



PROYECTO FINAL
DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

GESTIÓN DE STOCK EN UNA EMPRESA
CONVERTIDORA DE PAPEL

Autor: Agustín Rapetti

Legajo: 44200

DNI N°: 31.533.520

Tutor: Ing. Julio García Velasco

2012

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo encontrar un proceso de gestión de stocks que permita administrar productos cuya demanda es estacional y volátil con el mínimo costo esperado.

Para lograr esto, se centra el análisis en el mercado de papelería, cuyas características se corresponden con el escenario mencionado y es descrito brevemente en la primera sección.

En la segunda sección se muestran las prácticas actuales de una empresa líder del sector y luego se analizan los resultados obtenidos mediante las mismas, evidenciando los problemas de aplicar métodos deterministas a la situación en estudio.

La tercera sección presenta un resumen de las técnicas tradicionales y actuales sobre el tema y se evalúa su aplicabilidad en este contexto.

Finalmente, se propone un nuevo proceso que cumple con el objetivo planteado. Éste consiste en un ciclo con retroalimentación de 5 etapas: el ingreso de datos, la optimización, ejecución de los planes, evento aleatorio y análisis de desvíos. En particular, la etapa de optimización se realiza minimizando el costo total esperado mediante la utilización de un modelo de programación lineal entera mixta estocástica de dos etapas. De esta forma, permite contemplar la variabilidad de la demanda en la planificación al mismo tiempo que provee a la empresa de un sistema de planificación flexible y adaptable a los potenciales desvíos.

Los resultados obtenidos de la adopción del método de este trabajo se discuten en las secciones finales, así como también se describe el proceso de implementación y sus costos. De los resultados, se destacan los ahorros obtenidos, reduciendo el costo total asociado al stock en un 28%.

Por otro lado, se aprovecha la flexibilidad del modelo para estimar el valor de la información perfecta, permitiendo a la compañía tomar decisiones de inversión en este sentido con valores máximos justificados y libres de subjetividad.

Summary

The goal of this paper is to provide a process to properly manage products with highly seasonal and volatile demand with the minimum expected cost.

To accomplish this goal, the analysis is focused to the stationary products market which characteristics match the stated scenario. The market is briefly described in the first section of this work.

The second chapter shows the current practices of a leading company in the market and the results obtained by their application, exposing the problems that surge from applying deterministic methods to the studied situation.

The third section presents the traditional methods and the newly developed ones on the subject and their applicability to this context is discussed.

To achieve the stated goal a new process is proposed consisting in a five step cycle with feedback. These stages are: data entry, optimization, plan execution, random event and deviations analysis. In particular, the optimization is done by minimizing the total expected cost using a two stage stochastic mixed integer linear programming model, acknowledging the demand's volatility since the planning stage while providing a flexible planning system that adapts to potential deviations.

The results obtained from the application of the new method and the implementation process are discussed in the final section. Also, the implementation costs are estimated. Within the results, the 28% total cost reduction is remarked.

Besides the optimization, the model is also used to estimate the perfect information value, obtaining the highest unbiased spending amount intended to reduce the volatility of the demand.

Agradecimientos

A mi familia, por su apoyo incondicional.

A mi novia y amigos, por soportar largos períodos de ausencia.

A Esteban, Andrés y Diego cuya ayuda fue imprescindible para la realización de este trabajo.

Índice

CAPÍTULO 1 - Mercado de papelería en argentina	1
1.1. Breve descripción del mercado de papelería	1
1.2. Mercado de papelería comercial.....	1
1.3. Mercado de papelería escolar.....	4
1.3.1. Productos	5
1.3.2. Consumidor final.....	7
1.3.3. Cadena de distribución.....	8
1.3.4. Crecimiento del mercado.....	10
CAPÍTULO 2 - Situación actual de la empresa	11
2.1. Sistema de presupuestación y seguimiento.....	11
2.1.1. Definición de pautas estratégicas.....	12
2.1.2. Plan de ventas.....	12
2.1.2.1. Definición estratégica de nuevos productos.....	12
2.1.2.2. Elaboración del plan de ventas	12
2.1.3. Plan de producción y compras	13
2.1.3.1. Escenarios de producción.....	13
2.1.3.2. Análisis del plan de producción.....	14
2.1.3.3. Presupuesto de compras	15
2.1.4. Consolidación y resultados.....	15
2.1.5. Revisiones del presupuesto	16
2.2. Seguimiento y control del presupuesto	17
2.2.1. Informes contables	17
2.2.2. Informes de área	17
2.2.3. Grupo de planeamiento.....	18
2.2.4. Ampliaciones o bajas.....	19
2.2.5. Marcas blancas y licitaciones	19
2.2.6. Plan de producción en temporada baja	19
2.2.7. Stock de seguridad.....	20
2.3. Errores de pronóstico de la demanda	20
2.3.1. Cumplimiento del plan de ventas.....	20
2.3.1.1. Definición del indicador	20

2.3.1.2.	Propiedades del CPV	22
2.3.1.3.	Precisión del plan de ventas de la empresa	22
2.3.2.	Errores de pronóstico en nuevos productos	24
2.3.3.	Productos de una temporada.....	26
2.4.	Materia prima y lead time	27
2.4.1.	Papel.....	28
2.4.2.	Cartón	29
2.4.3.	Alambre	29
2.4.4.	Cartulina	30
2.4.5.	Láminas	30
2.4.6.	Tapas.....	30
2.4.7.	Lead time	31
2.5.	Resultados de las prácticas actuales	31
2.5.1.	Niveles de stock.....	32
2.5.1.1.	Evolución del stock.....	32
2.5.1.2.	Composición del stock de productos terminados	35
2.5.1.3.	Cobertura	36
2.5.2.	Nivel de servicio	38
2.5.3.	Costo total.....	40
2.5.3.1.	Costo de almacenamiento.....	40
2.5.3.2.	Costo financiero	41
2.5.3.3.	Costo del quiebre	42
2.5.3.4.	Costo de liquidación	44
2.5.3.5.	Costo productivo	44
2.5.3.6.	Costo total obtenido de la gestión del stock	47
CAPÍTULO 3 -	Marco teórico	49
3.1.	Introducción.....	49
3.2.	Productos de período único.....	49
3.3.	Pedidos repetitivos	53
3.3.1.	Suposiciones del modelo EOQ	53
3.3.2.	Derivaciones	54
3.3.2.1.	Lead time distinto de cero	54

3.3.2.2.	Abastecimiento no instantáneo a tasa constante	54
3.3.2.3.	EOQ con pedidos pendientes	54
3.3.2.4.	Descuentos por cantidad	55
3.3.2.5.	Demanda aleatoria con lead time conocido	55
3.3.2.6.	Demanda y lead time aleatorios.....	56
3.3.3.	Estrategias de aplicación.....	56
3.3.3.1.	Estrategia de revisión continua (r,q)	56
3.3.3.2.	Estrategia de revisión continua (s,S)	57
3.3.3.3.	Estrategia de revisión periódica (R,S).....	57
3.3.4.	Nuevos desarrollos.....	58
CAPÍTULO 4 -	Propuesta de mejora.....	61
4.1.	Descripción de la propuesta.....	61
4.1.1.	Proceso de planificación.....	61
4.1.1.1.	Entrada de datos.....	61
4.1.1.2.	Optimización	62
4.1.1.3.	Ejecución	62
4.1.1.4.	Evento aleatorio	62
4.1.1.5.	Desvíos y análisis	63
4.2.	Modelo de optimización	63
4.2.1.	Suposiciones	65
4.2.2.	Datos de entrada	65
4.2.2.1.	Maestro de productos	65
4.2.2.2.	Plan de ventas para cada escenario	66
4.2.2.3.	Datos de los periodos	66
4.2.2.4.	Duración de los pendientes.....	66
4.2.2.5.	Lista de materiales y hoja de ruta de cada material.....	66
4.2.2.6.	Datos de las máquinas	67
4.2.2.7.	Grupos de producción y sus datos.....	68
4.2.2.8.	Grupos de compras y sus datos	68
4.2.2.9.	Ingresos pendientes.....	68
4.2.3.	Función objetivo	68
4.2.4.	Restricciones planteadas	69

4.2.4.1.	Cálculo de stock	69
4.2.4.2.	Restricciones de ventas	70
4.2.4.3.	Restricciones productivas.....	72
4.2.4.4.	Restricciones de abastecimiento	77
4.2.4.5.	Restricciones entre escenarios	78
4.2.5.	Resultados que devuelve la optimización	79
4.2.6.	Parametrización del modelo	79
4.2.6.1.	Escenarios.....	79
4.2.6.2.	Nivel de servicio mínimo por producto	80
4.2.6.3.	Cantidad de períodos fijos.....	81
4.2.6.4.	Cantidad de períodos a planificar	81
4.2.6.5.	Polivalencia de la mano de obra directa.....	82
4.3.	Resultados obtenidos	82
4.3.1.	Parámetros utilizados	82
4.3.2.	Resultados de la optimización	83
4.3.2.1.	Costo total	83
4.3.2.2.	Nivel de stock	86
4.3.2.3.	Nivel de servicio	88
4.3.3.	Valor de la información perfecta	89
4.4.	Propuesta de implementación	90
CAPÍTULO 5 - Conclusiones.....		93
CAPÍTULO 6 - Futuras líneas de investigación		95
Bibliografía.....		97
Anexos		99
Programación del modelo en CPLEX		99
Modelo en OPL		99
Modelo de datos.....		107

CAPÍTULO 1 - MERCADO DE PAPELERÍA EN ARGENTINA

1.1. Breve descripción del mercado de papelería

El mercado de la papelería en general abarca distintas conversiones del papel para una gran variedad de usos como el papel de diario, el papel tissue y papel para impresiones. Las conversiones que se tratan en este trabajo son las que comercializa la empresa en estudio: la conversión destinada a la escritura. En adelante, cuando se menciona el “mercado de papelería” se trata en realidad del mercado de conversión del papel destinado a la escritura.

El mercado de papelería argentino se puede dividir básicamente en dos sectores: el comercial y el escolar. Estos dos sectores se encuentran claramente definidos ya que presentan grandes diferencias desde el tipo de consumidor (estudiantes, empresas, usuarios hogareños) y los productos que se comercializan hasta el perfil de la demanda. Este trabajo está particularmente enfocado al mercado de papelería escolar, cuya estacionalidad e incertidumbre de la demanda de cada producto presentan un importante desafío en la planificación y gestión del stock de las empresas.

Dado que en el sector existe una alta informalidad y existen pocos jugadores, la información disponible del mercado es muy poca y poco precisa. Las consultoras de análisis de mercado no realizan encuestas permanentes referentes al mercado de papelería por lo que las empresas deben contratar las que necesiten a costos muy superiores a los existentes para otras industrias.

En este escenario, los convertidores deben basarse en los datos que aportan los clientes y en las salidas de caja de los supermercados para estimar volúmenes y crecimiento del mercado total y la participación que tienen en el mismo.

1.2. Mercado de papelería comercial

La papelería comercial corresponde mayoritariamente a los insumos que utilizan las empresas, profesionales independientes y entidades gubernamentales. En menor medida contribuyen a este mercado los consumidores hogareños generando un porcentaje muy bajo de la demanda total del sector.

Dentro de este sector encontramos productos típicos como resmas de hojas, sobres, etiquetas, blocks, cuadernos, tacos de papel, talonarios (recibos, pagaré, etc.) y papeles especiales (por ejemplo, papel para fax). Estos productos son de uso continuo y en general el consumidor final no acumula un stock importante entre compras sino que compra al mismo ritmo que consume.

Por las características de los productos que se comercializan en el mercado de la papelería comercial y el uso que le dan sus consumidores, la demanda de estos productos permanece relativamente constante durante el año. Existe una caída en la compra en los meses de Diciembre y Enero ya que la actividad comercial se ve reducida por las fiestas y las vacaciones.

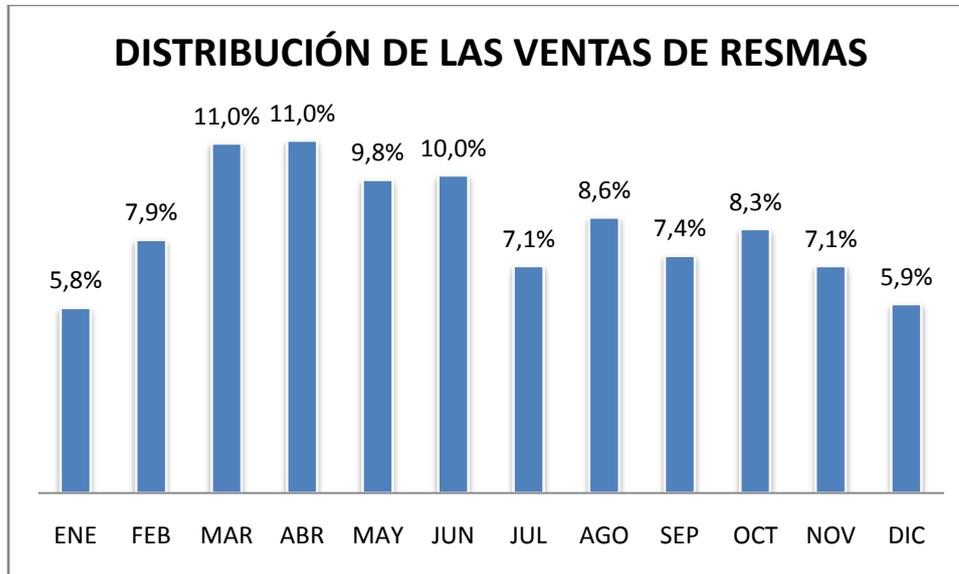


Figura 1-1. Distribución de las ventas de resmas.

Tomando como ejemplo el caso de las resmas para describir el perfil de la demanda, observamos en la Figura 1-1 cómo las ventas permanecen relativamente constantes durante el año, presentando la baja mencionada en los meses de Diciembre y Enero. Luego, en los meses de Febrero, Marzo y Abril se observa un repunte de la actividad luego del receso estival.

Dado que no se tienen datos del mercado total, se utiliza el estimador de actividad económica como principal driver del crecimiento del mercado de productos comerciales.

De la Figura 1-2 se deduce que el mercado de papelería comercial presenta crecimientos del orden del 9% anual, lo que no configura un escenario de crecimiento alto sino más bien moderado dentro de una economía emergente. En este escenario, las empresas deben buscar mayores crecimientos abriendo nuevos mercados y captando parte de la participación de sus competidores presentando diferenciales en sus productos.

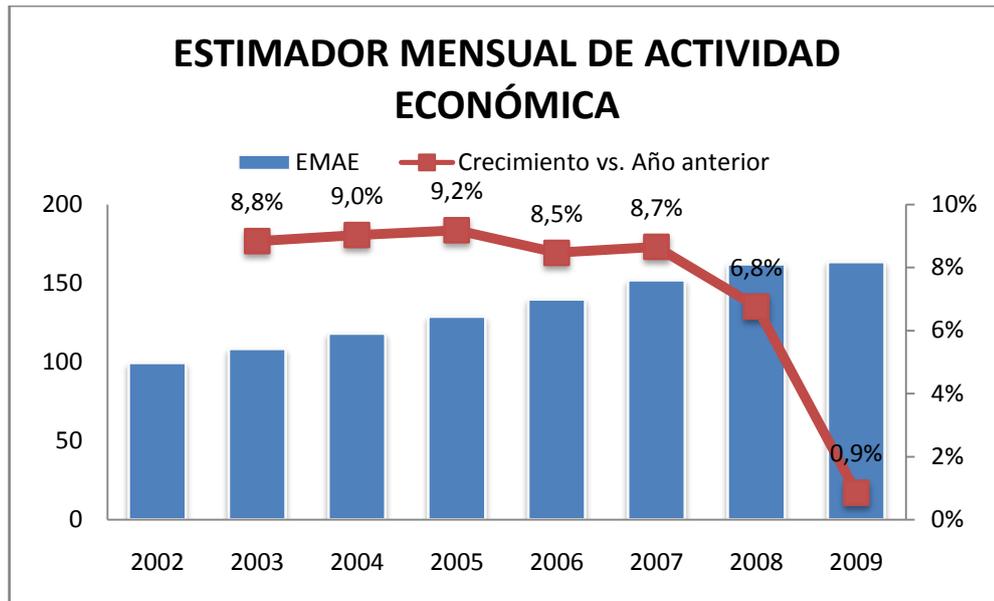


Figura 1-2. Estimador mensual de actividad económica anualizado.

Los fabricantes de productos comerciales distribuyen los mismos a través 4 canales: el mayorista, el minorista, el directo y los supermercados. Los mayoristas distribuyen los productos a los minoristas que no son atendidos en forma directa por los productores. Los minoristas que realizan compras directas son en general los que manejan un mayor volumen que el promedio y poseen varios locales de venta. Esto los habilita a abrir cuentas con los fabricantes ya que poseen un respaldo financiero más importante para acceder al crédito comercial y a comprar a volúmenes mayores con los mismos fraccionamientos que los mayoristas. El canal directo abarca principalmente a entidades gubernamentales que licitan las compras de insumos. Existe una pequeña porción del canal directo conformada por grandes empresas que por el volumen que manejan de estos insumos pueden realizar compras directas. Los supermercados, a pesar de no comercializar la totalidad de los productos de este mercado, canalizan gran parte del volumen de resmas que utiliza el consumidor hogareño. Una representación de esta cadena puede observarse en la Figura 1-3.

Dentro de este mercado se puede distinguir una clase de minorista especial llamado proveedor de empresas. Estos minoristas manejan grandes volúmenes y proveen de soluciones de librería integrales a las empresas. Los más importantes se destacan por su modalidad de venta a través de e-commerce y telemarketing. A pesar de esto, existen varios proveedores de empresas que continúan utilizando la modalidad de venta tradicional con vendedores o viajantes que visitan a sus clientes.

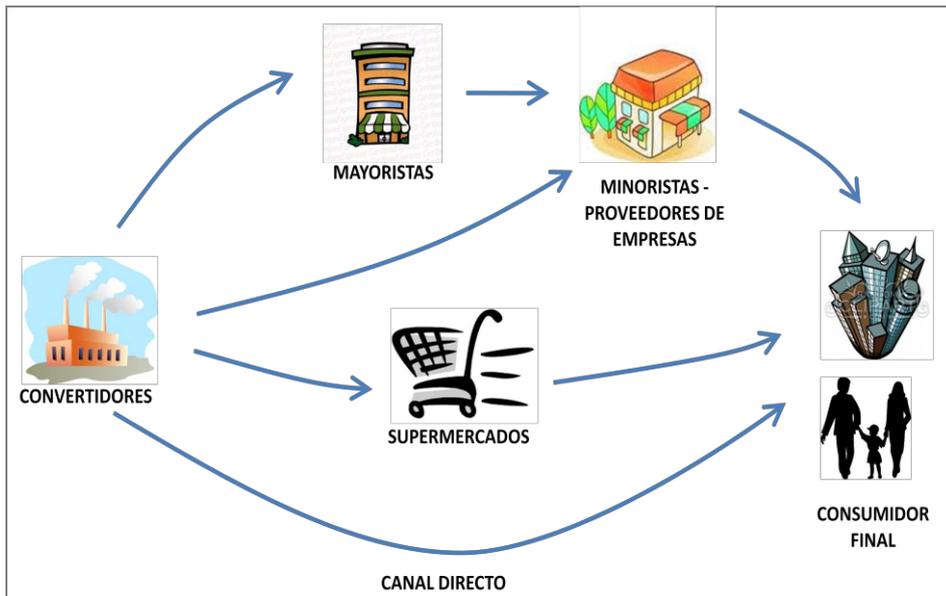


Figura 1-3. Cadena de distribución de productos comerciales

1.3. Mercado de papelería escolar

La papelería escolar presenta dos mercados-objetivo distintos. Por un lado existe la papelería universitaria, que apunta a este sector con productos como cuadernos espiralados. Por otro lado, la papelería escolar propiamente dicha abarca todos los productos de papel utilizados por el alumno durante el preescolar, la primaria y la secundaria.

El comportamiento de compra del consumidor final en combinación con la cadena de distribución existente en el mercado genera un perfil de demanda marcadamente estacional en los meses previos al inicio del ciclo lectivo. Esta temporada de ventas concentra aproximadamente el 75% en los meses de Noviembre a Febrero.

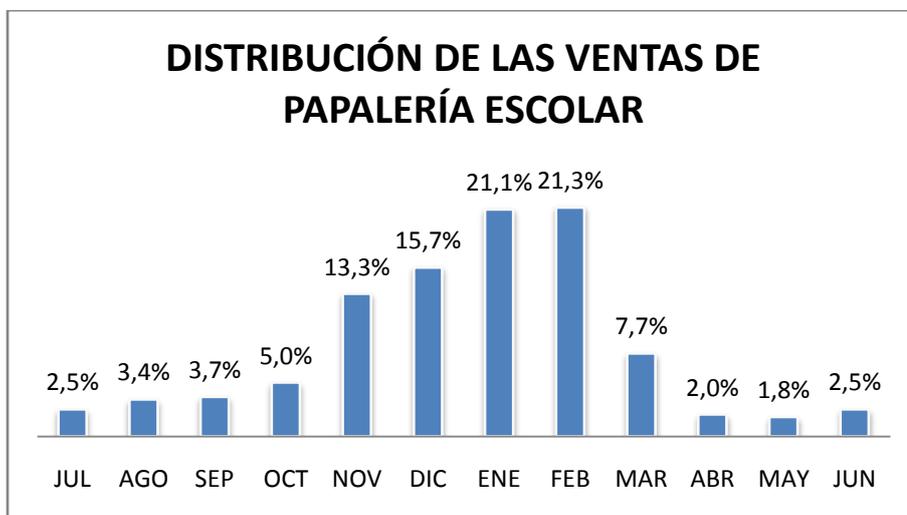


Figura 1-4. Distribución de las ventas de papelería escolar.

Como se ve en la Figura 1-4 las ventas se concentran en los meses mencionados, presentando una caída del 64% de Febrero a Marzo.

La marcada estacionalidad que presenta el mercado no es igual para todos los productos ya que ciertas características, como por ejemplo el fraccionamiento (cantidad de hojas que contiene un repuesto), pueden transformarlos en productos más propicios para las reposiciones post-temporada. De esta manera, la demanda de los mismos presenta picos estacionales más suaves, como se muestra en la Figura 1-5.

