InvR_t = VMI_t * RP_t * (1 - Cmrgr) + 0.5 * PD_t * RP_t * (1 - Vcost - Cmrgr) + 0.5 * PD_t ** RP_t * (1 - Cmrgr) + LLI_t * RP_t * (1 - Cmrgr) \quad (3.232)$$

$$InvR_t = VMI_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) + 0.5 ** PD_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Vcost[SProxy, CPortfolio] - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) + 0.5 * PD_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) + LLI_t[SProxy, CPortfolio] * RP_t * (1 - Cmrgr[SProxy, CPortfolio]) \quad (3.233)$$

$$Rbl_t = INTEG\langle Mpur_t - Mpay_t \rangle \quad (3.234)$$

$$Mpur_t[SProxy, CPortfolio] * WSO[SProxy, CPortfolio] \quad (3.235)$$

$$WRC_t[SProxy, CPortfolio] = InvR + Rbl_t - Pbl_t \quad (3.236)$$