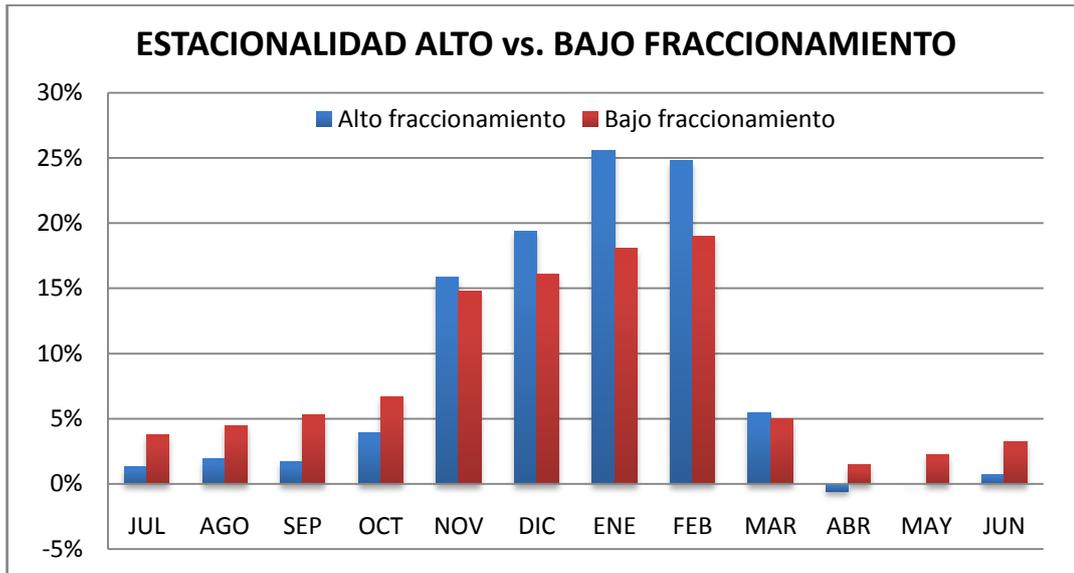


Figura 1-5. Estacionalidad de productos de alto vs. bajo fraccionamiento.

1.3.1. Productos

Los productos que se comercializan dentro de la papelería escolar son muy variados en tipos de conversión, formatos, fraccionamientos o cantidad de hojas y gramaje del papel. El tipo de conversión se refiere a la forma general del producto. En este mercado las conversiones principales son las siguientes:

- Repuestos
- Blocks emblocados (abrochados o pegados)
- Blocks con espiral
- Cuadernos cosidos de tapa dura
- Cuadernos abrochados o cosidos de tapa flexible
- Cuadernos con espiral
- Mapas

El formato del producto está dado por sus dimensiones lineales. Existe una gran cantidad de formatos y cada uno apunta a un segmento del mercado en particular. Cada conversión puede presentarse en varios formatos. Por

ejemplo, las hojas de los cuadernos espiralados para el segmento universitario miden 29,7 cm de alto por 21 cm de ancho. Para el segmento escolar, el cuaderno espiralado mide 27 cm de alto por 21 de ancho, más parecido al formato de las hojas N°3.

La cantidad de hojas o el fraccionamiento, para el caso de los repuestos, puede afectar en gran medida el uso del producto y en particular el comportamiento de compra del consumidor por lo que define un producto realmente distinto.

El gramaje de las hojas se mide por metro cuadrado de papel por lo que define su espesor. Es un factor determinante de la calidad que el cliente percibe de las hojas. Existen además otros atributos que tienen un gran impacto en la percepción del cliente como la rugosidad y la blancura del papel o la intensidad de los renglones y márgenes en las hojas.

La definición del producto físico (dejando a un lado el posicionamiento, la marca, etc.) incluye otras características como el rayado de la hoja, el color de las hojas, diseño de la tapa y contratapa y la o las láminas que se intercalan entre las hojas.

Los key drivers de compra de cada producto son muy diferentes, aunque el factor precio/calidad siempre está presente en las decisiones de compra.



Figura 1-6. Atributos más valorados en cuadernos universitarios.

En la Figura 1-6 se muestran los atributos que más valora el consumidor final en los cuadernos universitarios. En contraste, se presentan en la Figura 1-7 los atributos más valorados por las madres en cuadernos y carpetas escolares y en la Figura 1-8 la valoración de los estudiantes secundarios en los mismos productos.



Figura 1-7. Atributos más valorados por las madres en cuadernos y carpetas.

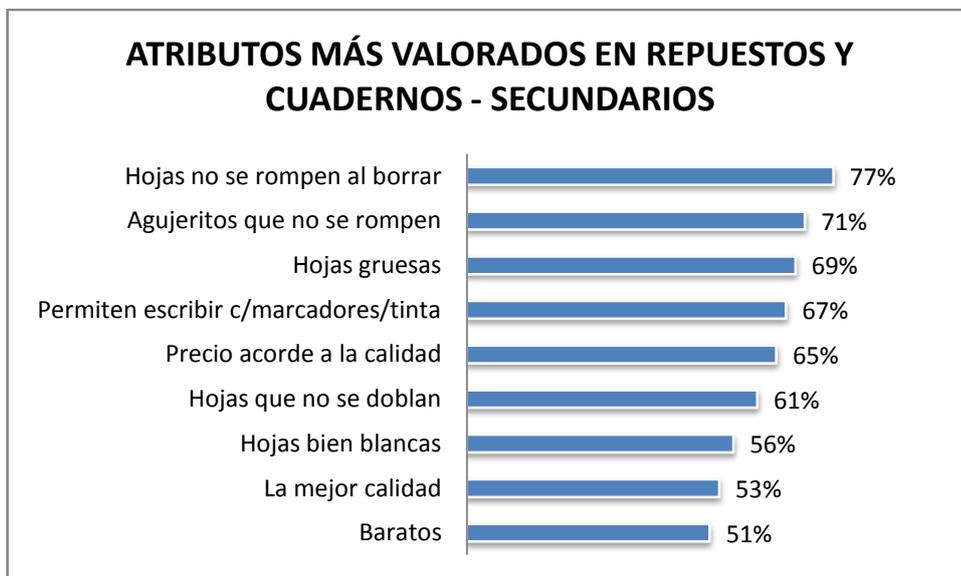


Figura 1-8. Atributos más valorados por los alumnos secundarios en cuadernos y carpetas.

Aunque algunos de los atributos valorados no son comparables entre los dos productos ya que la forma física no los posee (como el troquelado de las hojas en los cuadernos universitarios o la encuadernación en cuadernos escolares) se puede comparar la posición relativa de algunas características como la relación precio/calidad o el grosor de las hojas.

1.3.2. Consumidor final

El consumidor final de productos escolares presenta un comportamiento general distinto al del consumidor de productos comerciales. A pesar de que el 60% de las madres declara una frecuencia de compra trimestral o superior, las

compras de reposiciones se concentran en productos de más bajo fraccionamiento y son sensiblemente menores a las realizadas anteriormente.

El mercado puede dividirse en 3 grandes segmentos definidos por el intervalo de edad:

- primaria y preescolar
- secundaria
- terciaria

Cada intervalo de edad presenta diferentes unidades de decisión de compra y está ligado fuertemente al tipo de conversión que utiliza. En el preescolar y el primario, la decisión de compra se ve altamente afectada por la recomendación del docente. Éste puede expresar la recomendación de una marca a través de la lista de útiles o verbalmente a los padres del alumno. Finalmente, es la madre la que decide y realiza la compra, legitimizando la influencia del docente.

En el secundario el docente pierde peso relativo en la decisión de compra. El alumno comienza a participar de la decisión pero sigue siendo la madre la que materializa la compra.

Al llegar al nivel terciario, el docente ya no ejerce ningún tipo de influencia, siendo la moda la que lleva al decisor, que en este caso es el alumno, a elegir una opción sobre las otras.

Obviamente, en todos los casos el usuario es el alumno. En la Tabla 1-1 se resumen las distintas unidades de decisión para cada segmento.

SEGMENTO	INFLUENCIADOR	DECISOR	COMPRADOR	USUARIO
Preescolar	<i>Docente</i>	<i>Madre</i>	<i>Madre</i>	<i>Alumno</i>
Primario	<i>Alta influencia</i>	<i>Madre</i>	<i>Madre</i>	<i>Alumno</i>
Secundario	<i>Docente</i> <i>Influencia relativa</i>	<i>Alumno/Madre</i>	<i>Madre</i>	<i>Alumno</i>
Terciario	<i>Moda</i>	<i>Alumno</i>	<i>Alumno</i>	<i>Alumno</i>

Tabla 1-1. Unidades de decisión de compra en el mercado escolar.

Cada una de estas unidades valora distintos atributos de los productos dependiendo el segmento y la conversión en cuestión, como se menciona en el punto 1.3.1.

1.3.3. Cadena de distribución

La cadena de distribución de productos escolares puede parecer similar a la del mercado comercial. La cadena comienza con el convertidor, quien vende a

supermercados, mayoristas y minoristas importantes. Existe además un canal directo utilizado para licitaciones y compras de grandes volúmenes de empresas importantes.

La diferencia más importante radica en el minorista. Mientras la papelería comercial distribuye gran parte de su volumen a través de los minoristas proveedores de empresas, quienes compran directamente a los convertidores, los productos escolares se venden principalmente en librerías. El 70% de las madres declara comprar estos productos en librerías cercanas a su casa. Estas librerías se abastecen de los mayoristas por lo que la mayor parte del volumen del mercado atraviesa las etapas convertidor, mayorista, minorista y finalmente, consumidor final.

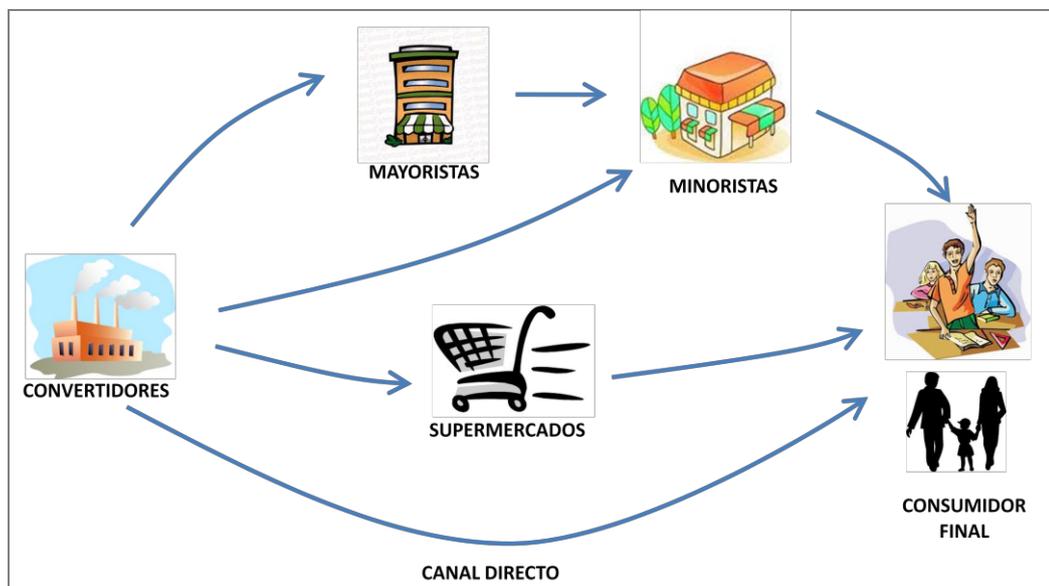


Figura 1-9. Cadena de distribución de productos escolares

Un gran problema que existe en la cadena de distribución de la papelería es el espacio de almacenamiento de mercadería. El valor de reventa por m³ de productos de papelería es mucho menor al obtenido con otro tipo de productos como artículos para escritura. En general, el espacio disponible para almacenamiento en los minoristas y en muchos mayoristas es muy bajo, por lo que deben realizar varias compras durante la temporada para reponer productos que no compraron anteriormente por problemas de espacio. De esta manera, si el convertidor tiene un quiebre de stock en un producto determinado, la cadena no tiene respaldo para absorberlo por lo que el quiebre se traslada rápidamente hasta el consumidor final. Los tiempos de la temporada no permiten al minorista esperar que la empresa se recupere del quiebre por lo que rápidamente reemplaza el producto por uno de la competencia. El tiempo durante el cual el cliente espera que el convertidor recupere el quiebre está muy relacionado a la marca del mismo. Algunas

marcas presentan una alta fidelidad, pero ésta se puede ver comprometida por la alta competencia que existe en el mercado.

1.3.4. Crecimiento del mercado

Como se menciona en la sección 1.1, no existen datos sobre el mercado total de papelería sino estimaciones que hacen los convertidores en base a los datos que pueden obtener. En función de esto, es muy difícil establecer las tendencias del mercado en general. Para superar este obstáculo, se toman algunos drivers como parámetros para proyectar los volúmenes generales. En este sentido, el crecimiento del mercado total de papelería escolar se supone fuertemente relacionado con la matriculación de alumnos cada año.

En la Figura 1-10 se muestra la evolución de la cantidad de alumnos inscriptos en todo el país. La variación año contra año es prácticamente vegetativa por lo que el crecimiento se debe buscar en la ampliación de líneas, toma de nichos de mercado y captura del share de mercado de la competencia.

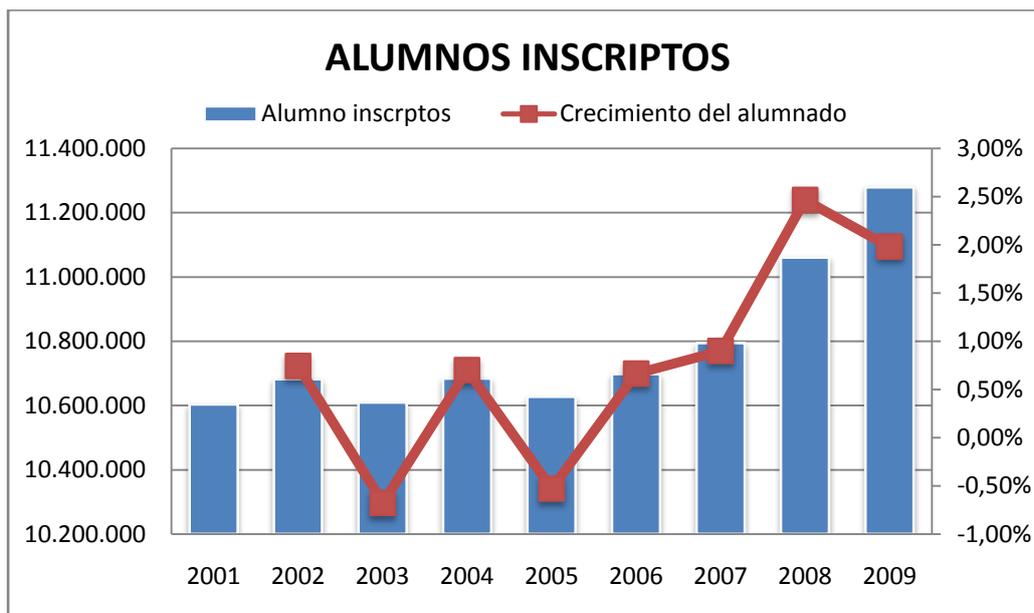


Figura 1-10. Alumnos inscriptos

De la misma manera que la cantidad de alumnos no sufre grandes cambios, las ventas de papelería escolar no presentan variaciones importantes en el volumen total. El efecto que las crisis económicas tienen sobre las ventas se ve reflejado en el mix de productos que se comercializa. Esto significa que en etapas de crisis o recesión, los productos de líneas económicas reemplazan a los de calidad premium y alto precio.

CAPÍTULO 2 - SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

2.1. Sistema de presupuestación y seguimiento

La empresa elabora sus presupuestos en forma anual antes de comenzar cada ejercicio. Luego, se comparan los valores reales con los presupuestados mes a mes y trimestralmente se realizan revisiones para corregir desvíos observados con el transcurso del ejercicio fiscal.

La manera de elaborar los presupuestos puede describirse como de “abajo hacia arriba”. Esto es, se parte desde el plan de ventas por producto por mes derivando del mismo todos los presupuestos siguientes relacionados con el volumen (plan de producción, plan de compras, plan de producción en terceros, fletes, etc.). Al agregar presupuestos de gastos de las áreas se obtiene el consolidado para la empresa, que a partir de allí proyecta sus resultados y los presenta al directorio previo al inicio del ejercicio.

En la Figura 2-1 se muestra el proceso completo de presupuestación con sus tareas más importantes. Como se puede observar, el proceso abarca un total de 4 meses y medio.

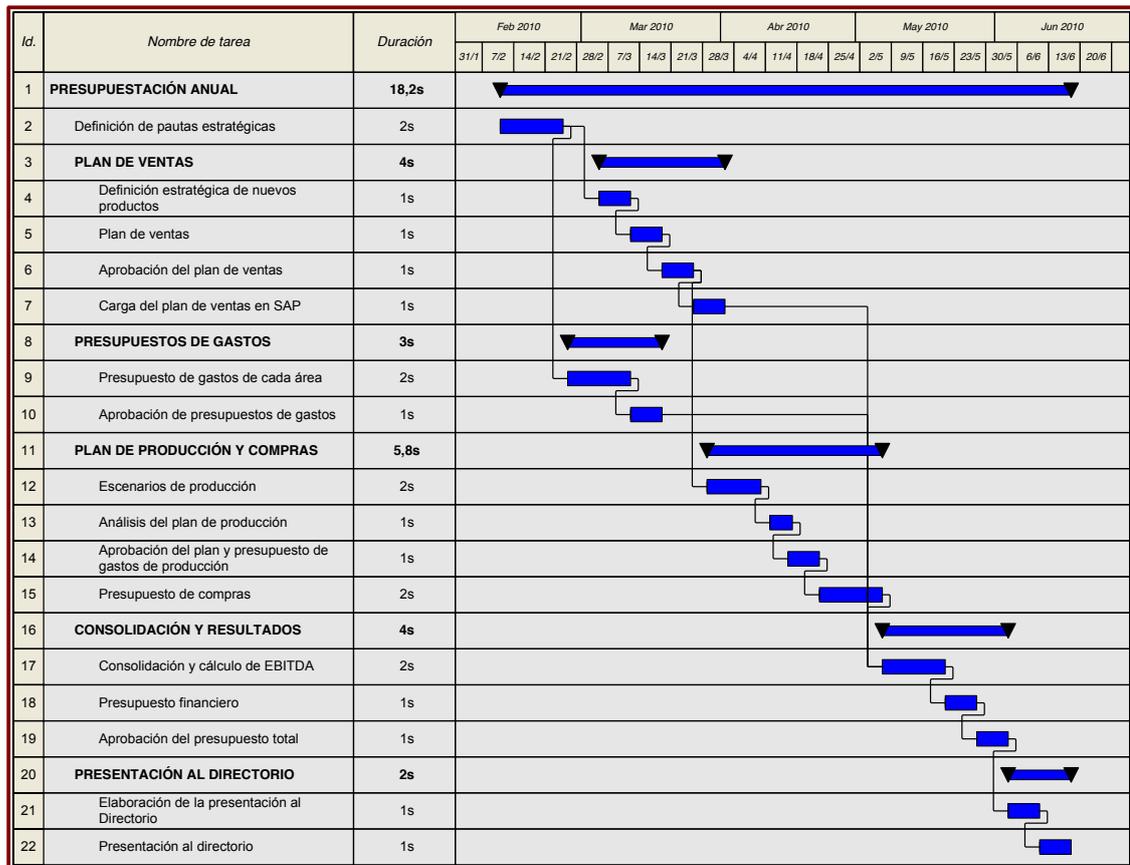


Figura 2-1. Cronograma de presupuestación anual

A continuación se detallan las tareas más importantes dentro del proceso de presupuestación.

2.1.1. Definición de pautas estratégicas

Al principio del proceso de presupuestación, la Gerencia General fija una serie de pautas que se utilizan como guía para la elaboración de los presupuestos específicos. Es en esta etapa donde se acuerdan los niveles de crecimiento, niveles de precio, topes de aumentos de costo, mejoras en productividad, tipo de cambio, etc.

Una vez acordadas las diferentes pautas, se procede a elaborar el presupuesto de ventas.

2.1.2. Plan de ventas

2.1.2.1. Definición estratégica de nuevos productos

Antes de comenzar con el plan de ventas, el departamento de marketing y la Gerencia General definen volúmenes generales y fechas de lanzamiento para los nuevos productos. Este input es utilizado por el área comercial para realizar su presupuesto de ventas. El presupuesto final a nivel de sku de estos productos se incluye en el presupuesto en la primera revisión en el mes de julio.

2.1.2.2. Elaboración del plan de ventas

El área comercial toma las ventas de años anteriores y aplica las pautas estratégicas fijadas por la Gerencia General para obtener el plan mensual de ventas por producto.

El primer borrador del plan de ventas se discute con el área de marketing para revisar los crecimientos y pautas por línea de producto, haciendo las correcciones de acuerdo a las tendencias observadas en los últimos años y las investigaciones de mercado que se hayan realizado.

Una vez terminado y acordado el plan de ventas, se elabora el plan de necesidades de ventas. Este plan es el que se pasa al área de producción para que realice el plan de producción. Existen dos diferencias básicas entre el plan de ventas y el plan de necesidades de ventas: la calendarización y el stock de seguridad. La calendarización difiere entre ambos planes ya que el plan de ventas proyecta la facturación y el plan de necesidades proyecta la necesidad de producto. Estas dos se separan en el momento que se realizan reservas de temporada. La reserva toma stock disponible para la venta y lo bloquea por lo que sólo el cliente que lo reservó podrá utilizarlo. Dado que las reservas son

consumidas a lo largo de toda la temporada, el plan de necesidades de ventas se adelanta al de ventas. El stock de seguridad es un extra de producción que se solicita en el plan de necesidades para cubrir eventuales crecimientos mayores a los esperados en productos estratégicos para la compañía. Este stock es definido por el área comercial sin un cálculo de optimización sino cubriendo un volumen de ventas máximo estimado. Vale la pena destacar que durante el desarrollo del ejercicio, los stocks de seguridad que no fueron consumidos no son restados del plan de producción próximo, sino que se completa la fabricación de todas las cantidades planificadas. Por este motivo, el stock de seguridad no consumido queda en el inventario de cierre de la compañía al cierre del ejercicio.

Finalmente, los planes de necesidades y ventas son pasados a aprobación de Gerencial General antes de continuar con los pasos siguientes del proceso de presupuestación.

Nótese que la empresa no diferencia el presupuesto de ventas del plan de ventas, por lo que el presupuesto tiene el mismo nivel de agregación que un plan de ventas y el plan de ventas se realiza con la misma anticipación que un presupuesto de ventas.

2.1.3. Plan de producción y compras

En esta etapa se elaboran todos los planes para abastecer las necesidades de ventas. Se incluyen los productos de fabricación propia y los productos realizados por terceros. Otra vez, es importante remarcar que no se distingue entre los presupuestos y planes de producción y compras. En particular, el plan de producción, que se realiza a nivel de producto por mes, es desagregado en un programa de producción mensualmente y se comunica a los distintos sectores de planta a través de un diagrama de Gantt para que cada uno planifique sus acciones a fin de cumplirlo.

2.1.3.1. Escenarios de producción

A partir de las necesidades de ventas, el área productiva elabora distintas alternativas de producción variando cantidades de horas extra, contratación de personal temporario, niveles de servicio y tiempos de máquina ociosos para cubrir posibles atrasos de producción, revisiones del plan de ventas o pedidos especiales del mercado interno y de exportación. El nivel de servicio al plan de ventas se toma como un parámetro ya que se permite realizar una planificación en la que se no se abastezca a tiempo el plan de ventas. Esto genera un quiebre de stock proyectado, que será un quiebre real en la medida en que se cumpla el plan de ventas.

Los pedidos especiales son pedidos de producción de marca propia de un cliente que son fabricados por la empresa. A estos productos se los identifica como “marcas blancas” y su planificación implica horas de máquina libres a lo largo del ejercicio hasta que son confirmadas por el cliente. Estas horas son reservadas por el planificador hasta la confirmación final del cliente. De no ocurrir el pedido, se utilizan las horas para la producción de productos propios.

Partiendo del plan de necesidades de ventas y restando el stock de inicio proyectado se obtienen las necesidades de producción. Para realizar la planificación se procede a saturar la capacidad de máquina y mano de obra de adelante hacia atrás, cumpliendo los parámetros fijados para cada escenario y los estipulados en las pautas estratégicas. Por último, se agrega al plan de producción un volumen estipulado de producción para los meses post-temporada. Este extra de producción tiene como fin principal mantener a la planta funcionando, aprovechando la mano de obra ociosa. En un principio, se planifica un mix preliminar de conversiones para que luego, durante los meses de temporada, el grupo de planeamiento defina un mix de producción que permita reconstituir el stock de productos sobre vendidos. El resultado de este proceso es un plan de producción por producto por mes para las distintas alternativas o escenarios planteados.

Por último, cada escenario es valuado para presentarlo al grupo de planeamiento para su evaluación.

2.1.3.2. Análisis del plan de producción

El grupo de planeamiento analiza los indicadores resultantes de cada alternativa y recomienda las que considera mejores a la Gerencia General que finalmente opta por una dando su aprobación para continuar con el plan de compras. En este punto se tienen en cuenta el nivel de servicio y la flexibilidad del plan de producción. También se evalúan los niveles de inventario ya que deben tenerse en cuenta los riesgos de sobre stock que implican.

El análisis de flexibilidad se hace verificando cuándo es el momento límite para solicitar una baja de producción de algún producto. Este límite viene dado por el momento en que se realizaron las compras de sus insumos y que no pueden ser utilizados para otro producto. Hay que tener en cuenta que a esta altura no se ha confeccionado el plan de compras por lo que el tiempo de compra de un insumo se estima en función de su lead time y la opinión del personal de abastecimiento. La flexibilidad para aumentar la producción de un producto está dada por los espacios de máquina ociosos. Existe además una restricción de mínimos de producción a la hora de solicitar una ampliación. Es difícil conocer de antemano si esto afectará la posibilidad de ampliar o no la

producción ya que no se conoce la cantidad que se pedirá. Estos casos surgen cuando un producto presenta un plan de producción concentrado en los primeros meses del ejercicio. De lo contrario, habiendo capacidad de máquina, la cantidad solicitada se agrega a la planificada que de por sí supera el mínimo de entrada en máquina.

2.1.3.3. Presupuesto de compras

A partir del plan de producción y de necesidades de ventas para productos tercerizados, se corre el proceso de MRP para determinar las necesidades de compra. Luego, el área de abastecimiento agrupa las necesidades y cambia su calendarización para cumplir mínimos de compra y optimizar las entradas en máquina de los proveedores.

El presupuesto de compras es valorizado en función de los aumentos de precio proyectados, que en líneas generales deben responder a los planteados en las pautas estratégicas del ejercicio.

Una vez aprobado el presupuesto de compras, se negocian las compras anuales con ciertos proveedores con el fin de fijar los precios para todo el ejercicio.

Además, se deben lanzar las compras para los primeros meses de ciertas materias primas ya que algunas presentan lead-times de hasta 90 días y son necesarias para la producción de los primeros meses del ejercicio que se presupuesta.

2.1.4. Consolidación y resultados

Reuniendo los presupuestos de ventas, producción y compras con los presupuestos de gastos de cada área, el área contable realiza el cálculo de resultados mensuales y anuales para el ejercicio. Luego, el área de finanzas realiza la proyección del cash-flow del ejercicio y analiza las necesidades de caja. De allí desprenden los costos financieros del presupuesto, que son tomados por el área contable para cerrar la versión final del presupuesto.

La Gerencia General realiza la última revisión del presupuesto y lo aprueba o comunica las correcciones a realizar para su aprobación.

El presupuesto aprobado es plasmado en una presentación, junto con los resultados del ejercicio anterior, al directorio de la compañía, que finalmente aprueba o solicita modificaciones para fijar el presupuesto para todo el ejercicio.

2.1.5. Revisiones del presupuesto

El presupuesto aprobado se revisa trimestralmente en base a las distintas correcciones observadas durante el desarrollo del negocio. La primera revisión se realiza en el mes de Agosto, a un mes del comienzo del ejercicio. En particular, en esta revisión se realizan tres modificaciones importantes:

- agregado del detalle por producto de productos nuevos al plan de ventas
- modificación del plan de ventas a partir de los planes por vendedor
- corrección el plan de producción para compensar las diferencias entre el stock de inicio proyectado y el real al cierre de junio y los puntos anteriores

Mientras avanza el proceso de presupuestación, el área de marketing desarrolla los productos nuevos que serán lanzados en la nueva temporada. Al llegar a la primera revisión, estos productos ya tienen las especificaciones necesarias para ser panificados. Los volúmenes generales proyectados en un principio son bajados a nivel de producto para ser incluidos en el plan de ventas y planificados por el área de producción con este mismo detalle. Al realizar esta desagregación pueden surgir diferencias con lo proyectado que serán corregidas en la planificación de la producción.

Paralelamente al proceso de desarrollo de productos, el área comercial baja los objetivos generales a nivel de cliente/vendedor. Estos planes son discutidos con cada vendedor a fin de encontrar un plan consensuado. Al finalizar las revisiones con todos los vendedores, se consolidan los planes para obtener un nuevo plan de ventas general. Éste es comparado con el original presentado en el mes de marzo y se pasan las diferencias más importantes a producción para que sean corregidas en el plan de producción.

Finalmente, todas las modificaciones planteadas por el área comercial, el detalle por producto por mes de los productos nuevos y las diferencias entre el stock de inicio proyectado y el real al cierre del ejercicio son plasmadas en el plan de producción por el área de planeamiento de producción.

Todas estas modificaciones son incluidas en el presupuesto que se maneja durante el año, pero no afectan el presupuesto que siguen los accionistas, presentado con anterioridad a estas modificaciones.

Luego, se realizan dos revisiones más durante el ejercicio. Éstas tienen su origen en los acontecimientos que pueden producirse durante el ejercicio o cambios en las perspectivas del negocio y tienen efecto en los resultados del ejercicio. Las perspectivas del negocio se obtienen en su mayoría de los

seguimientos que se realizan periódicamente. Éstos se detallan en la sección 2.2.

2.2. Seguimiento y control del presupuesto

El seguimiento del plan se hace a distintos niveles y con distintas frecuencias. De cada uno de ellos se extraen distintas conclusiones y planes de acción. En la Figura 2-1 se muestran los distintos controles. A continuación, se describe cada uno de ellos.

CONTROL	FRECUENCIA	NIVEL DE DETALLE	ACCIONES QUE DISPARA
Informes contables	<i>Mensual</i>	<i>Unidad de negocio</i>	<i>Promociones de ventas Acciones de marketing Revisiones de presupuesto</i>
Informes de área	<i>Semanal</i>	<i>Línea de productos Zona de ventas Máquina</i>	<i>Promociones de ventas Acciones de marketing Tercerización de productos</i>
Grupo de planeamiento	<i>Mensual</i>	<i>Código de producto</i>	<i>Ampliaciones / bajas / cambios de calendarización de producción y ventas Tercerización de productos</i>

Tabla 2-1. Controles de presupuesto

2.2.1. Informes contables

Mensualmente el área administrativa realiza los cierres contables y presenta los resultados de cada área comparados con su presupuesto. Los resultados se presentan agregados a nivel de unidad de negocio por lo que las decisiones que se toman a partir del mismo son de carácter general. Dado que el procesamiento de la información contable requiere de cierto tiempo después del cierre del mes (usualmente 9 días hábiles), la información que se extrae de este informe no permite actuar a tiempo. Esto se acentúa durante la temporada, cuando los tiempos de acción requeridos son más cortos.

2.2.2. Informes de área

Los informes de área son reportes semanales sobre la actividad de producción y ventas, elaborados por cada área y cubren los problemas que se presentan, con el fin de realizar acciones conjuntas con otros sectores o comunicar el problema a la organización. Su nivel de detalle es medio, cubriendo líneas de productos, zonas de ventas o máquinas por lo que apuntan a informar de manera general, permitiendo tomar decisiones sobre un sector específico sin entrar en detalles no compatibles con un nivel gerencial. En general, estas

decisiones son bajadas al personal medio u operativo para ser llevadas a la operación.

2.2.3. Grupo de planeamiento

Este grupo, conformado por representantes de producción, ventas, marketing, abastecimiento y finanzas, realiza revisiones mensuales de los avances de las ventas, la producción y las compras. Su principal objetivo es brindar un nivel de servicio acorde al planteado en las pautas estratégicas cuidando los niveles de inventario.

En cada oportunidad, se convoca a sus integrantes a una reunión en la que se realiza un seguimiento por producto de la producción, las ventas y las compras. Este seguimiento requiere un tiempo de preparación de la información de aproximadamente una semana. Luego se realiza la reunión del grupo, en donde se detectan los problemas. Ésta toma aproximadamente un día ó dos. Al encontrar problemas particularmente importantes, se indaga con mayor profundidad para encontrar sus causas. Esta investigación requiere en general una semana más. Luego se procede a implementar la acción elegida. Si esta acción consiste en tercerizar o retrabajar un producto para transformarlo en otro, incrementar o bajar el plan de producción o de ventas debe pasar a aprobación de la Gerencia General.

Ahora bien, si un producto entra en quiebre de stock a principio de mes, el grupo de planeamiento lo verá aproximadamente un mes más tarde, luego del cierre y la recopilación de información. Una vez advertido el problema, se debe determinar la causa del quiebre. Si el quiebre se debe a un problema productivo se analizan distintas soluciones que pueden variar mucho según el producto. Si el quiebre surge de ventas mayores que el presupuesto, debe primero estimarse si la producción restante será suficiente para la demanda proyectada bajo el nuevo escenario. Además debe determinarse si la próxima fecha de ingreso del producto es satisfactoria o si es posible y qué acciones deben tomarse para adelantarla. Todos estos análisis toman en general entre una y dos semanas. Luego, dependiendo de la acción propuesta, se debe pasar a aprobación de la Gerencia General. Por último, se implementa la acción. El tiempo hasta que el problema se solucione es muy variable y puede ser tanto de una semana como de tres meses. Si tomamos el tiempo total entre el quiebre y la implementación de la acción, vemos que puede existir un lapso de hasta un mes y medio. Luego correrá el tiempo hasta la solución del problema.

En la Figura 2-2 se muestra una línea de tiempo mostrando la secuencia de acciones para este caso.

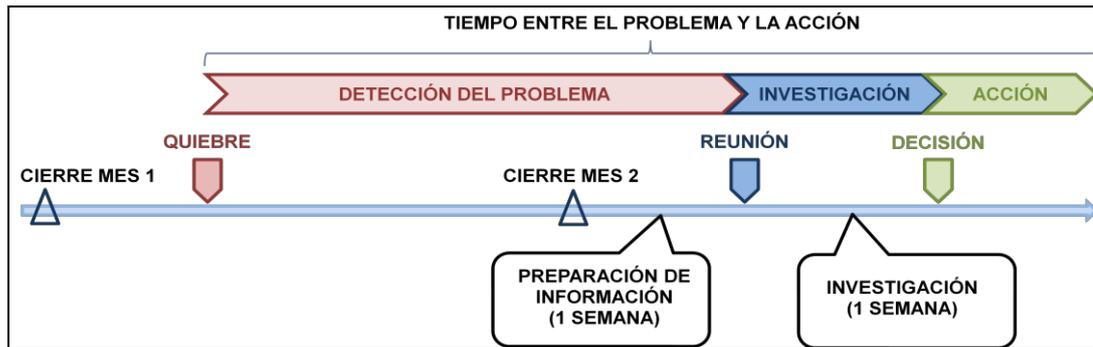


Figura 2-2. Secuencia de acciones del grupo de planeamiento

Además del seguimiento por producto, cada sector debe aportar a la reunión los problemas que se presentaron para buscar soluciones conjuntas.

2.2.4. Ampliaciones o bajas

Las ampliaciones y bajas son el instrumento utilizado por la empresa para modificar sus presupuestos de ventas y producción con el fin de evitar quiebres o stocks sobrantes de productos con bajas ventas. Las solicita el grupo de planeamiento y todas deben ser aprobadas por la Gerencia General.

2.2.5. Marcas blancas y licitaciones

Durante la planificación del ejercicio, se programa una serie de productos genéricos para después ser reemplazados por productos reales correspondientes a licitaciones o marcas blancas. Las licitaciones muchas veces requieren productos de línea por lo que estas horas no son utilizadas con ese fin.

Los productos genéricos permiten mantener la estrategia de planificación descrita en 2.1, guardando horas de producción y generando los costos y resultados de estos negocios, si que ellos haya sido definidos aún.

2.2.6. Plan de producción en temporada baja

Durante los meses posteriores a la temporada, la actividad productiva de la empresa se ve altamente reducida. A pesar de desafectar al personal temporario de producción, la planta productiva mantiene una importante masa de gastos de estructura que no son utilizados. Con el objetivo de utilizar esta capacidad ociosa, la empresa fabrica un volumen mínimo no solicitado por el área comercial. Debido a los lead time de la materia prima, el área productiva solicita que el área comercial defina el mix de productos de este volumen en diciembre, para comenzar a fabricarlo en marzo. Esto hace imposible que el área comercial pueda utilizar estas horas de máquina para recomponer los stocks de productos sobrevendidos durante la temporada.

2.2.7. Stock de seguridad

Como se menciona en el apartado 2.1.2.2, en el plan de necesidades de ventas se incluye un stock de seguridad. Estas cantidades extra que solicita el área comercial son calculadas en base a sus propias estimaciones y no a un análisis estadístico de la dispersión de la demanda y de los lead time de producción. Por otro lado, el stock de seguridad tampoco es gestionado como tal ya que si, en un mes determinado, estas cantidades no son consumidas el excedente no es restado de la necesidad de ventas sino que se mantiene el plan de producción original. De esta manera, si un producto tiene un stock de seguridad estipulado y el mismo no alcanza su plan de ventas, el stock de seguridad quedará como un excedente dentro del stock de cierre del ejercicio.

2.3. Errores de pronóstico de la demanda

El sistema de presupuestación de la empresa, descrito en el apartado 2.1, es determinista en todos los aspectos. Durante el desarrollo del ejercicio, las variaciones son absorbidas mediante ampliaciones y bajas de producción, cambio de fechas de entrada en máquina y el denominado stock de seguridad.

El tiempo que requiere solicitar, aprobar e implementar una ampliación o una baja de producción las transforma en situaciones excepcionales. Esto hace que el tipo de seguimiento y control aplicado en la empresa sean apropiados para situaciones en las que el pronóstico de la demanda es altamente preciso. Por lo tanto, para analizar la conveniencia de este sistema, primero debe medirse la precisión del plan de ventas.

2.3.1. Cumplimiento del plan de ventas

2.3.1.1. Definición del indicador

Para medir la precisión del plan de ventas se utiliza un indicador llamado Cumplimiento del Plan de Ventas (CPV). Este indicador se calcula como el porcentaje de productos cuya venta real se encuentra dentro de la franja de +/- 10% del plan de ventas. Se calcula tanto de forma mensual como acumulado. El indicador mensual toma las ventas y el plan del mes en estudio por lo que un adelanto o atraso de ventas hacen que el indicador sea menor. Por otro lado, el indicador acumulado se calcula tomando las ventas acumuladas en el ejercicio hasta el mes en estudio y el plan de ventas acumulado hasta ese mismo mes. De esta manera, si un producto atrasó sus ventas y luego recuperó dicho atraso, el indicador acumulado mejorará aunque así no lo haga el mensual. Por lo tanto, un valor alto del CPV indica que una mayor cantidad de productos se proyectaron correctamente.

PRODUCTO	MES 1				MES 2				MES 3				
	MENSUAL		ACUM		MENSUAL		ACUM		MENSUAL		ACUM		
A	PV	100	30%	100	30%	100	-50%	200	-10%	100	5%	300	-5%
	REAL	130		130		50		180		105		285	
B	PV	500	4%	500	4%	500	2%	1.000	3%	500	-60%	1.500	-18%
	REAL	520		520		510		1.030		200		1.230	
C	PV	1.000	-80%	1.000	-80%	1.500	20%	2.500	-20%	1.600	-88%	4.100	-46%
	REAL	200		200		1.800		2.000		200		2.200	
D	PV	2.000	5%	2.000	5%	2.000	-60%	4.000	-28%	2.100	33%	6.100	-7%
	REAL	2.100		2.100		800		2.900		2.800		5.700	
E	PV	1.500	20%	1.500	20%	1.600	25%	3.100	23%	1.400	-79%	4.500	-9%
	REAL	1.800		1.800		2.000		3.800		300		4.100	
F	PV	1.200	8%	1.200	8%	1.000	-49%	2.200	-18%	1.100	-82%	3.300	-39%
	REAL	1.300		1.300		510		1.810		200		2.010	
G	PV	400	-75%	400	-75%	600	-50%	1.000	-60%	600	117%	1.600	6%
	REAL	100		100		300		400		1.300		1.700	
H	PV	200	-25%	200	-25%	300	-60%	500	-46%	300	-8%	800	-32%
	REAL	150		150		120		270		275		545	
CUMPLIDO	3		3		1		2		2		4		
NO CUMP.	5		5		7		6		6		4		
TOTAL	8												
CPV	38%		38%		13%		25%		25%		50%		

Tabla 2-2. Ejemplo de cálculo del CPV

En el ejemplo de la Tabla 2-2 se ven varios comportamientos de productos y cómo éstos afectan al indicador. El producto A presenta durante el mes 1 una demanda un 30% mayor a la planificada. Durante el mes 2 la demanda cae y no cumple su plan mensual. Al ver los valores acumulados, vemos que la caída le permitió acomodar su demanda acumulada al plan acumulado, por lo que aunque este producto haga caer el indicador mensual para el mes 2, lo hará subir para el acumulado del mismo mes. Por otro lado, vemos el producto E cuyos valores mensuales presentan desvíos importantes en todos los meses. A pesar de esto, los desvíos se compensan para obtener un valor acumulado de acuerdo al plan en el mes 3. De esta forma, si éste fuera el único producto que se comercializa, el CPV mensual y acumulado sería de 0% todos los meses excepto en el mes 3, cuyo valor acumulado será del 100%. En general, podemos apreciar en el ejemplo que el CPV total durante el mes 1 es del 38%. Durante el mes 2, la precisión del plan cae al 13% mientras el acumulado lo hace al 25%. El mes 3 presenta una recuperación en la precisión del plan mensual aunque la misma del plan acumulado muestra un salto mucho mayor, alcanzando un valor del 50%. Esto muestra que durante este mes, los productos acomodaron sus demandas al plan acumulado.

Es fácil ver que el CPV no se ve afectado únicamente por las ventas sino también por el stock. Cuando un producto no se encuentra en stock en un determinado momento, las ventas de ese producto no podrán realizarse y por lo tanto el indicador se verá afectado. Para minimizar este efecto, puede corregirse el indicador mensual no tomando en cuenta los productos cuyo stock al inicio del mes alcanza para satisfacer el 90% plan de ventas para el mismo.

2.3.1.2. Propiedades del CPV

El CPV es una buena medida de la precisión del plan de ventas ya que presenta una visión general indicando cuantos productos ajustaron sus ventas a las proyectadas. De todas formas cabe mencionar algunas propiedades del indicador a tener en cuenta a la hora de utilizarlo para el análisis.

En primer lugar, el CPV mide las variaciones pero no su magnitud. Esto se debe a que un producto cuya variación fue del 15% respecto de su plan de ventas tiene la misma incidencia que uno que tuvo una variación del 80%. Más allá de las mejoras que pudieran hacerse en la planificación de ventas, es evidente que las variaciones que presenta el mercado no son compatibles con los límites impuestos en el cálculo del CPV (10% de variación máxima para considerar el plan como cumplido).

Por otro lado, como se menciona en 2.3.1.1, el indicador se ve afectado por el stock disponible para la venta. Cuando el stock no alcanza para satisfacer el plan de ventas del mes, será imposible que el indicador refleje un acierto del plan en el caso que así fuera. A pesar de la corrección que puede hacerse para el CPV mensual, la misma no puede hacerse para el indicador acumulado.

Otra propiedad a destacar del CPV es que su cálculo no es ponderado. Esto significa que un producto cuyo peso en el plan de ventas total es del 5% tiene el mismo efecto en el indicador que uno que representa el 0,1%.

2.3.1.3. Precisión del plan de ventas de la empresa

Ya habiendo descrito el indicador en la sección 2.3.1.1 se procede a mostrar los valores reales de la empresa. En la Figura 2-3 se muestra el indicador mensual corregido por stock para los últimos 3 ejercicios.

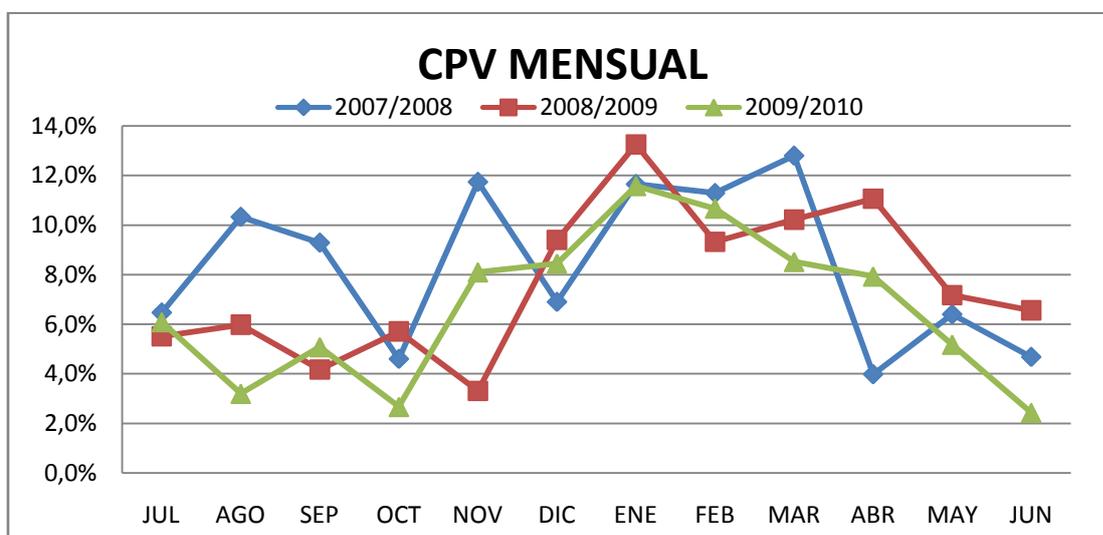


Figura 2-3. Cumplimiento del plan de ventas mensual

Como podemos apreciar en la Figura 2-3, el CPV mensual nunca supera el 13%, lo que configura un cumplimiento del plan mensual realmente bajo. Suponiendo que el plan de ventas por producto finalmente se cumple con una alta precisión, los altos errores mensuales no permiten brindar un buen nivel de servicio durante el desarrollo del negocio. Esto quiere decir que a pesar de que la empresa cumpla sus objetivos de volumen y mix de productos, lo hará con un bajo nivel de servicio, poniendo a prueba constantemente la lealtad del consumidor a la marca. Para minimizar este efecto, se utiliza el stock de seguridad mencionado en el punto 2.2.7. Por otro lado, existen productos de bajo volumen que obligan al área productiva a entrar en máquina por los mínimos de producción establecidos, generando un stock con una cobertura de varios meses. Estos productos no se ven afectados por el bajo cumplimiento siempre y cuando el volumen anual se cumpla.

Un punto importante a destacar es el crecimiento que presenta el indicador durante los meses de temporada. Esto se debe a que los productos de temporada son productos con mayor historia en la empresa por lo que su comportamiento se conoce con mayor profundidad. Por el contrario, los meses anteriores a la temporada presentan en general una caída del CPV ya que en durante los mismos el indicador se ve afectado por los lanzamientos cuyo comportamiento no es conocido con la misma profundidad que el resto de los productos.

En la Figura 2-4 se muestra la evolución del indicador del cumplimiento del plan de ventas acumulado. Se observa que presenta una mejoría sensible respecto del indicador mensual, aunque el error sigue siendo alto y por lo tanto no permite que la estrategia de planificación de la empresa sea efectiva, como se discute en la sección 2.2.

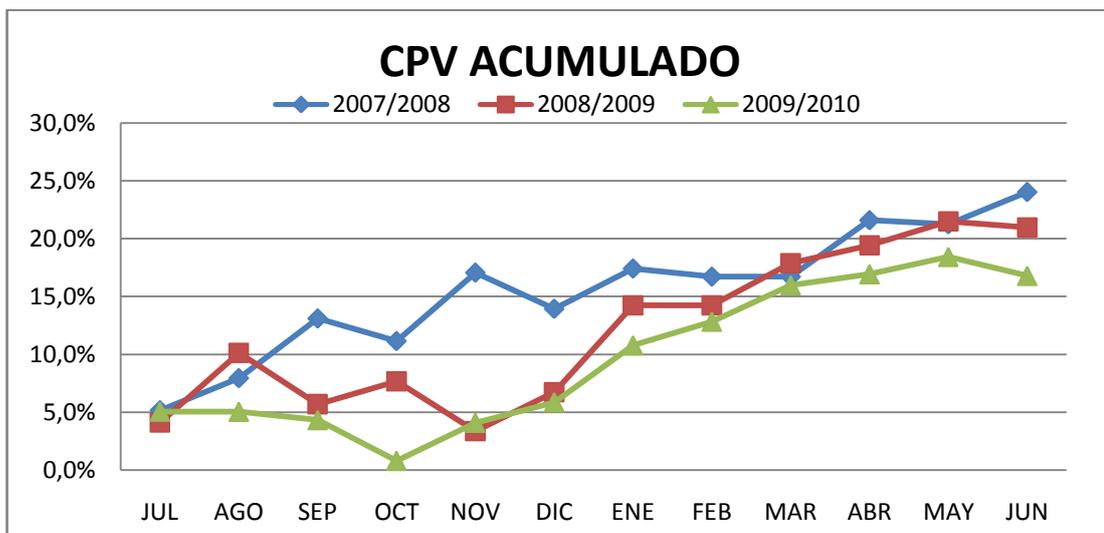


Figura 2-4. Cumplimiento del plan de ventas acumulado

Es importante destacar el comportamiento que presenta CPV acumulado, creciendo desde el comienzo hasta el final del ejercicio. Esto se debe principalmente al seguimiento que realiza el área comercial de los productos y a las acciones que toma para corregir las tendencias que no se ajustan al plan. De todas formas, el indicador sugiere que en aproximadamente el 80% de los productos, resulta imposible corregir la diferencia.

2.3.2. Errores de pronóstico en nuevos productos

Un producto con mayor antigüedad en general permite conocer con mayor precisión su comportamiento y de esta manera, que sus ventas sean más predecibles. Los productos nuevos, lanzados cada año por la compañía, representan un desafío para el área comercial a la hora de proyectar sus ventas. Para realizar el plan de ventas se utiliza una combinación de varios elementos. En primer lugar, se hacen estimaciones en base a productos similares existentes en la cartera actual. Sobre estas estimaciones se realizan correcciones basadas en relaciones históricas como la relación hojas rayadas vs. cuadriculadas o los colores de tapas. Por otro lado se conjugan los objetivos fijados en el plan estratégico sobre productos nuevos. De no existir productos similares, el volumen estimado de ventas se obtiene conjugando los datos que provee el área de marketing, de acuerdo a las investigaciones de mercado que desembocaron en el desarrollo del producto y los objetivos del plan estratégico.

En la Figura 2-5 se muestra el CPV obtenido a partir de los lanzamientos de la temporada 2009/2010 separando los productos lanzados de los preexistentes.

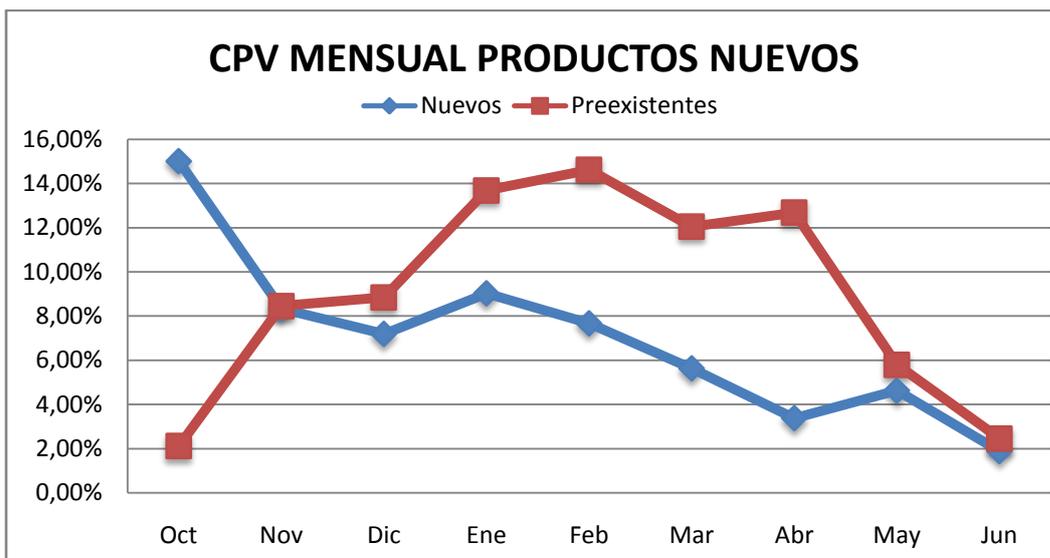


Figura 2-5. CPV mensual productos nuevos y preexistentes

Se puede observar que a pesar de ser una diferencia baja, los productos nuevos presentan una precisión en el plan de ventas menor a los preexistentes.

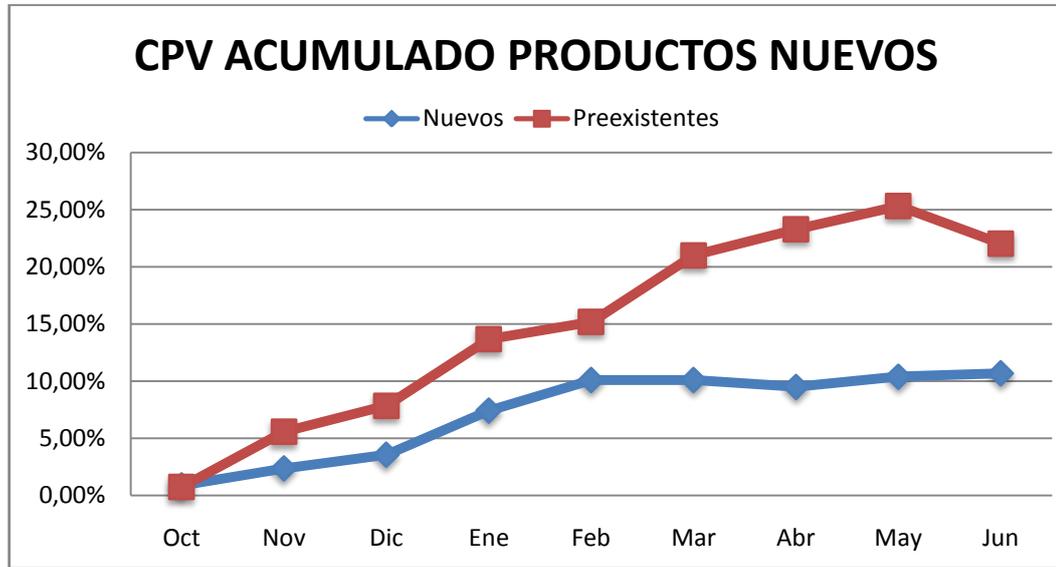


Figura 2-6. CPV acumulado productos nuevos y preexistentes

Analizando el CPV acumulado para el mismo período (Figura 2-6) se ve que a medida que avanza la temporada, el cumplimiento del plan de ventas de productos preexistentes es mucho mayor al de los productos nuevos, llegando a diferencias de 15 puntos.

Por otro lado, si se analiza la dispersión de los desvíos de las ventas respecto del plan de ventas para productos nuevos (Figura 2-7) se ve que el 56% de los productos no alcanzaron el 60% (desvío del 40% o mayor hacia abajo) del presupuesto del año.



Figura 2-7. Distribución de los desvíos respecto del plan de ventas en productos nuevos

Si comparamos esta distribución con la obtenida para los productos preexistentes que se muestra en la Figura 2-8 vemos que la planificación de productos nuevos representa una fuente de error importante, lo que evidencia la dificultad de presupuestar productos de los que no se tiene historia.

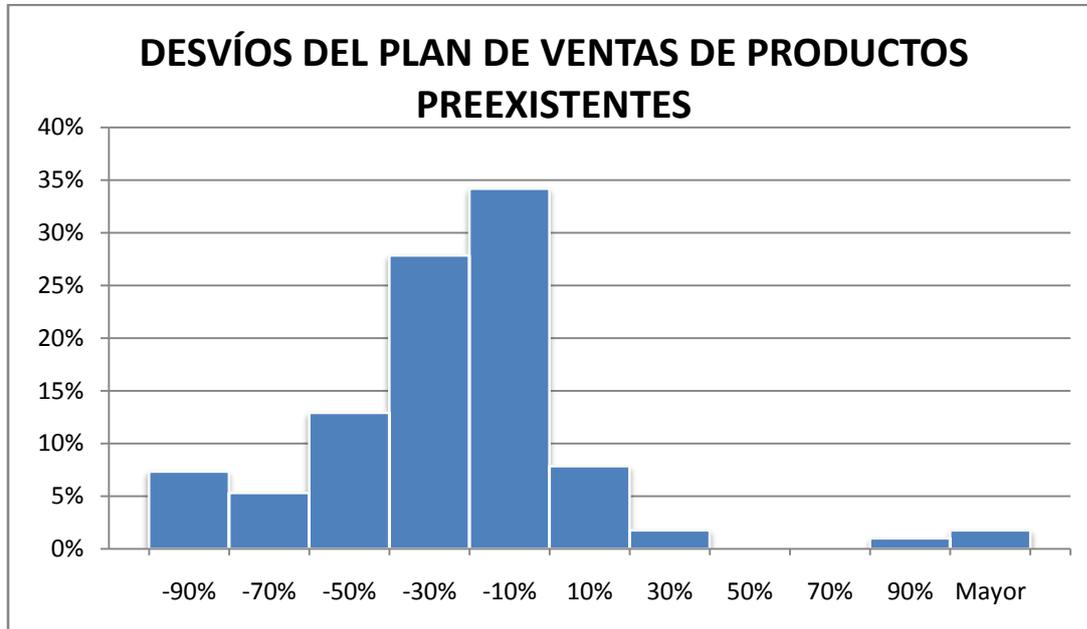


Figura 2-8. Distribución de los desvíos respecto del plan de ventas en productos preexistentes

Más allá de los grandes desvíos que existen en ambas distribuciones, es importante destacar el sesgo que existe en los productos nuevos hacia la sobreestimación de la demanda, vinculado con los objetivos de crecimiento de la empresa. Los productos preexistentes presentan una distribución centrada en torno al -10% lo que muestra que la caída de volumen con respecto al plan se da en forma más pareja, o lo que es lo mismo, manteniendo en cierta forma el mix de productos planificado.

2.3.3. Productos de una temporada

Dentro de los lanzamientos de cada temporada se encuentra una serie de productos cuya comercialización se prevé para solo una temporada. Las razones de obsolescencia de estos productos se deben básicamente a alguna característica del mismo y no al deterioro que pudiera sufrir con el paso del tiempo. Los productos más comunes dentro de este grupo son las agendas, los productos de conmemoración de un aniversario o acontecimiento y los productos con contrato de licencia.

Algunos de estos productos, dependiendo de sus características, pueden seguir vendiéndose en temporadas siguientes pero a precios de liquidación.

Estos productos presentan un doble problema ya que además de ser nuevos y por lo tanto no conocer su comportamiento, el remanente de temporada significará para la empresa un alto costo ya sea por liquidación a precios que no cubren su costo o por destrucción de los mismos, donde la pérdida es total. Por otro lado, si el producto es exitoso y se producen quiebres de stock, puede causar malestar a los clientes que no reciben las cantidades solicitadas. A pesar de que el quiebre de cualquier producto genera insatisfacción, la contrapartida de estos productos tiene un efecto mucho más importante en los resultados de la empresa ya que al no poder comercializar el remanente de stock, el costo del producto se pierde completamente mientras que el costo de mantener en inventario un producto más de lo esperado genera costos que representa una fracción del costo unitario dependiendo principalmente del tiempo que requiera liquidarlos.

2.4. Materia prima y lead time

Los productos que la empresa comercializa se componen de distintos materiales. Entre ellos podemos distinguir los más importantes por su alta incidencia en el costo del producto y por ser sus principales componentes físicos. Estos materiales son los siguientes:

- papel
- cartón
- alambre
- cartulina
- láminas
- tapas

No todos los productos se componen de todos ellos. Por ejemplo: un cuaderno escolar de tapa dura se compone principalmente de papel y las tapas. Las tapas, a su vez, se componen de cartón y una carátula (para el forrado del cartón). Un repuesto de hojas se compone principalmente de papel y su empaque, que dependiendo del fraccionamiento incluye o no un estuche de cartón.

El lead time de la materia prima es altamente variable para cada una. Depende, entre otras cosas, del material del que esté hecho y la estandarización del mismo.

A continuación se detallan las particularidades más importantes de las materias primas mencionadas.

2.4.1. Papel

El papel representa la materia prima más importante de todos los productos en términos de su calidad y su peso en el costo. El papel se comercializa en dos formatos: bobinas o planchas. Las planchas de papel son bobinas procesadas cortadas en forma rectangular según medidas especificadas.

El largo de la bobina es variable ya que el fabricante mantiene constante el diámetro de la misma. De esta forma, el largo de la bobina está dado por el espesor del papel fabricado. Las bobinas son conformadas por papel enrollado con un ancho que debe ser especificado. El proceso de fabricación del papel finaliza con el pope, entregando una gran bobina de un ancho determinado por la máquina que lo fabricó. Esta gran bobina es cortada longitudinalmente por el fabricante en bobinas más pequeñas según los requerimientos del cliente. De esta manera se facilita su manejo y estibaje. Además, esto permite utilizarlo en las máquinas convertidoras de papel, que aceptan un ancho de bobina determinado, variable con cada máquina.

Existen dos tipos de máquinas convertidoras de papel: las que insumen bobinas de papel y las que insumen planchas de papel. Las que insumen planchas requieren la transformación de la bobina en planchas cortadas a formato. En la empresa existen máquinas de los dos tipos pero sólo se compra papel en bobinas ya que el cortado a formato se hace dentro de la misma planta.

Cada línea de productos utiliza un tipo de papel particular y dentro de éstas existen distintas conversiones, el mismo tipo de papel debe comprarse con distintos anchos de bobina. Esto significa que si determinado papel para la línea A se encuentra en stock, es posible que el producto 1, que pertenece a la línea A no pueda fabricarse ya que para esto necesita que las bobinas en stock tengan el ancho aceptado por las máquinas que convierten dicho producto.

Otro aspecto importante a destacar es el concepto de “provechos”. Cada máquina acepta un ancho de bobina o formato de pliego determinado. La máquina realiza los cortes necesarios para transformar la bobina o la plancha al formato del producto terminado. El ancho de éstas es mayor al del producto terminado con el fin de realizar cortes longitudinales del insumo y así procesar los productos terminados en paralelo, multiplicando la velocidad de máquina. Cada una de estas líneas de procesamiento en paralelo es llamada provecho y existen tantos provechos como anchos de producto terminado entren en el ancho de la bobina o plancha, aunque una parte de este último se pierde con el desperdicio necesario del proceso.

Teniendo esto en cuenta puede verse que si una máquina tiene un ancho de bobina de, por ejemplo, 105 cm, el producto terminado tiene un ancho de 11 cm y la máquina requiere 3 cm en cada extremo, esta máquina obtendrá 9 provechos. Si el largo del producto es 20 cm y la máquina rota a una velocidad de 120 m/min, la máquina entregará $120 \text{ m/min} * 100 \text{ cm/m} / 20 \text{ cm/hoja} * 9 \text{ provechos} = 5400$ hojas por minuto. Supongamos ahora que el papel en stock utilizado para este producto se encuentra cortado en bobinas de 90 cm. Separando los 6 cm de desperdicio que requiere la máquina, quedan 84 cm útiles, lo que representa 7,6 provechos. Obviamente, esto permite realizar sólo 7 provechos por lo que la máquina entregará $120 \text{ m/min} * 100 \text{ cm/m} / 20 \text{ cm/hoja} * 7 \text{ provechos} = 4200$ hojas por minuto. Esto implica una reducción de la velocidad de máquina de un 22%. Además, el desperdicio pasará de $6/120 = 5\%$ a un $(6+0,6*11)/120 = 10,5\%$.

En resumen, algunas máquinas permiten utilizar bobinas de ancho menor al estándar de la máquina, pero esto genera importantes reducciones en la productividad y desperdicios sensiblemente mayores a los estándar.

2.4.2. Cartón

El cartón es utilizado en los productos para conformar tapas y/o contratapas. Existen otros componentes de los productos hechos de cartón pero éstos son fabricados por terceros y entregados como semielaborados. El cartón es comprado en planchas, especificando el formato y el espesor. Los tipos de cartón son estándar por lo que no existe un desarrollo particular con el proveedor para obtener un tipo especial para determinado producto, como es el caso del papel. Esto simplifica la compra ya que el proveedor puede tener stock permanente del cartón necesitado, sólo restando el corte a las medidas especificadas.

2.4.3. Alambre

El alambre es utilizado para el espiralado de los cuadernos. El alambre puede ser galvanizado forrado en plástico o desnudo. El revestimiento puede ser de distintos colores dependiendo de las especificaciones del producto.

Se puede obtener el alambre en formato de bobinas o preformado. El alambre en bobinas es utilizado por máquinas con formadora de alambre incorporada. La formadora de alambre genera el espiral en línea con el proceso del papel. El alambre preformado tiene un costo mayor y es utilizado por máquinas que no disponen de una formadora incorporada. Estas máquinas solo disponen de una cortadora de alambre que realiza el corte del preformado para cada cuaderno. El alambre preformado se compra por loops (vueltas) mientras que el bobinado se compra por kilo.

2.4.4. Cartulina

La cartulina, al igual que el cartón, se utiliza en distintos componentes del producto como las tapas o los sobres que contienen algunos productos. La empresa sólo consume cartulina sin procesar para producir hojas de dibujo. El resto de los semielaborados hechos en base a cartulina son comprados directamente a terceros.

Para producir las hojas de dibujo la cartulina es comprada en bobinas que luego es pintada y cortada a formato. Sus propiedades se encuentran estandarizadas por lo que sólo debe especificarse al proveedor el ancho de bobina y su gramaje.

2.4.5. Láminas

Las láminas son utilizadas en los productos con fines estéticos, didácticos y de comunicación. Se compran en pliegos o planchas especificando el formato y la cantidad y disposición de las láminas dentro del pliego. Estas especificaciones surgen del diseño del producto y la máquina que lo fabricará.

Dado que existen tirajes mínimos y que el costo tiene una alta dependencia del volumen solicitado, muchas veces se combinan distintos productos en un mismo pliego y luego éstos son guillotinaados puertas adentro para utilizarlos por separado.

2.4.6. Tapas

La mayoría de los productos que comercializa la empresa llevan una tapa y una contratapa. En algunos casos, como los cuadernos escolares de tapa dura, la tapa y la contratapa son la misma pieza que envuelve las hojas.

En el surtido de productos encontramos distintos tipos de tapa:

- cartón forrado
- cartón
- cartulina impresa
- papel ilustración impreso
- polipropileno

Las tapas de polipropileno se compran cortadas listas para su utilización. Las de cartulina, cartón y papel ilustración se compran en pliegos o planchas y son cortadas a formato con la guillotina.

Las tapas de cartón forrado requieren un proceso previo y en algunos casos el proceso se finaliza en paralelo con la realización del producto. Para armar las

tapas se requiere el cartón, las carátulas y el espejo. La carátula es el material exterior que se utiliza para forrar el cartón. El espejo es el forro interior de la tapa y la contratapa. Todos estos materiales son comprados en forma de planchas y cortados a formato con la guillotina.

Con los materiales guillotizados, se procede a pegar el cartón a las carátulas. Luego se termina de armar la tapa al pegar los espejos. Este trabajo se realiza en una máquina armadora de tapas. En algunos casos, el espejo no se pega hasta el momento de juntar la tapa con el cuadernillo. En ese momento se pega todo el conjunto de una sola vez por lo que en ningún momento existe una tapa armada como semielaborado, sino solo el cartón pegado a la carátula.

Es importante remarcar que en algunos productos, la identificación y el código de barras se identifica mediante una etiqueta por lo que las tapas del mismo producto rayado o cuadrado es exactamente igual. En otros casos, como el de los cuadernos universitarios, la identificación del producto se encuentra impresa en la contratapa por lo que los productos iguales con distinto rayado comparten la tapa pero no la contratapa.

2.4.7. Lead time

Los lead time de las materias primas utilizadas en la fabricación son muy diferentes entre sí. En la Tabla 2-3 se muestra un resumen con el lead time correspondiente a cada una de las materias primas mencionadas en la sección 2.4.

MATERIA PRIMA	LEAD TIME (DÍAS)
Papel	45
Cartón	45
Cartulina	45
Alambre	60
Láminas	15
Tapas de cartón forrado	90
Tapas de cartón	60
Tapas de cartulina impresa	90
Tapas de papel ilustración impreso	45
Tapas de polipropileno	90

Tabla 2-3. Lead time por tipo de materia prima

2.5. Resultados de las prácticas actuales

En la sección 2.1 se describe el sistema de presupuestación, planificación y programación que utiliza la empresa partiendo del plan de ventas en su máxima apertura hasta la consolidación de los resultados económicos y

financieros. En 2.2 se presentan los mecanismos de seguimiento y control que se aplican para llegar a estos objetivos. La sección 2.3 analiza el plan de ventas, que es la base de todo el sistema de planificación, y su precisión. Las condiciones de contexto provenientes del abastecimiento son plasmadas en la sección 2.4.

Estos métodos de planificación y su control generan resultados en los distintos aspectos de la empresa. A continuación se analizan los más importantes respecto del tema central de este trabajo: la gestión del stock.

2.5.1. Niveles de stock

Los niveles de stock resultantes de las prácticas actuales de la empresa pueden ser analizados desde distintas perspectivas para obtener así un diagnóstico completo a la hora de proveer soluciones para la gestión.

2.5.1.1. Evolución del stock

El nivel de stock obtenido al principio de cada mes con las prácticas actuales se muestra en la Figura 2-9. Los datos se encuentran afectados por un factor de conversión por producto por cuestiones de confidencialidad.

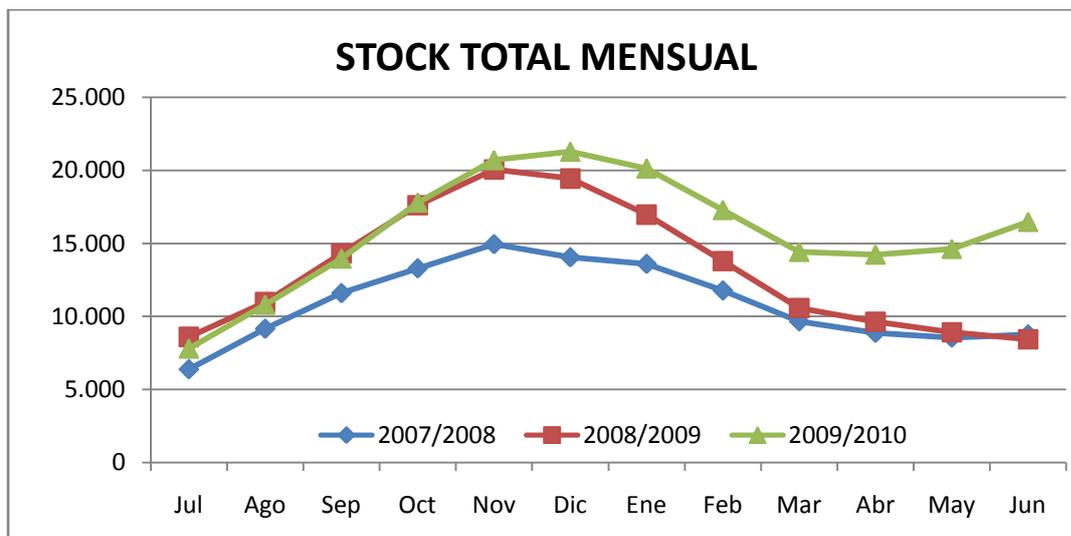


Figura 2-9. Stock total de los últimos 3 ejercicios

La descomposición del stock total de la empresa en materia prima, semielaborados y productos terminados puede verse en la Figura 2-10.

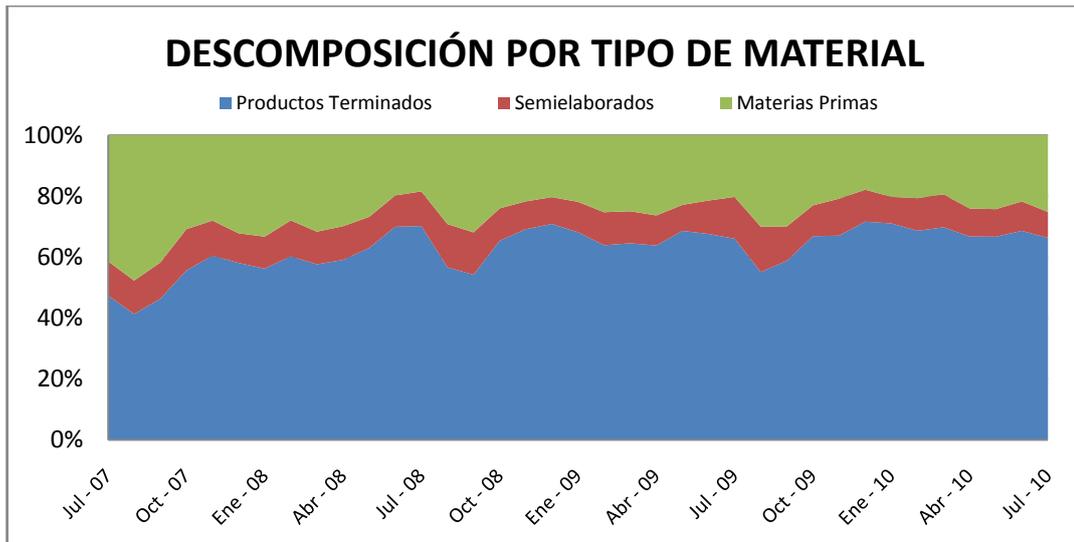


Figura 2-10. Descomposición del stock por tipo de material

Si se centra el análisis en el stock de productos terminados en primer lugar se debe prestar atención al comparativo de la evolución del stock año a año. Esto se puede ver en la Figura 2-11.

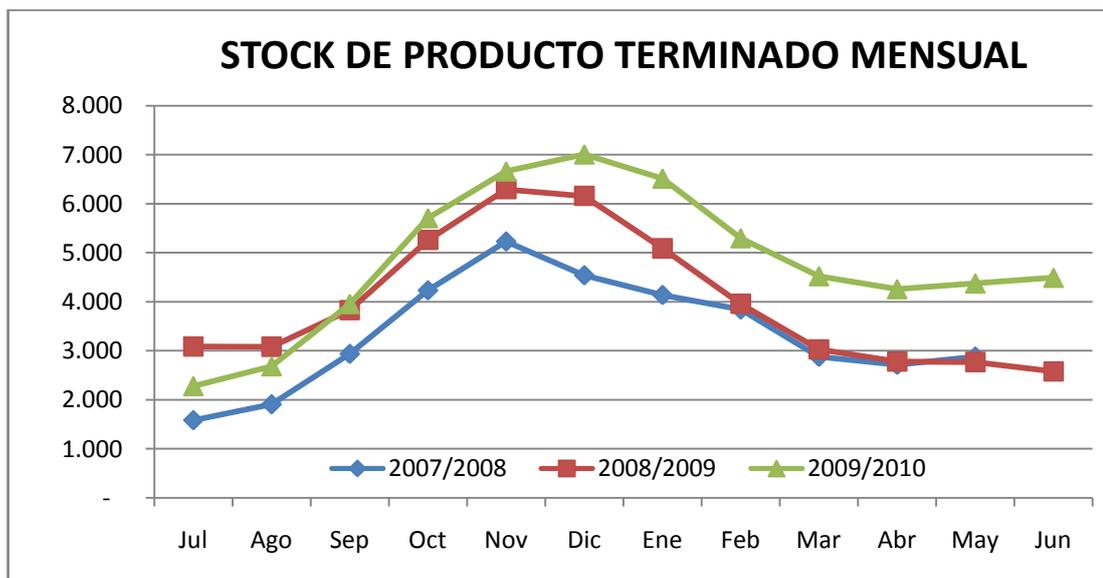


Figura 2-11. Stock de producto terminado de los últimos 3 ejercicios

El gráfico muestra claramente cómo la empresa comienza a constituir sus inventarios desde agosto. A partir de diciembre, las ventas superan el ritmo productivo por lo que los inventarios comienzan a decaer. En los meses de enero y febrero, el ritmo de caída aumenta debido a la caída de producción y al aumento de las ventas.

Sumado al stock necesario para los productos estacionales encontramos el stock de productos no estacionales. Estos productos son tratados por la

empresa de la misma forma y no se distinguen por su comportamiento. Sobre este punto vale la pena aclarar que en realidad, además de los productos estacionales y comerciales (no estacionales), se puede distinguir una tercera categoría denominada de comportamiento mixto. Los productos que conforman esta categoría presentan un comportamiento dual ya que se consumen tanto en ámbitos educativos como comerciales. Esto hace que sean productos que presentan una estacionalidad menor a los productos escolares, pero que su volumen de ventas en temporada baja sigue siendo importante. El comportamiento estacional de estos productos se ve acentuado por la forma de comercialización de la empresa. Esto se debe a que durante la temporada, la empresa negocia con sus clientes descuentos y plazos de pago especiales. Los clientes aprovechan estas negociaciones para stockearse de estos productos y así conseguir un mejor precio para las ventas que tendrán en los meses posteriores a la temporada.

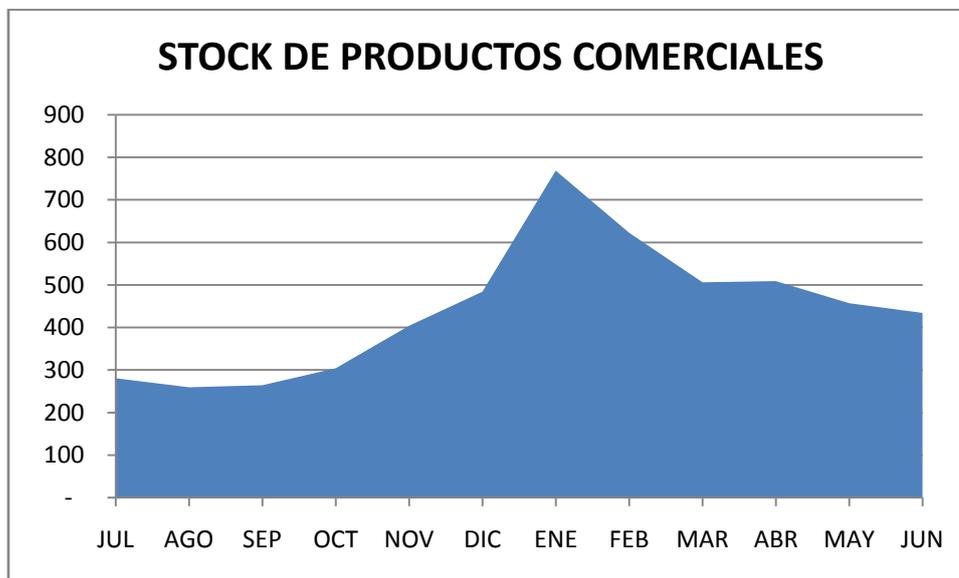


Figura 2-12. Stock de productos comerciales

En la Figura 2-12 se observa la evolución del stock de productos comerciales. Es de esperar que un producto cuya demanda es constante a lo largo del año no presente picos de stock. Pero la evolución de dicho stock presenta un pico claro durante la temporada, poniendo en evidencia que la producción de dichos productos se realiza siguiendo un plan de producción y no un sistema de gestión de stock. Al seguir un plan de producción, se realizan compras consolidadas, adelantando las mismas al intentar bajar los costos. De esta manera, el abastecimiento de productos queda desconectado de la demanda de los mismos generando stocks innecesarios durante meses con sus costos consiguientes.

Los meses post-temporada presentan un inventario con variación prácticamente nula. Esto se debe principalmente a la baja rotación que presentan los productos estacionales que no fueron vendidos en temporada. Los productos con comportamiento no estacional o comerciales, que mantienen su nivel de ventas durante esos meses, no logran hacer caer el stock debido a que durante esos meses se fabrica el “plan de producción en temporada baja” descrito en 2.2.6.

2.5.1.2. Composición del stock de productos terminados

Si se hace un análisis transversal del stock de cierre de cada ejercicio se observa que la mayor parte del mismo se compone siempre de las mismas líneas de producto. Este análisis se presenta en la Tabla 2-4.

LÍNEA	EJ. 0708	EJ. 0809	EJ. 0910	PROMEDIO
C99	41%	24%	41%	35%
C93	11%	11%	8%	10%
C55	11%	14%	3%	9%
C98	8%	7%	2%	6%
C65	7%	7%	2%	5%
C53	0%	7%	8%	5%
TOTAL	78%	70%	64%	70%

Tabla 2-4. Composición del stock de cierre

Cabe remarcar que las primeras 4 líneas, o sea la C99, C93, C55 y C98 se componen de productos netamente estacionales por lo que este stock permanecerá inmóvil hasta el comienzo de la próxima temporada. Nótese que estas 6 líneas representan en promedio el 72% del stock de cierre de productos terminados de la empresa.

Si tomamos el ejercicio 0910 como ejemplo se ve que cumpliendo con el “plan de producción en temporada baja” se fabricó el 60% del stock de cierre de la línea C93 y el 51% de la C99, como se muestra en la Tabla 2-5.

LÍNEA	PRODUCCION TEMP. BAJA	STOCK DE CIERRE	%
C93	215	352	61%
C99	982	1925	51%

Tabla 2-5. Participación del “plan de baja temporada” en el stock de cierre

Si se hace el cálculo, puede verse que de no haberse realizado la producción de estas líneas en temporada baja, el stock de cierre se hubiera reducido en un 25%.

Para tener una visión más amplia de la composición del stock durante el ejercicio se presenta la Figura 2-13 en la que se muestra la evolución del stock diferenciado según el comportamiento de los productos entre comerciales, estacionales y mixtos.

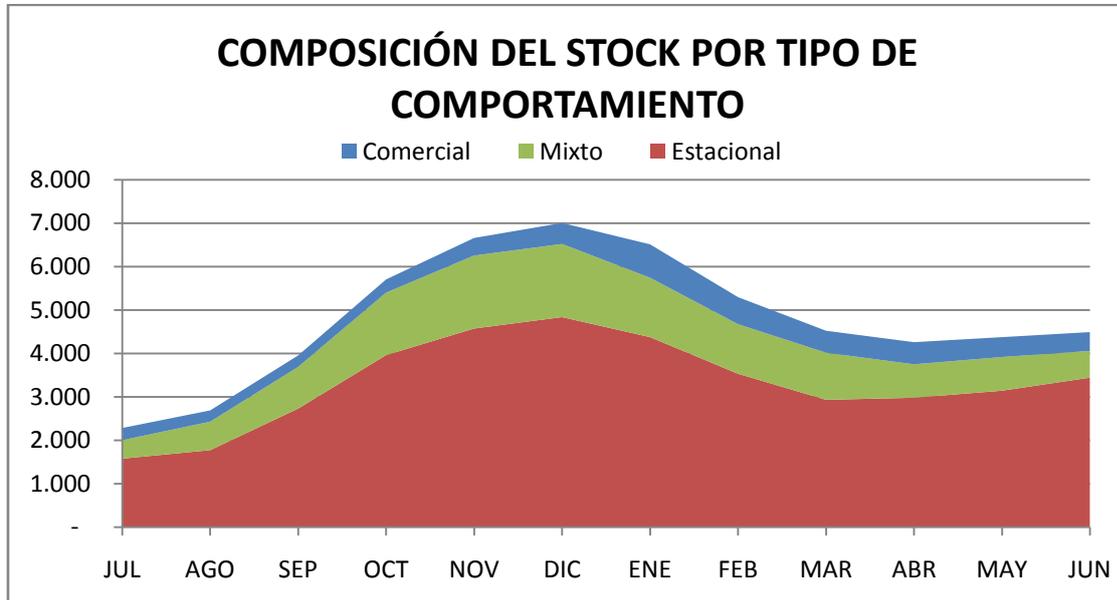


Figura 2-13. Composición del stock por tipo de producto (Ej. 0910)

La participación de los productos comerciales y mixtos a la salida de la temporada debería ser creciente hasta comenzar la fabricación de los productos estacionales necesaria para la próxima temporada. Pero por el contrario, los productos comerciales reducen su peso en el stock principalmente debido al aumento del stock de productos estacionales.

Esta composición representa el peor escenario posible para la empresa: un elevado stock de productos que no serán vendidos por varios meses, comprometiendo recursos financieros que no permiten recomponer y mantener el stock necesario de productos comerciales y mixtos. Esto se analiza en la sección 2.5.1.3.

2.5.1.3. Cobertura

Al ser la demanda de la mayoría de los productos altamente estacional resulta difícil realizar un cálculo de días de ventas que el stock está cubriendo. Un mismo nivel de stock para un determinado producto en diciembre puede ser menor a un mes mientras que el mismo nivel de stock en marzo puede significar 8 meses. Si se hace el cálculo dividiendo el stock por las ventas anuales se obtendrá el mismo número en ambos casos cuando la cobertura es marcadamente distinta.

Por esta razón, el cálculo de la cobertura del stock se realiza por producto utilizando el plan de ventas para los meses siguientes como referencia de las ventas futuras. La ecuación (2-1) se utiliza para calcular la cobertura C_{ij} del stock del producto i en el mes j .

$$C_{ij} = \text{Max} (N) - j \mid \sum_{k=j}^N PV_{ik} \leq Stk_{ij} \quad (2-1)$$

Donde PV_{ik} es el plan de ventas del producto i en el mes k y Stk_{ij} es el stock del producto i en el mes j .

Para obtener indicadores de coberturas a niveles más generales, agrupando productos por línea o tipo de comportamiento, se utiliza el promedio de las coberturas de cada producto ponderado por el stock de cada uno.

Se debe hacer una corrección a este indicador ya que existen productos que no tienen ventas planificadas por ser discontinuados. Estos productos no son tenidos en cuenta para el cálculo de la cobertura.

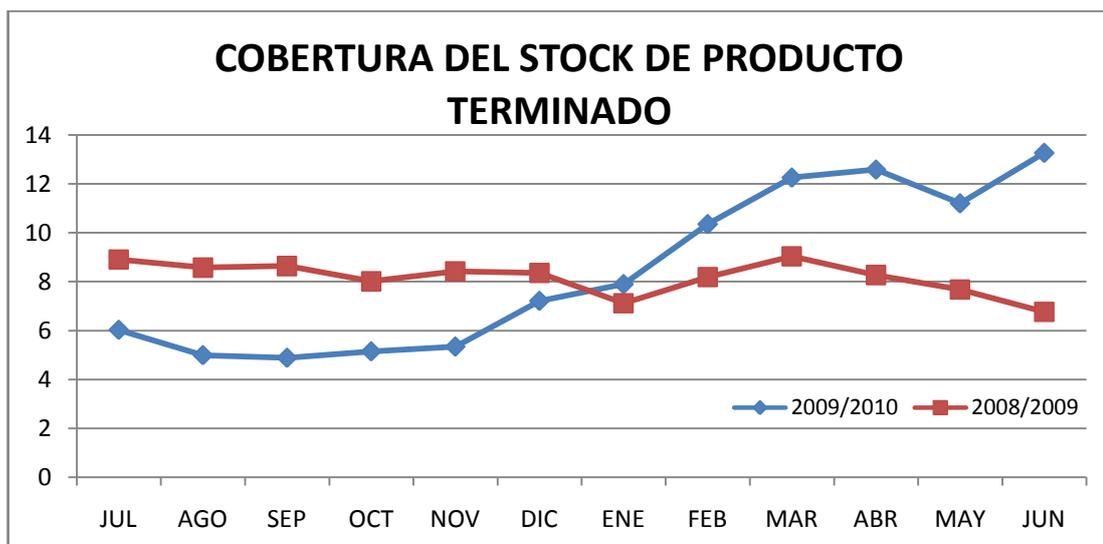


Figura 2-14. Cobertura del stock en los dos últimos ejercicios.

Como se ve en la Figura 2-14 la cobertura de stock se encuentra entre 4 y 13 meses. No debe interpretarse esto de la misma manera que una cobertura de stock tradicional. Si se tiene en cuenta la fórmula de cálculo, vemos que en realidad lo que marca este indicador es el tiempo estimado que tomará consumir el stock existente. Otra diferencia que debe hacerse con respecto del cálculo tradicional de la cobertura es el cálculo por producto. Al calcular la cobertura dividiendo el stock total por las ventas anuales se está suponiendo que el stock de un producto puede satisfacer las ventas de otro. El cálculo realizado en este caso no permite este intercambio por lo que resulta un

indicador más ácido. Por último, debe destacarse que al ponderar la cobertura de cada producto por el stock del mismo, se potencia el efecto de sobre-stock que pudiera existir (el efecto de sobre-stock aumenta el factor de ponderación y la cobertura, ambos multiplicandos en cada término de la fórmula (2-1)). El resultado directo de esto es que el indicador resalta los problemas de inventario por lo que es un indicador netamente operativo y no financiero como puede ser la rotación.

La Figura 2-15 muestra la cobertura de las líneas de producto que predominan en el stock, mencionadas en la Tabla 2-4, durante el ejercicio fiscal 2009/2010. Es claro que la cobertura general de la compañía queda determinada por estas líneas lo que reafirma lo expuesto con referencia a la definición del indicador. Se podría continuar explotando el indicador en cada línea para encontrar que la cobertura señala problemas en productos puntuales y los amplifica para que los mismos figuren al hacer análisis a niveles generales.

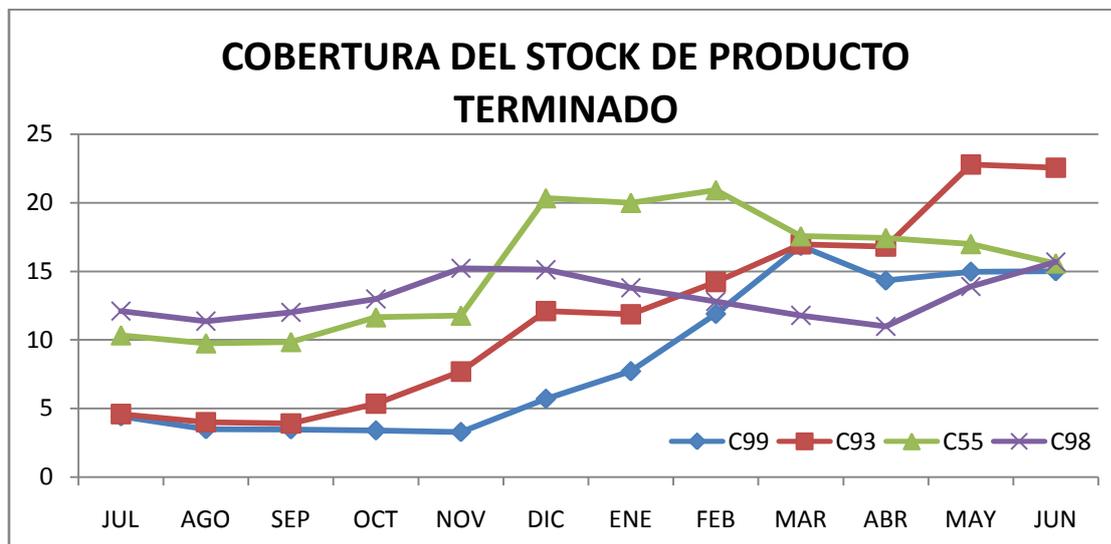


Figura 2-15. Cobertura del stock de líneas predominantes en el stock

En particular en estos casos, se aprecia el efecto del plan de producción en temporada baja mencionado en 2.5.1.2, generando altos niveles de stock en meses de baja demanda o nula por delante, cubriendo la demanda de los mismos e inclusive excediendo la demanda de la temporada y alcanzando los meses post-temporada.

2.5.2. Nivel de servicio

El nivel de servicio a los clientes es una de las métricas más importantes a la hora de evaluar la gestión del stock. Es el principal contrapeso a la minimización del stock por reducción de costos.

La empresa mide su nivel de servicio a través de un indicador llamado Fill Rate. El Fill Rate se calcula como la cantidad de pedidos cumplidos en un determinado período. Para que un pedido se considere cumplido, debe haber completado al menos el 80% de las líneas de pedido que lo conforman. Cada línea se refiere a un producto y una cantidad. Estas líneas de pedido se consideran cumplidas si se entrega al menos el 80% de la cantidad solicitada por el cliente. De esta forma, un Fill Rate del 75% significa que, en determinado período, en el 75% de los pedidos se entregaron al menos el 80% de la cantidad solicitada en, al menos, el 80% de los productos solicitados.

Por cuestiones operativas, el momento de corte en el que se analiza la entrega o no entrega de cada pedido es a las 24 horas de la fecha de entrega pactada. Los pedidos no entregados por cuestiones crediticias del cliente no son tenidos en cuenta en el cálculo.

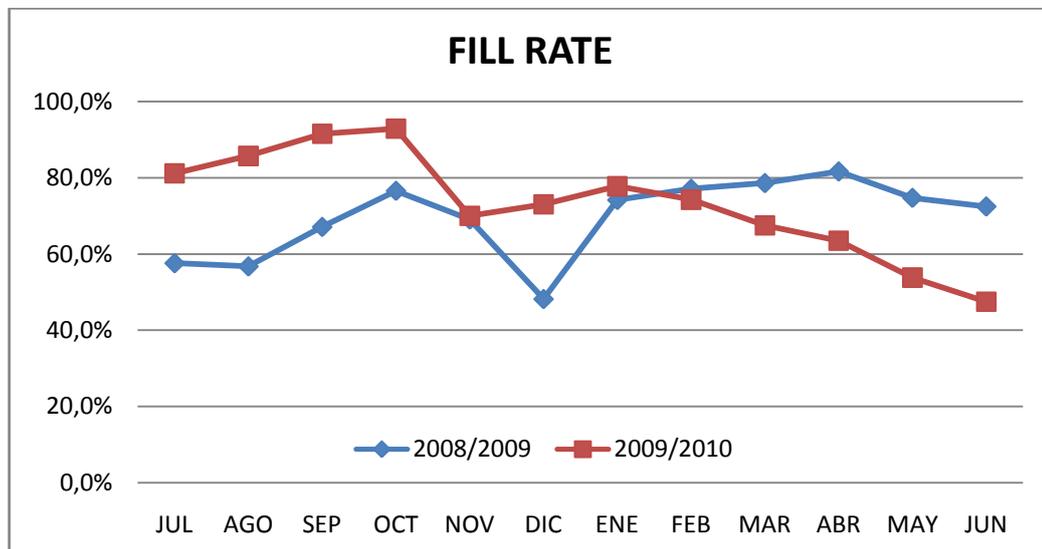


Figura 2-16. Fill Rate de los dos últimos ejercicios

En la Figura 2-16 se muestra la evolución del indicador en los dos últimos ejercicios. En ambos ejercicios se ve claramente como el inicio de la temporada hace caer de forma notable el nivel de servicio. Esta caída se ve muy afectada por la disponibilidad de los productos nuevos cuyo lanzamiento puede verse retrasado por problemas productivos. A pesar de no poder lanzarlos realmente por falta de disponibilidad, los clientes solicitan los productos nuevos ya que los mismos figuran en los catálogos de temporada y los vendedores los incluyen en las negociaciones de temporada. En general, el primer pedido de temporada de cada cliente consiste en un pedido de gran volumen y de amplio mix.

En los meses posteriores, el Fill Rate mide el cumplimiento en pedidos de reposición, dónde la empresa pone a prueba su capacidad de reacción frente a los datos iniciales de la temporada. Cuando la demanda de un producto fue

subestimada y la empresa no alcanza a reaccionar frente a esta situación sólo resta presentar productos sustitutos que se encuentren en stock. Los clientes que no aceptan estos reemplazos son los que terminan afectando negativamente el nivel de servicio.

En los primeros meses del ejercicio hasta el inicio de la temporada el Fill Rate muestra una tendencia creciente debido a que muchos de los productos que entraron en quiebre la temporada anterior no son repuestos hasta el inicio del nuevo plan de producción ya que el anterior fue cumplido y no existe producción restante según el mismo.

2.5.3. Costo total

Habiendo realizado un análisis de composición y evolución del stock y el nivel de servicio que se obtiene al aplicar las prácticas actuales de la empresa, solo resta costear el stock.

En el análisis se contemplan distintos tipos de costos derivados del stock a saber:

- Almacenamiento
- Financiero
- Quiebres
- Costo de liquidación
- Costo productivo

A continuación se amplía el método de cálculo de cada componente.

2.5.3.1. Costo de almacenamiento

El costo de almacenamiento corresponde a los gastos en los que incurre la empresa debidos al almacenamiento físico de la mercadería. Se incluyen los costos de mantenimiento de los depósitos, salarios de personal operativo, energía y seguros.

A partir de un histórico de gastos se puede obtener un costo mensual por unidad de medida estándar en stock.

Finalmente, el costo de almacenamiento se obtiene según la fórmula (2-2).

$$\text{Costo Almacenamiento}_i = CAU * \sum_{j=1}^N Stk_{ji} \quad (2-2)$$

Donde CAU es el costo mensual de almacenamiento de una unidad de medida estándar de mercadería y Stk_{ji} es el stock del producto j en el mes i . N es la cantidad de productos en cartera de la empresa.

El resultado de aplicar la fórmula (2-2) para el ejercicio 2009/2010 se muestra en la Figura 2-17.

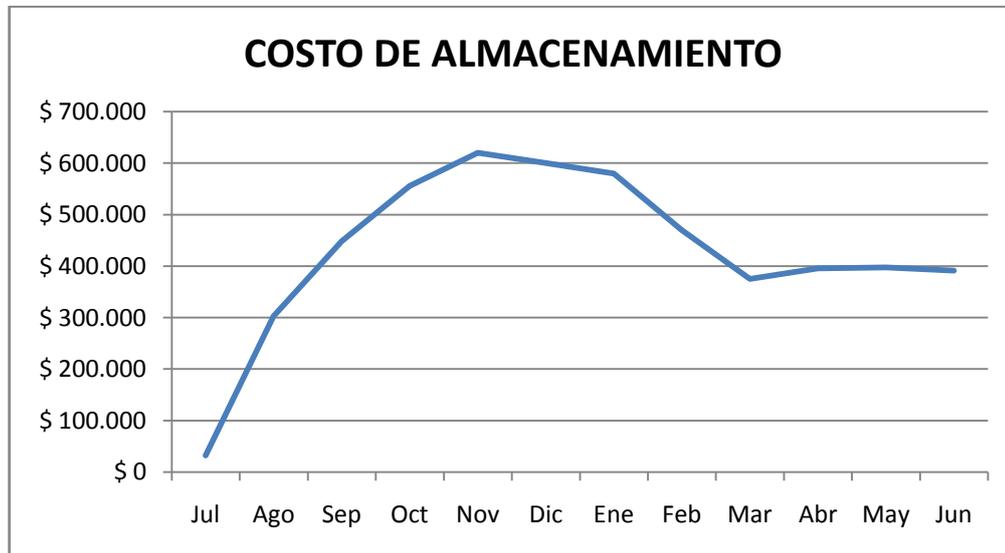


Figura 2-17. Costo de almacenamiento del ejercicio 2009/2010

2.5.3.2. Costo financiero

El costo financiero corresponde al capital inmovilizado en el stock. Su cálculo es simplemente el valor de la mercadería multiplicado por la tasa de interés. La mercadería es valuada al costo ya que ese es el capital invertido por la empresa en ese stock.

El costo financiero del mes i se calcula según la fórmula (2-3).

$$Costo\ Financiero_i = \frac{TNA}{12} * \sum_{j=1}^N Stk[\$]_{ji} \quad (2-3)$$

Donde TNA es la tasa de interés nominal anual y $Stk[\$]_{ji}$ es el stock del producto j en el mes i valuado al costo.

Para el cálculo de la tasa de interés se utiliza el costo promedio del pasivo ya que el capital de trabajo se financia en su totalidad con deuda de corto plazo y deuda comercial.

En la Figura 2-18 se muestra el costo financiero obtenido en el ejercicio 2009/2010.

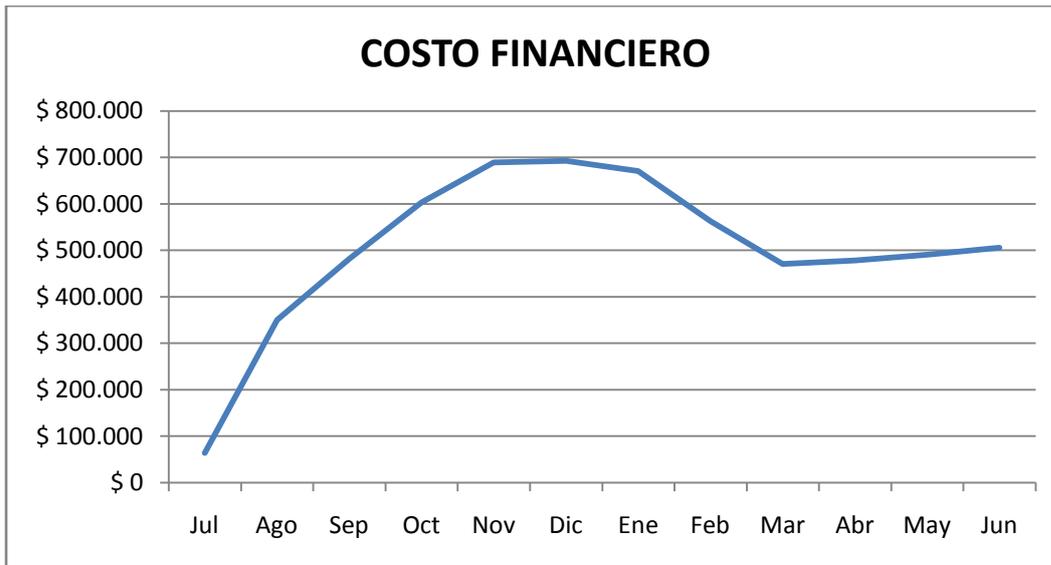


Figura 2-18. Costo financiero del stock en el ejercicio 2009/2010

2.5.3.3. Costo del quiebre

En el momento en que un cliente solicita un producto y éste no está disponible, se desencadenan una serie de costos ocultos, difíciles de medir, asociados al backlog. Entre estos costos se pueden mencionar:

- Margen de la venta perdida, en los casos que ésta no se pueda completar en un momento posterior.
- Costo financiero del cobro de una venta que se hace en un momento posterior, en el caso que efectivamente se haga.
- Aumento de los costos de flete por efectuar varias entregas.
- Aumento en el tiempo requerido para la administración de los pedidos pendientes (personal de administración de ventas, créditos y distribución).
- Errores que se pueden cometer en pedidos posteriores, como la duplicación de un pedido pendiente.
- Dificultad de planificación al distorsionar las estadísticas de demanda (la demanda se separa en gran medida de las ventas).
- Descontento del cliente que puede afectar compras posteriores.
- Pedidos que el cliente directamente no realiza sabiendo que el producto no se encuentra en stock, o desconoce que ya se encuentra disponible.

Evidentemente, varios de los puntos anteriores son difíciles de medir. Para acercarnos a este costo tomaremos exclusivamente la componente que se puede medir con los datos disponibles: el margen de la venta perdida por pedidos anulados. Para hacer el cálculo se tomará del histórico de pedidos pendientes el importe que fue anulado por el cliente. A este importe se lo

multiplica por el margen promedio para obtener el resultado que la empresa no percibió por quiebre. Por lo expuesto en el punto 1.3.3, debemos hacer esta cuenta por marca de productos ya que los comportamientos y los márgenes difieren en gran medida. El cálculo queda expresado en la fórmula (2-4).

$$\text{Costo Quiebre}_i = \sum_{k=1}^Q M_k * \left(\sum_{j=1}^{N_k} PA_{ji} \right) \quad (2-4)$$

Donde Q es la cantidad de marcas que comercializa la empresa, M_k es el margen promedio (en %) de cada una de estas marcas, N_k es la cantidad de SKUs dentro de la marca k y PA_{ji} son los pendientes anulados para el producto j en el mes i , valuados a precio de venta. Nótese que de calcular el precio promedio de venta de cada producto y multiplicarlo por el margen de la marca se puede obtener la contribución directa unitaria por lo que la ecuación anterior se puede expresar como la sumatoria del producto de las ventas perdidas en unidades por la contribución directa unitaria de cada producto.

Haciendo el cálculo con la ecuación (2-4) para el ejercicio 2009/2010 se obtiene el costo de los quiebres, representado en la Figura 2-19.

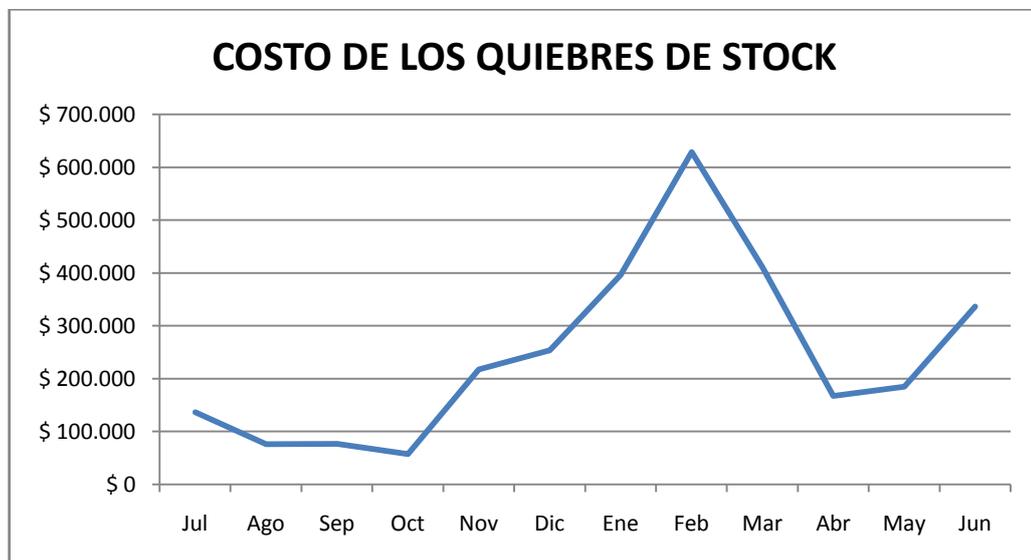


Figura 2-19. Costo de los quiebres del ejercicio 2009/2010

Se ve claramente cómo el costo de los quiebres aumenta sensiblemente durante la temporada, principalmente debido al aumento de volumen.

Además, es fácil ver que los pedidos del mes de febrero que no son completados no dan tiempo para la recuperación, dado que las ventas minoristas se concentran en este mes. Al ser inminente el comienzo del ciclo

lectivo, el consumidor final no tiene posibilidad, si así lo quisiera, de ser fiel a la marca por lo que reemplaza el producto por un sustituto. De esta manera, a pesar de tener volúmenes similares, el mes de enero presenta un menor costo de venta perdida que febrero.

La misma situación se observa en el mes de marzo. La diferencia principal con febrero reside en la importante disminución del volumen de ventas de estos meses.

Mayo y junio muestran claramente cómo el fin de la temporada deja productos quebrados que no son fabricados ya que su plan anual de producción se vio completado. A partir del comienzo del nuevo ejercicio se recuperarán estos quiebres al renovarse los planes de producción.

2.5.3.4. Costo de liquidación

Una vez finalizada la temporada, los productos de una sola temporada pierden valor comercial, ya sea porque no pueden ser comercializados (pierden la totalidad de su valor) o porque debe realizarse una sensible baja en el precio para liquidarlos antes de que ocurra lo anterior.

Estas diferencias representan un costo que debe tenerse en cuenta a la hora de calcular los costos totales resultantes de la estrategia de gestión del stock.

En cuanto al stock de materia prima y semielaborados se debe tener en cuenta la liquidación del mismo que sólo está asociado a productos de una temporada. Este material es descartado por lo que se pierde el total de su valor. El stock de materia prima y semielaborados de productos normales no se le asigna costo de liquidación ya que los mismos serán utilizados en fabricaciones posteriores.

El costo de liquidación se calcula sobre el stock de junio ya que es el remanente del ejercicio. La fórmula (2-5) describe el cálculo de dicho costo.

$$\text{Costo de Liquidación} = \sum_{i=1}^N CL_i * StkCierre[UN]_i \quad (2-5)$$

El resultado de aplicar esta fórmula al stock de cierre del ejercicio 2009/2010 arroja un costo total de liquidación de \$1.583.912.

2.5.3.5. Costo productivo

El costo productivo al que se refiere este trabajo no abarca todos los costos relacionados con la producción sino los costos diferenciales por producir de una manera u otra. De esta forma, por ejemplo, el costo del personal

permanente de la planta no es tenido en cuenta ya que la empresa incurrirá en el mismo independientemente de la forma de producir sus productos. Por lo tanto, dentro de este rubro se distinguen dos componentes fundamentales:

- Horas extra
- Personal contratado o temporal

Las horas extra pueden ser cumplidas tanto por el personal permanente como el temporal. Más allá de que su costo unitario varía dependiendo de la situación en que las mismas se efectúen se puede obtener un valor promedio que sin perder demasiada precisión. En la Figura 2-20 se muestra el costo de las horas extra totales ejecutadas durante el ejercicio 2009/2010.

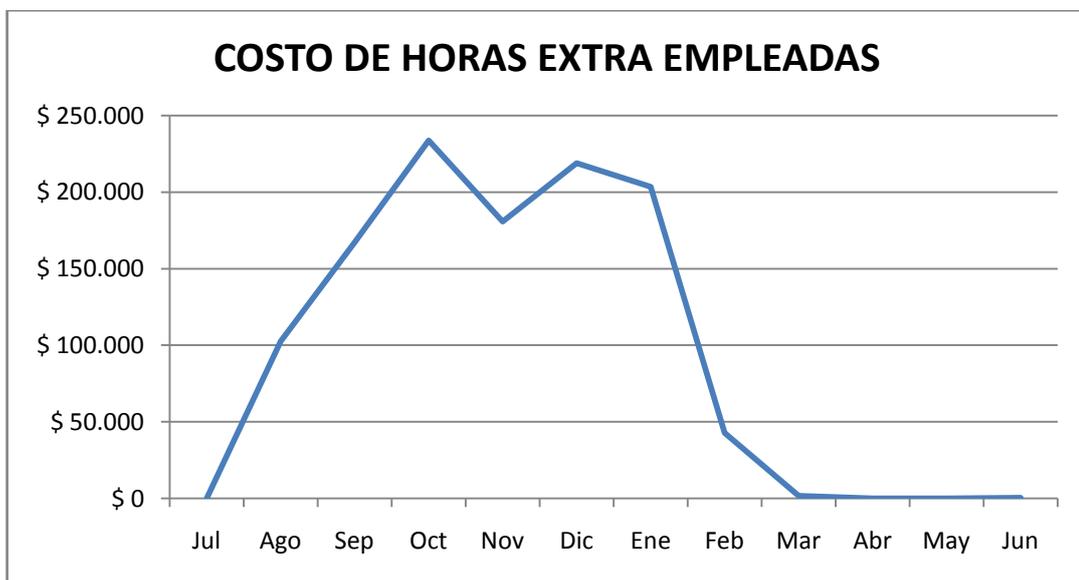


Figura 2-20. Costo de las horas extra empleadas en el ejercicio 2009/2010

Las razones de la forma de esta curva son fáciles de comprender si se tiene en cuenta que la empresa prepara su stock para vender durante la temporada. Esto genera un adelantamiento de las horas extra frente a la curva de ventas. Por otro lado, se ve que la curva cae fuertemente en febrero, un mes antes de finalizar la temporada de ventas de productos escolares, confirmando la explicación anterior.

El otro componente, la mano de obra contratada, tiene un comportamiento similar, mostrado en la Figura 2-21.

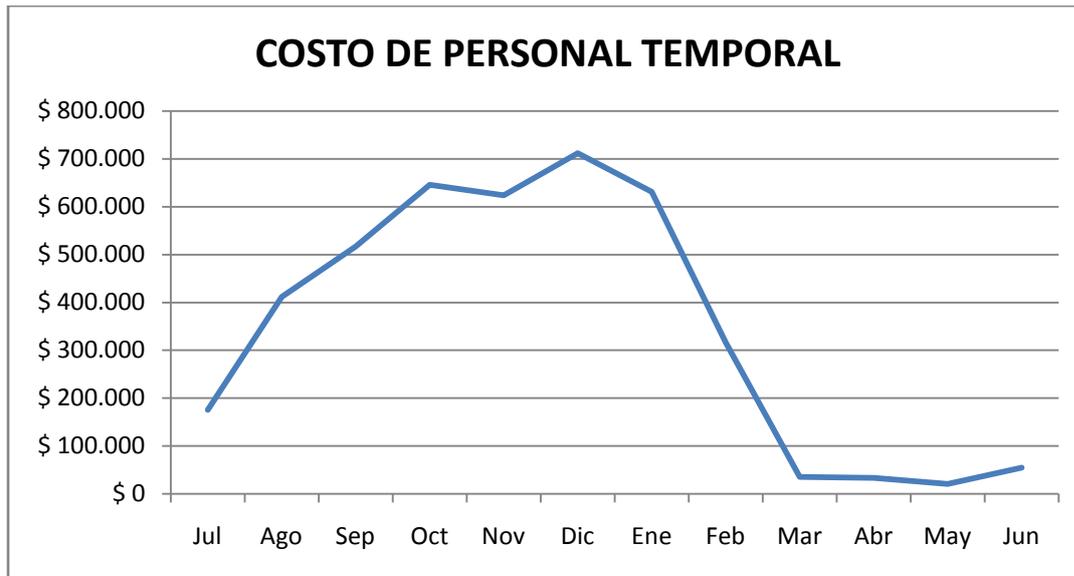


Figura 2-21. Costo del personal contratado durante el ejercicio 2009/2012

A pesar de ser curvas muy similares, existe una salvedad que debe tenerse en cuenta al analizar el costo de la mano de obra contratada. La legislación vigente y los acuerdos con los sindicatos no permiten que la empresa tome personal contratado por un mes, lo libere el siguiente para volver a tomarlo el mes posterior. Dicho de otra manera, la cantidad de empleados temporales no se ajusta perfectamente a la necesidad sino que debe incrementarse o mantenerse constante hasta que empieza a descender. Desde ese momento, sólo puede descender o mantenerse, pero no incrementarse nuevamente hasta la nueva temporada productiva. Esto obliga al programador a tener en cuenta los meses siguientes para tomar la decisión de liberar personal contratado o mantenerlo.

A pesar de esto, se puede notar un leve descenso en el costo de octubre a noviembre. Esto se debe a que el costo del personal contratado incluye todos los gastos adicionales al salario que la empresa debe afrontar: cargas sociales, comedor y otros beneficios. El costo de los mismos puede variar por algún motivo haciendo que el costo descienda sin haber reducido la dotación temporal.

De la adición de las dos curvas resulta el costo total productivo, graficado en la Figura 2-22.

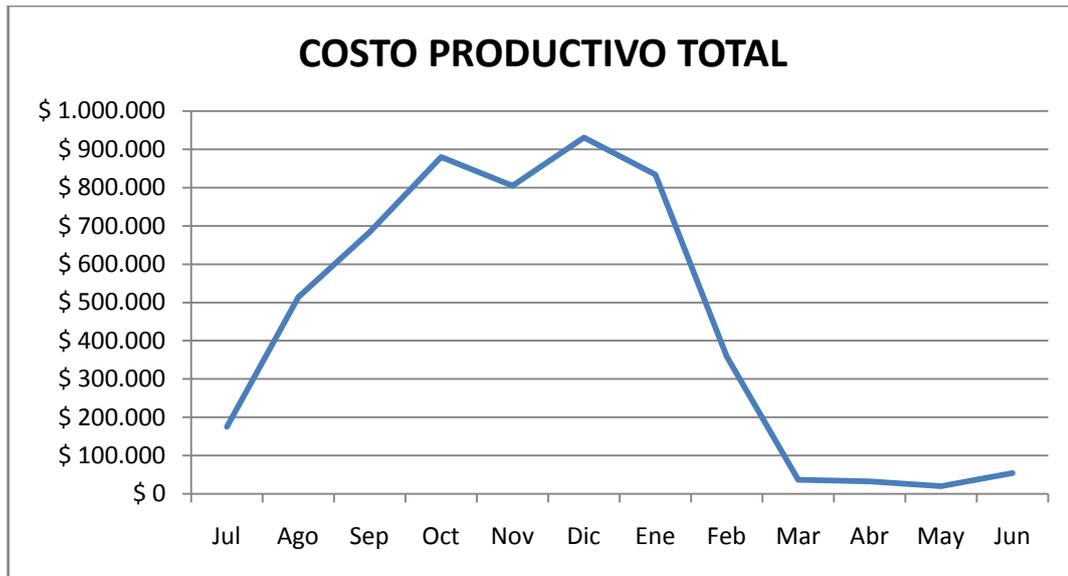


Figura 2-22. Costo total productivo del ejercicio 2009/2010

2.5.3.6. Costo total obtenido de la gestión del stock

Una vez obtenidos los valores de cada componente del stock, se puede obtener el costo total de la estrategia utilizada sumando cada una de ellas para cada mes.

En la Figura 2-23 se muestra la evolución del costo total del ejercicio 2009/2010 sin incluir el costo de liquidación que se calcula de manera anual.

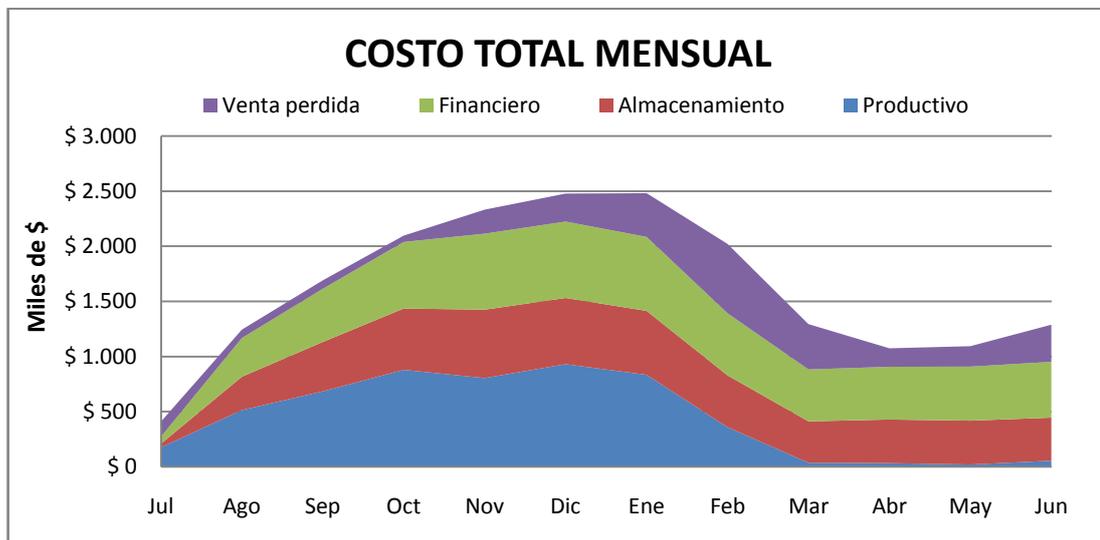


Figura 2-23. Costo total ejercicio 2009/2010 sin costo de liquidación

En la Figura 2-24 se muestra la participación de cada componente en el total anual, incluyendo el costo de liquidación.

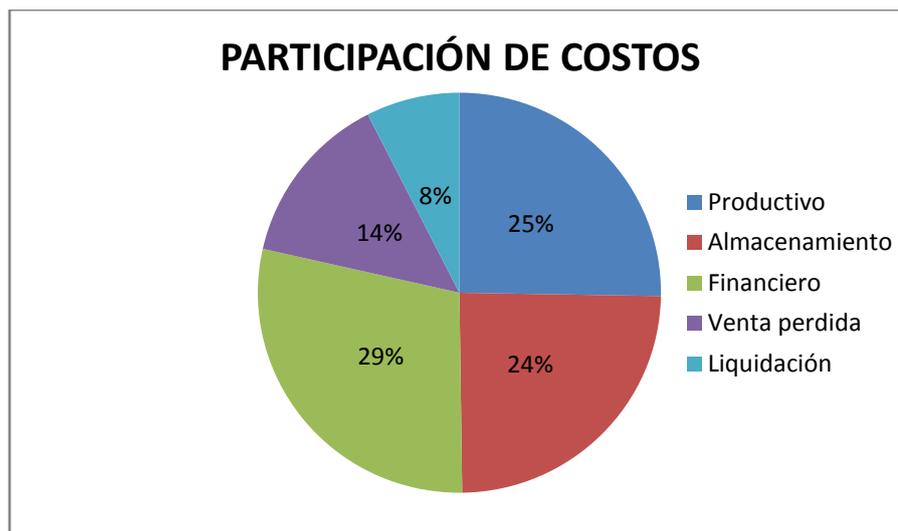


Figura 2-24. Participación de costos del stock

Los costos financieros, productivos y de almacenamiento explican el 78% y contribuyen con porcentajes similares, por lo que el control y optimización de los mismos es fundamental para la optimización de la gestión del stock. El costo total anual resultante de la aplicación de los métodos descritos a lo largo de esta sección es de \$21.088.851.

CAPÍTULO 3 - MARCO TEÓRICO

3.1. Introducción

La gestión y planificación del stock es un tema ampliamente estudiado por empresas y académicos ya que representa uno de los problemas más grandes y difíciles de resolver para los directivos. A lo largo de esta sección se presentan los modelos existentes, tanto los clásicos como las nuevas tendencias e ideas en la materia. Para ganar en claridad, se separan los modelos relacionados a productos de período único de los modelos para productos de más de un período.

3.2. Productos de período único

Existen muchos casos en los que una empresa se ve obligada a realizar un solo pedido de un determinado artículo. Esta obligación puede nacer de alguna característica del producto como ser una fecha de vencimiento o cuestiones de moda o provenir de una limitación de abastecimiento para un producto estacional. Este último caso se puede deber a alguna de las siguientes situaciones:

- La demanda de temporada es baja con respecto a limitaciones productivas por lo que resulta imposible realizar más de una entrada en máquina
- La demanda de temporada es baja con respecto a los mínimos de compra del proveedor por lo que resulta imposible realizar más de un pedido

Existen otras situaciones en las que la empresa podría elegir realizar un solo pedido a pesar de no verse obligado, como el caso de lead time de productos o materias primas excesivamente largos, no compatibles con la temporada, o casos en los que la entrada en máquina requiera de un tiempo de setup excesivamente largo por lo que el programador de la producción se siente obligado a entrar por única vez.

Al realizar un único pedido, la empresa toma una decisión al ordenar una cantidad determinada del producto en cuestión. Si al cabo de un período de tiempo determinado la demanda excede la cantidad pedida existirá una pérdida asociada a las ventas perdidas. Por el contrario, si la cantidad pedida excede a la demanda habrá un exceso de stock que obligará a la empresa a incurrir en un costo de liquidación, ya sea por destrucción o por rebaja de precios para su venta final.

Este tipo de problema es conocido como el problema del vendedor de diarios y existen varios estudios sobre el mismo.

Como primer acercamiento se puede plantear cualquiera de los criterios básicos de toma de decisiones bajo incertidumbre. Obviamente, la variable no conocida es la demanda del período. De esta forma, se puede plantear una cantidad finita de escenarios s y un conjunto de valores posibles Q para la variable de decisión obteniendo la utilidad u para cada uno de ellos. Luego, en función de los resultados obtenidos, se aplica un criterio como el maximin, el maximax o el arrepentimiento minimax.

Sea $s_i \in S$ un valor posible de la variable aleatoria demanda, $q_j \in Q$ los valores posibles de la variable de decisión y $u(q, s)$ la utilidad obtenida al decidir q cuando ocurre s . Las ecuaciones (3-1), (3-2) y (3-3) muestran la forma de obtener q' , la cantidad óptima de pedido, mediante los criterios maximin, maximax y arrepentimiento minimax respectivamente.

$$q' = \underset{q_j}{\operatorname{argmax}} u(q_j, s_j') \quad \forall q_j \in Q \mid s_j' = \underset{s_i}{\operatorname{argmin}} u(q_j, s_i) \quad \forall s_i \in S \quad (3-1)$$

$$q' = \underset{q_j}{\operatorname{argmax}} u(q_j, s_i) \quad \forall q_j \in Q, \forall s_i \in S \quad (3-2)$$

$$CO(q_j, s_i) = \max_{s_i \in S} [u(q_j, s_i)] - u(q_j, s_i) \quad (3-3)$$

$$q' = \underset{q_j}{\operatorname{argmin}} CO(q_j, s_j') \quad \forall q_j \in Q \mid s_j' = \underset{s_i}{\operatorname{argmax}} CO(q_j, s_i) \quad \forall s_i \in S$$

Es fácil ver que el criterio minimax es más conservador ya que apunta principalmente a acotar los riesgos, resignando utilidad para lograrlo. Por el contrario, el criterio maximax busca la máxima utilidad sin importar los riesgos, quedando expuesto a mayores pérdidas. El criterio del arrepentimiento minimax busca acotar el costo de oportunidad, por lo que puede considerarse una estrategia intermedia.

A parte de los tres criterios mencionados, la literatura propone un cuarto criterio llamado del valor esperado. En este caso, se requiere un dato adicional que es la probabilidad de ocurrencia de cada escenario o suceso aleatorio. Con esta información, puede obtenerse la utilidad esperada de cada decisión y finalmente optar por la que tenga un mayor valor esperado.

Ahora puede suponerse que en vez de tener un set de escenarios posibles, la demanda es variable aleatoria de distribución conocida. Sean C_{stk} el costo de tener una unidad de inventario al final del período y C_q el costo de quebrar en una unidad. Se puede escribir el costo total CT como una función partida que

depende de la demanda d y la cantidad pedida q como se ve en la ecuación (3-4).

$$CT(q, d) = \begin{cases} C_{stk} (q - d) & \text{si } q \geq d \\ C_q (d - q) & \text{si } q < d \end{cases} \quad (3-4)$$

Dado que la única variable de decisión es q y d es una variable aleatoria, se llama $CTE(q) = E(CT(q, d))$ a la función de costo total esperado por comprar q unidades y su expresión se muestra en (3-5).

$$CTE(q) = P(d \leq q) C_{stk} \max(q - d, 0) + P(d > q) C_q \max(d - q, 0) \quad (3-5)$$

Si esta función es convexa, se puede demostrar a través de un análisis marginal que la cantidad q' que la minimiza es la mínima que satisface la inecuación (3-6).

$$P(d \leq q) \geq \frac{C_q}{C_{stk} + C_q} \quad (3-6)$$

Teniendo en cuenta que para muchas empresas el cálculo del costo de quiebre es difícil, la fórmula (3-6) puede utilizarse para analizar las curvas de cambio graficando $P(d \leq q)$ en función de C_q . De esta forma, se puede acotar el rango de $P(d \leq q)$ suponiendo costos máximos y mínimos de quiebre.

Recorriendo la bibliografía más moderna sobre este tema se encuentran muchas aproximaciones al problema. Una primera variación al modelo clásico del vendedor de diarios consisten en considerar a la demanda no como una variable aleatoria sino como una variable difusa. Esto habilita a realizar estimaciones no estadísticas de la demanda sino más bien intuitivas. Qin y Kar (2009) obtuvieron la forma genérica del óptimo para este caso y luego analizaron los resultados que se obtienen utilizando distintas funciones de pertenencia de la demanda.

Otra extensión fue publicada por Mileff y Nehéz (2006) al desarrollar un modelo que optimiza el problema para pedidos que se repiten en el tiempo en la forma de producción masiva, decidiendo una política al principio de un período para un horizonte de tiempo dado. Aparte, agregan un método heurístico para obtener el horizonte de planeamiento óptimo.

Satyendra et al. (2003) proponen un modelo para múltiples productos de período único atado a múltiples restricciones. La originalidad de este estudio radica en el método de resolución heurístico, al que llaman jerárquico. Apunta a reducir el problema en sub-problemas anidados, resolviendo el problema para

la restricción más importante y luego repitiendo para el sub-problema con la próxima restricción en orden de importancia. De esta manera continúa hasta obtener la solución que considera todas las restricciones propuestas.

Es importante ver que cada modelo busca de alguna manera entender qué pasa en cada valor que puede asumir la demanda durante el período en estudio. Cada uno utiliza un criterio distinto para encontrar una cantidad óptima. Brown y Tang (2006) desarrollaron una serie de medidas alternativas para medir la calidad de cada opción y entender las decisiones que toman los encargados de compras al realizar una orden. Complementan el estudio con una encuesta a estudiantes y compradores evaluando los criterios mediante las medidas alternativas propuestas y analizando la racionalidad de sus decisiones. Estas medidas alternativas son la probabilidad de obtener una mejor ganancia frente a la opción de comprar la demanda media, el valor esperado de la diferencia de ganancias entre estas dos opciones y por último el valor esperado de la diferencia de inventarios sobrantes entre las mismas alternativas.

Por último, se debe mencionar el estudio sobre el costo de liquidación realizado por Cachon y Gürhan Kök (2007) en el que rompen con la hipótesis de un precio de liquidación independiente de la cantidad sobrante. De esta manera estudian el costo de liquidación óptimo interpretándolo como un descuento sobre el precio de temporada que depende del stock sobrante del período. Para obtener o estimar el costo de liquidación proponen cuatro métodos heurísticos y luego comparan la performance de cada uno de ellos bajo distintas circunstancias. Es importante remarcar que para la utilización de este modelo, debe suponerse una función de demanda para el período de liquidación, algo que no es simple y que puede llevar a grandes costos al estimarla de manera errónea.

Otros trabajos apuntan a la inclusión del cliente dentro del modelo de optimización. Zhang, Chen et al (2006) proponen un modelo estocástico de dos etapas para el problema de un fabricante y varios minoristas. El modelo es resuelto a través de un problema de programación lineal equivalente encontrando una política intermedia entre fabricar contra pedido y fabricar contra stock. Esto se logra a través del mantenimiento en stock de las materias primas y semielaborados de las distintas etapas de producción del producto terminado.

Hua et al (2006) determinaron que mediante la cooperación entre el fabricante y los minoristas se puede obtener un mayor beneficio total bajando el precio al consumidor y al minorista bajo una demanda de distribución uniforme y coeficiente de variación bajo. La cooperación se centra en el supuesto que

cada parte cederá posición hasta que la contribución que agrega a la situación no cooperativa sea igual a la de la parte contraria.

3.3. Pedidos repetitivos

El modelo de EOQ es el modelo de stock por excelencia. Se caracteriza por su simplicidad para optimizar los costos asociados al stock, definiendo la cantidad económica de pedido y por ende la frecuencia de compra.

Para obtener la cantidad económica de pedido, realiza una optimización de la función costo total expresada en la fórmula (3-7).

$$CT(q) = \frac{k D}{q} + p D + h \frac{q}{2} \quad (3-7)$$

Donde $CT(q)$ es el costo total de un período t del stock, k es el costo de cada pedido que se realiza, p es el costo unitario del producto en cuestión, D es la demanda durante el período t y h es el costo de mantener una unidad en stock durante un período de tiempo t .

Para simplificar el desarrollo tomaremos $t = 1$ año. De esta manera, el primer término corresponde al costo anual de realizar pedidos, el segundo al valor de la mercadería comprada durante ese año y el tercer término indica el costo anual de mantener el inventario.

Al minimizar el costo total se obtiene la EOQ expresada en la fórmula (3-8).

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 k D}{h}} \quad (3-8)$$

3.3.1. Suposiciones del modelo EOQ

El modelo EOQ presenta las siguientes suposiciones:

- Frecuencia de pedidos constante
- Demanda constante para cualquier período de tiempo que se tome
- Demanda conocida, es decir, determinista
- Abastecimiento instantáneo
- El costo de cada pedido es conocido y constante
- No se permite el quiebre de stock
- El costo unitario no se ve afectado por la cantidad de compra

Resulta evidente que existen pocas situaciones en el mundo real en las que se pueda cumplir todas estas situaciones. Sin ir más lejos, el pronóstico de demanda ya representa un problema grande para la mayoría de las empresas

lo que invalida la aplicación del modelo EOQ cuando se tienen grandes con volatilidades importantes. En general, se considera aplicable este modelo cuando el coeficiente de variación de la variable aleatoria demanda es inferior a 0,2.

3.3.2. Derivaciones

A partir del modelo básico se derivan una serie de modelos flexibilizando sus suposiciones.

3.3.2.1. Lead time distinto de cero

En primer lugar se observa que si el reabastecimiento no es instantáneo sino que ocurre luego de un tiempo (lead time) pero en ese momento ingresa al stock el total del pedido, la función costo total no se ve alterada. De esta manera, el óptimo no cambia pero sí cambia la gestión ya que debe anticiparse el pedido un tiempo L para reabastecer. Dado que durante ese tiempo no deben acabarse las existencias es fácil ver que el stock al momento de hacer el nuevo pedido es $d*L$ siendo d la demanda diaria. Dicho de otra manera, cuando el stock alcanza un nivel $q=d*L$ se deben ordenar EOQ unidades.

3.3.2.2. Abastecimiento no instantáneo a tasa constante

Por otro lado, puede suponerse que el reabastecimiento ocurre mediante una tasa conocida, en vez de ocurrir todo junto en un instante determinado. En este caso, el óptimo se ve alterado ya que el stock promedio obtenido varía, y por lo tanto, varía el costo de retención de dicho inventario. La optimización se obtiene de la ecuación (3-9).

$$EOQ' = EOQ \sqrt{\frac{r}{r - D}} \quad (3-9)$$

Donde EOQ es la cantidad óptima obtenida a través del modelo de reabastecimiento instantáneo y r es el ritmo de abastecimiento o producción anualizado.

3.3.2.3. EOQ con pedidos pendientes

A continuación, se relaja la restricción sobre los pedidos pendientes, volviendo a una situación de reabastecimiento instantáneo. En este caso, al permitir quiebres, se debe asignar un costo unitario a cada unidad que no es vendida de inmediato. De esta manera, se genera un trade-off entre los costos de inventario y los del quiebre para encontrar el óptimo. Es importante destacar que se está suponiendo que las unidades pendientes terminan siendo vendidas eventualmente y no constituyen una venta perdida. Las ecuaciones (3-10) y (3-11) muestran el cálculo obtenido.

$$EOQ' = EOQ \sqrt{\frac{h+s}{s}} \quad (3-10)$$

$$StkMax = EOQ \sqrt{\frac{s}{h+s}} \quad (3-11)$$

Donde EOQ es la cantidad óptima del modelo básico, s es el costo de tener una unidad pedida pendiente y $StkMax$ es el stock máximo obtenido mediante la aplicación de este modelo. Es fácil ver que $EOQ - StkMax$ será el backlog máximo al que estará expuesta la empresa.

3.3.2.4. Descuentos por cantidad

Por último, podría suponerse que la empresa obtiene descuentos por comprar cantidades más altas. Para encontrar el óptimo en esta situación se deben seguir los siguientes pasos:

1. Elaborar la función de costo total para cada escala de precio
2. Obtener el óptimo de cada una de ellas
3. Verificar que el óptimo se encuentre dentro del rango de validez
4. En caso de cumplirse el paso anterior, debe tomarse como óptimo el límite de la escala.
5. Se evalúa la función de costo total de cada tramo de la escala en su respectivo óptimo.
6. Finalmente, el óptimo general será el punto que obtenga el menor costo total obtenido en el paso anterior.

3.3.2.5. Demanda aleatoria con lead time conocido

Las derivaciones mencionadas en las secciones 3.3.2.1, 3.3.2.2, 3.3.2.3 y 3.3.2.4 permiten ampliar el campo de aplicación del modelo básico de EOQ al tiempo que facilitan el entendimiento de situaciones más cercanas a la realidad. De todas formas, una de las restricciones más fuertes que presenta el modelo es la suposición de demanda conocida.

Si se supone ahora que la demanda anual D es una variable aleatoria de distribución X , media $E(D)$ y desvío σ_D conocidos podríamos establecer un nivel de servicio esperado y de esta manera constituir un stock de seguridad que permita absorber los excesos de demanda. Con estas hipótesis deben obtenerse la nueva EOQ y su punto de reorden.

Si se tiene en cuenta que la demanda utilizada para el cálculo de la EOQ de manera determinista es en realidad la esperanza de la variable aleatoria D , es lógico esperar que la cantidad económica de pedido no se vea afectada por lo

que EOQ se obtiene mediante la fórmula (3-8) del modelo básico. Para encontrar el punto de reorden se debe tener en cuenta que el stock remanente en ese punto debe satisfacer la demanda hasta el próximo ingreso de mercadería con una cierta probabilidad. A esta probabilidad se le asigna el nombre de nivel de servicio (*NS*). Se considera que la demanda durante el lead time es una variable aleatoria. Dado que la hipótesis de tasa de demanda constante se mantiene, la variable aleatoria “demanda durante el lead time” (*DDLT*) tendrá una distribución X' de media $E(DDLT) = L * E(D)$ y desvío $\sigma_{DDLT} = \sqrt{L} \sigma_D$ siempre que el lead time sea conocido. De esta forma, el punto de reorden se obtiene multiplicando el lead time por la demanda máxima. La demanda máxima se calcula utilizando la ecuación (3-12).

$$d_{max} = X'_{inv}(NS) \quad (3-12)$$

Donde X'_{inv} es la función de probabilidad acumulada inversa de la variable aleatoria *DDLT* y *NS* es el nivel de servicio que se desea mantener.

3.3.2.6. Demanda y lead time aleatorios

En muchos de los casos reales, el lead time no es lo suficientemente constante como para considerarse conocido por lo que conviene tratarlo como una variable aleatoria de distribución conocida, media $E(L) = LT$ y desvío σ_L . Si se supone que las variables aleatorias *LT* y *D* son independientes, la variable aleatoria *DDLT* tendrá una media $E(DDLT) = E(L) * E(D)$ y un desvío $\sigma_{DDLT} = \sqrt{E(L) \sigma_D^2 + \sigma_L^2 E(D)^2}$. La forma de obtener el punto de reorden no se ve modificada sino que cambia la función de probabilidad acumulada inversa de la variable *DDLT*.

3.3.3. Estrategias de aplicación

A lo largo de las secciones anteriores se desarrollan los modelos clásicos de stock con sus hipótesis. Estos modelos permiten minimizar los costos del stock bajo ciertas circunstancias pero no otorgan las herramientas para gestionar el stock durante el desarrollo del negocio. Para ello, existen dos estrategias que permiten la gestión del stock bajo un modelo EOQ clásico, dependiendo de la factibilidad y disponibilidad tecnológica de la empresa.

3.3.3.1. Estrategia de revisión continua (r,q)

La estrategia de revisión continua (r,q) permite a la empresa apegarse completamente al modelo EOQ ya que con cada pedido se revisa el nivel de stock remanente y se lo compara con el punto de pedido *r*. En ese momento se ordena la cantidad *q* correspondiente a la cantidad económica de pedido. Debe observarse que esta estrategia supone que los pedidos siempre corresponden

a la unidad ya que de lo contrario no se repondría el stock calculado mediante el modelo. Para clarificar esto puede suponerse que un pedido toma 5 unidades cuando en el stock hay $r+3$. Cuando la orden ingresa al stock, éste se encuentra en un nivel de $r-2$ por lo que invalida las hipótesis utilizadas en la deducción del modelo EOQ.

3.3.3.2. Estrategia de revisión continua (s,S)

Esta estrategia es una derivación de la anterior para salvar los casos en los que los pedidos puedan surtir por cantidades mayores a la unidad. De esta forma, la orden se coloca cuando el nivel de stock se encuentre por debajo de s . En ese caso, la orden debe ser lo suficientemente grande como para alcanzar el nivel S .

Es importante destacar que en este caso S no corresponde a la cantidad q obtenida mediante el modelo EOQ. Para estimarla, se utiliza $S-s=q$. Luego, se supone que $s=r$ por lo que $S=r+q$. De esta forma, se transforma una estrategia (r,q) a una (s,S) .

3.3.3.3. Estrategia de revisión periódica (R,S)

La estrategia de revisión periódica establece un período R al fin del cual se revisa el inventario y se hace una orden por una cantidad tal que complete la cantidad S . En este caso, es necesario aclarar que el inventario se compone del stock físico en el almacén más las órdenes de compra o de producción pendientes de entrega.

En primer lugar, considerando que toda la venta pendiente se termina realizando eventualmente, pero genera un costo C_q por unidad, la cantidad S que minimiza los costos para una frecuencia de revisión S determinada se obtiene mediante la inecuación (3-13).

$$P(D_{L+R} \geq S) = \frac{R h}{C_q} \quad (3-13)$$

Si, a diferencia del caso anterior, las ventas no realizadas se pierden, generando un costo C_{vp} , la cantidad S que minimiza el costo es la que satisface la inecuación (3-14).

$$P(D_{L+R} \geq S) = \frac{R h}{R h + C_{vp}} \quad (3-14)$$

En ambos casos, D_{L+R} es la variable aleatoria que describe la demanda en el período $R+L$ y h es el costo de mantener una unidad en stock por unidad de tiempo.

3.3.4. Nuevos desarrollos

Existen muchas investigaciones posteriores al desarrollo de los modelos clásicos del stock, principalmente por las limitaciones que los mismos suponen. Resulta evidente que los modelos de gestión de stock aquí mencionados apuntan al manejo de demandas no estacionales y con variaciones bajas frente a la proyección. Cuando se tiene una situación como la descrita en las secciones 1.3 y 2.3, es necesario buscar alternativas para gestionar estas variaciones.

En general, la demanda estacional pone en evidencia limitaciones que la misma configuración no tendría para satisfacer una demanda plana. Por ejemplo, una demanda plana, con producción plana alcanza una eficiencia mucho mayor en el uso de los recursos productivos que una demanda estacional, dónde existen meses en los que la capacidad instalada no es suficiente para satisfacer la demanda por lo que se realizan adelantos de producción o horas extras, en los casos en los que no se acepta el quiebre de stock.

Wong et al (2005) proponen un sistema estructurado para la definición de la cadena de abastecimiento óptima. Basan el estudio en la selección de determinantes con valores umbral. El catálogo de productos es clasificado según estos determinantes y agrupado en clusters. Cada cluster requiere un tipo de cadena de abastecimiento distinto como ser una cadena de respuesta rápida, una cadena altamente eficiente o una cadena que fabrica contra pedido. Dado que esto apunta al rediseño de la cadena y no a la optimización de la existente, este modelo no es aplicable a la situación en estudio.

En muchas situaciones, las empresas necesitan definir una política de fabricación que requiera poca capacidad de cálculo y se aplique con simpleza. Regattieri et al (2007) tomaron dos políticas conocidas y evaluaron su efectividad bajo distintas formas de estacionalidad. En particular, comparan la política ASP (Anticipatory Stock Policy) y la IRP (Increased Ratio Policy). A pesar de ser realmente políticas simples de aplicar, su aplicación a una situación de varios productos fabricados por las mismas máquinas resulta compleja y en algunos casos imposible. El simple hecho de utilizar una capacidad estable para calcular los meses de anticipación o el factor de incremento la transforman en inaplicable cuando una misma máquina se utiliza para producir varios productos y semielaborados.

Al considerar la aleatoriedad de la demanda surgen una infinidad de modelos que atacan el problema. Muchos de ellos incluyen dicha aleatoriedad en la obtención de la proyección de ventas [Yenradee et al, 2001]. Para obtener el

plan de producción óptimo, se utiliza un modelo de programación lineal que minimice los costos totales. La variabilidad de la demanda es contenida mediante la construcción de un stock de seguridad incluido en la optimización.

Por último, se pueden mencionar los modelos estocásticos de programación. A pesar de haberlos de muchos tipos, los más avanzados utilizan un modelo estocástico de dos etapas [Zhang et al, 2006]. El planteo consiste en encontrar los mejores valores para las variables de decisión en las dos instancias: la primera decisión y su corrección. El proceso modelizado se muestra en la Figura 3-1.



Figura 3-1. Proceso estocástico de dos etapas

La optimización busca minimizar los costos esperados para un set de escenarios posibles, representados mediante un vector aleatorio. Dado que esta optimización puede resultar dificultosa y no permitir obtener conclusiones útiles para el análisis del problema, el modelo puede traducirse a un modelo equivalente de programación lineal que se resuelve fácilmente con los métodos conocidos. Este modelo no resulta aplicable para la situación en estudio ya que es un modelo monoproducto. Además, se contempla una fabricación en una sola etapa, sin contemplar etapas intermedias. Por otro lado, no permite equalizar los costos de ventas perdidas y atrasos de ventas debido a que éstos no son permitidos.

CAPÍTULO 4 - PROPUESTA DE MEJORA

4.1. Descripción de la propuesta

La propuesta de mejora consiste en combinar un procedimiento de planificación con un modelo de optimización configurando un ciclo con retroalimentación. Con una frecuencia determinada se recorre este ciclo cumpliendo con una serie de pasos. El proceso se describe en las secciones siguientes.

4.1.1. Proceso de planificación

El proceso de planificación propuesto es un sistema recursivo. La retroalimentación del mismo es la que permitirá ir adaptando la planificación constantemente, transformándola en una de las herramientas de gestión más importantes.



Figura 4-1. Proceso de planificación propuesto

La Figura 4-1 ilustra dicho proceso y a continuación se detallan sus pasos.

4.1.1.1. Entrada de datos

El ingreso de datos es el primer paso del ciclo. Consiste en brindar al modelo la información necesaria para correr la optimización. Naturalmente, la calidad del input determinará la de los resultados por lo que se debe ser sumamente cuidadoso al realizar este paso.

Una porción de la información necesaria es sumamente estática como los ritmos de máquina, los tiempos de setup, los costos de almacenamiento, costos financieros, etc. Pero también se proporcionan datos intrínsecamente

dinámicos como las proyecciones de ventas y la dispersión que presentan las mismas. La velocidad con la que la organización pueda reunir esta información es un factor importante para determinar la frecuencia con la que se cumple el ciclo de planificación propuesto, como se discute en la sección 4.2.6.3.

El listado de datos completo y el formato de los mismos se detalla en la sección 4.2.2.

4.1.1.2. Optimización

La optimización consiste en tomar los datos de entrada y encontrar el mejor plan de producción y compras, junto con otras variables de decisión para abastecer la demanda. Obviamente, debe definirse como determinar cuándo un plan es mejor que otro. El criterio a utilizar es el del menor costo total. Este costo total es el mismo que se analizó en la sección 2.5.3.

Para encontrar el plan óptimo se propone la utilización de un modelo de programación lineal entera mixta. De esta forma se obtiene el plan óptimo para los próximos períodos. Luego, el resultado del mismo es utilizado por el programador de la planta para obtener la programación de la producción de corto plazo, minimizando los tiempos de cambio.

La descripción completa del modelo de optimización se encuentra en la sección 4.2.

4.1.1.3. Ejecución

Este paso se refiere a la ejecución de las acciones que el modelo de optimización devuelve como resultado. Básicamente consiste en realizar las compras planificadas y en producir los productos según los resultados obtenidos. El grado de cumplimiento de los objetivos determinará cuán cerca del costo óptimo estarán los resultados obtenidos. De todas formas, el no cumplimiento de los mismos no supone la inutilización del sistema ya que la retroalimentación permitirá corregir estas diferencias, encontrando siempre el mínimo costo para hacerlo.

4.1.1.4. Evento aleatorio

En paralelo a la ejecución del plan, un evento aleatorio tendrá lugar y afectará la planificación de los meses siguientes. En el modelo propuesto, el evento aleatorio determina una serie de variables que generan el resultado obtenido para el período y condicionan el accionar en adelante.

En primer lugar se conocerá la variable incierta más importante: la demanda del período. La porción de la misma que la compañía puede satisfacer se

transformará en ventas, mientras que el resto serán pedidos pendientes o venta perdida.

También se conocerá cuántos pendientes que se arrastraban del período anterior se transformarán en venta perdida ya que el cliente no esperará más tiempo por el producto.

Por otro lado, sobre el final del período, se conocerá la producción que realmente se pudo alcanzar y el ingreso de materiales comprados anteriormente.

Toda esta información se incorpora a la base de datos de la compañía y permite realizar el siguiente paso del proceso: el análisis de desvíos.

4.1.1.5. Desvíos y análisis

A partir del evento aleatorio se obtienen los resultados de las variables aleatorias. Éstas se comparan con lo planificado y se analizan sus desvíos.

El área comercial evaluará si las ventas planificadas deben mantenerse o es necesario realizar modificaciones. Además puede evaluar si la variabilidad planificada alrededor de la proyección es correcta, si debe ampliarse o reducirse.

El sector de producción revisará la eficiencia de las máquinas y las paradas por mantenimiento que tiene planificadas.

Por otra parte, el sector de abastecimiento revisará el material recibido, los ingresos pendientes y la marcha de las órdenes a ingresar.

La información obtenida de estos análisis es volcada nuevamente a la base de datos de la compañía para retroalimentar el proceso y realizar un nuevo ciclo.

4.2. Modelo de optimización

En el capítulo 3 se discuten los modelos de gestión de stock existentes. También se mencionan las razones por las que dichos modelos no ajustan a la situación en estudio. Es por esto que para la resolución del problema se plantea el uso de un modelo estocástico de dos etapas con algunas particularidades que lo hacen distinto a los modelos existentes.

Un modelo de optimización estocástico de dos etapas busca el mejor valor de las variables de decisión dada la aleatoriedad de otras variables. En este caso, la variable aleatoria es la demanda. Para considerar la variabilidad de la misma, se configura una serie de escenarios y sus probabilidades asociadas.

Las principales variables de decisión son el plan de producción y el plan de abastecimiento.

Al ser de dos etapas, el modelo separa las variables de decisión en dos tramos. El primer tramo, llamado "fijo", no permite que las variables de decisión difieran entre escenarios. En el segundo tramo, el tramo "móvil", libera la restricción permitiendo que las variables de decisión ajusten según el escenario que se desarrolla. Esta configuración hace que el modelo busque el mejor valor de las variables de decisión en la etapa fija dado que existe aleatoriedad en la demanda. Dicho de otra manera, el modelo responde a la pregunta: ¿qué debo comprar y producir sabiendo que no se conoce exactamente la demanda de los próximos períodos?

Pero uno podría preguntarse el por qué restringir al modelo haciendo que las variables de decisión sean iguales durante el tramo fijo. Se debe tener en cuenta que es difícil saber por qué escenario se transita al poco tiempo de haber comenzado un período. Las tendencias de ventas en general necesitan un tiempo para verse claramente. Por otro lado, el que ejecuta el plan debe ejecutar uno solo y no uno para cada escenario. Es decir, al comprador se le debe proporcionar un plan de compras y al programador de la producción un plan de producción.

Como se menciona anteriormente, el modelo presenta algunas particularidades que lo hacen especialmente aplicable a la situación en estudio. En primer lugar, contempla la existencia de backlog de ventas pero agrega que el mismo tiene una duración máxima permitida. Además, esta duración es variable a lo largo del tiempo y entre productos, lo que permite que el modelo se adapte a una gran cantidad de situaciones.

En segundo lugar, se contemplan los tiempos de setup y compras mínimas que se presentan en la realidad. Aunque esto no es algo particular de este modelo, sí lo es el tratamiento que les da a fin de mantener los tiempos de resolución dentro de valores razonables. Esto se debe a que para poder considerar estas situaciones, deben utilizarse variables auxiliares binarias que imposibilitan la resolución con algoritmos veloces como simplex o barrera. La utilidad de esta característica se explica en profundidad en las secciones 4.2.4.3 y 4.2.4.4.

Las características del modelo planteado responden a un modelo de programación lineal entera mixta por lo que su resolución requiere de algoritmos como branch and bound o branch and cut, lo que implica disponer de un software adecuado para este tipo de problemas. En las secciones siguientes se describe el modelo, comenzando por las suposiciones utilizadas al desarrollarlo.

4.2.1. Suposiciones

- La única variable aleatoria es la demanda. El resto es conocido y determinista: lead times de producción, ritmos y eficiencias de máquina, paradas por mantenimiento y ausentismo.
- Las máquinas no sufren roturas por lo que las únicas paradas son las planificadas para mantenimiento.
- Los productos se fabrican en una única máquina. No se tienen en cuenta alternativas de producción.
- No se aceptan alteraciones a las fichas técnicas: los productos se fabrican tal como fueron definidos en las mismas.
- La estructura de turnos, días laborables y disponibilidad de maquinistas no es alterable sino que viene dada.
- Hay un único valor de la hora extra.
- El personal contratado tiene un salario único.
- Luego del setup, las máquinas entran en régimen instantáneamente al ritmo estándar.
- Los pedidos pendientes se manejan con un sistema FIFO.
- Los ingresos de material durante un período no son tenidos en cuenta para la venta durante el mismo sino que estarán disponibles a partir del próximo. Los ingresos de materias primas y semielaborados se pueden consumir durante el mismo mes en el que ingresan
- El ingreso de las materias primas ocurre instantáneamente al cumplirse el lead time estipulado para cada producto.

4.2.2. Datos de entrada

En este apartado se detallan los datos de entrada del modelo y la manera de explicitarlos.

4.2.2.1. Maestro de productos

El maestro de productos es el listado de todos los materiales, incluyendo productos terminados, semielaborados y materias primas, con sus datos.

Las columnas de esta tabla son las siguientes:

- Código del material
- Costo unitario de venta perdida: para materias primas y semielaborados es cero.
- Costo unitario del stock físico: la suma del costo financiero y el de almacenamiento
- Costo unitario de liquidación del stock

- Tipo de material: indica se es un producto terminado, un semielaborado o una materia prima
- Lead time: (en períodos) solo para materias primas y productos terminados fabricados por terceros
- Stock de inicio: stock disponible al momento de correr la optimización
- Nivel de servicio mínimo: sólo para productos terminados

4.2.2.2. Plan de ventas para cada escenario

Para todos los productos terminados se debe brindar el plan de ventas por período para cada escenario ya sea porque se elaboró un plan de ventas para cada uno o porque se generaron números aleatorios para alterar el plan base.

4.2.2.3. Datos de los periodos

Los datos de los períodos contienen información de cada uno de ellos. La tabla que los contiene es la siguiente:

PERÍODO	DÍAS HÁBILES	AUSENTISMO
1	x	y%
...
N	z	k%

Tabla 4-1. Ejemplo de tabla de datos de los períodos

4.2.2.4. Duración de los pendientes

Esta es una tabla en la que se especifica, para cada producto terminado, la duración máxima de los pedidos pendientes en cada mes. La misma contiene en sus filas los productos terminados y en las columnas los períodos en estudio. Cada elemento representa la duración máxima de los pendientes del producto de las filas en el mes de las columnas. La Tabla 4-2 muestra como ejemplo la forma en que se cargan los datos.

PRODUCTO	PERÍODO 1	...	PERÍODO T
1	1	...	0
...
N	4	...	2

Tabla 4-2. Ejemplo de tabla de duración de pendientes

4.2.2.5. Lista de materiales y hoja de ruta de cada material

Cada producto terminado y semielaborado que se fabrique a partir de otros materiales debe tener su lista de materiales, indicando código y consumo

estándar de cada ítem de la lista. La Tabla 4-3 muestra el formato de este listado.

MATERIAL	MATERIAL QUE CONSUME	CONSUMO ESTÁNDAR
<i>1</i>	<i>98</i>	<i>2,5</i>
<i>1</i>	<i>120</i>	<i>34</i>
<i>1</i>	<i>341</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>98</i>	<i>3,5</i>
<i>3</i>	<i>420</i>	<i>5</i>
<i>3</i>	<i>525</i>	<i>20</i>

Tabla 4-3. Ejemplo de lista de materiales

El código de la primera columna de la tabla se refiere al código que se fabrica mientras el segundo se refiere al que se consume. Por ejemplo, para fabricar una unidad del producto 1 se necesitan 2,5 del material 98, 34 del material 120 y una unidad del material 341.

Por otro lado, los materiales que pasan por máquinas propias de la empresa deben indicar la misma y el ritmo estándar, como se muestra en la Tabla 4-4.

MATERIAL	MÁQUINA	RITMO
<i>1</i>	<i>1</i>	<i>3000</i>
<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2500</i>
<i>4</i>	<i>20</i>	<i>700</i>
<i>8</i>	<i>24</i>	<i>5400</i>
<i>9</i>	<i>24</i>	<i>5400</i>
<i>11</i>	<i>8</i>	<i>3200</i>

Tabla 4-4. Ejemplo de hoja de listado de ritmos de máquina

Se debe aclarar que los ritmos se expresan en unidades producidas por hora máquina.

4.2.2.6. Datos de las máquinas

Se debe proporcionar al modelo un listado de las máquinas a utilizar y sus características, a saber:

- Dotación necesaria
- Eficiencia
- Cantidad de máquinas idénticas
- Horas de mantenimiento planificadas por período

Las horas de mantenimiento planificadas se especifican a través de una tabla con períodos en las columnas y máquinas en las filas.

4.2.2.7. Grupos de producción y sus datos

Los grupos de producción se especifican en dos tablas separadas. Una contiene los pares material-grupo. La otra contiene el listado de los grupos con su tiempo de setup, las horas mínimas de producción así como también las máximas.

4.2.2.8. Grupos de compras y sus datos

Al igual que los grupos de producción, los grupos de compras se especifican a través de dos tablas. La primera que contiene los pares material-grupo y la segunda que contiene las compras mínima y máxima por período.

4.2.2.9. Ingresos pendientes

Se debe proveer al modelo de todas las compras que fueron realizadas pero aún están pendientes de ingreso. De esta forma, el modelo las tiene en cuenta y utiliza los ingresos futuros como dato dentro de los cálculos.

4.2.3. Función objetivo

La función objetivo utilizada es el costo total esperado de la estrategia y, obviamente, la optimización busca minimizarla. Sus componentes son las planteadas en la sección 2.5.3:

- Almacenamiento
- Financiero
- Quiebres
- Costo de liquidación
- Costo productivo

La fórmula para el cálculo del costo total esperado es la siguiente:

$$\text{Costo Total Esperado} = \sum_{s=1}^N P(s) * CT(s) \quad (4-1)$$

Donde $P(s)$ es la probabilidad de ocurrencia del escenario s y $CT(s)$ es el costo total asociado a dicho escenario. La ecuación (4-2) describe el costo total de cada escenario.

$$CT(s) = \sum_{t=1}^P \left[\left(\sum_{i=1}^N (CAU_i + CFIN_i) * Stk_{sit} + CVP_i * VtaPerd_{sit} \right) + CHsExtra \right. \\ \left. * HsExtra_{st} + CCont * Contratados_{st} \right] + \sum_{i=1}^N CL_i * StkCierre_{si} \quad (4-2)$$

Siendo CAU_i el costo mensual de almacenamiento unitario del material i , $CFIN_i$ el costo mensual financiero del material i , Stk_{sit} el stock en unidades del material i en el mes t correspondiente al escenario s . CVP_i se refiere al costo de perder una venta de una unidad y $VtaPerd_{sit}$ son las ventas perdidas en unidades del producto i en el mes t del escenario s . $CHsExtra$ es el costo de una hora hombre extra y $HsExtra_{st}$ son las horas hombre extras necesarias para cumplir la producción del mes t en el escenario s . De la misma forma, $CCont$ representa el costo mensual de un operario contratado temporalmente y $Contratados_{st}$ indica la cantidad necesaria para alcanzar la producción del mes t en el escenario s . Por último, CL_i es el costo de liquidación del stock del material i y $StkCierre_{si}$ es el stock remanente del mismo en el escenario s . P indica la cantidad de períodos para los que se corre la optimización y N la cantidad de materiales que utiliza la empresa.

4.2.4. Restricciones planteadas

En esta sección se describen las restricciones del modelo, agrupadas por concepto para brindar mayor claridad.

4.2.4.1. Cálculo de stock

Esta restricción exige que para todos los productos, en todos los meses y escenarios, el stock de un producto en un mes determinado es igual al del mes anterior disminuido por los egresos y aumentado por los ingresos. En términos matemáticos se expresa en la ecuación (4-3).

$$Stk_{s,i,t} = Stk_{s,i,t-1} + Ingresos_{s,i,t} - Egresos_{s,i,t} \quad (4-3) \\ \forall t \in P, \quad \forall i \in M, \quad \forall s \in S$$

Cómo se definen los ingresos y egresos depende del tipo de producto. Para productos terminados los egresos están definidos por las ventas del mismo y los ingresos son iguales a la producción. En el caso que éstos sean fabricados por terceros, los ingresos serán las compras de N períodos hacia atrás siendo N el lead time de dicho producto.

Para el caso de materiales semielaborados, los ingresos responden a la fabricación del mes mientras que los egresos equivalen al consumo de los mismos en los procesos productivos del período.

Por último, las materias primas definen sus ingresos mediante las compras anteriores, de la misma manera que los productos terminados fabricados por terceros. Sus egresos se definen de la misma forma que los semielaborados, mediante el consumo de los mismos en procesos productivos.

En general, para semielaborados y materias primas se define la variable consumo que es utilizada como egreso en la ecuación (4-3). Para obtenerlo, se utiliza la información contenida en las fichas técnicas. Se llama $ConsSTD_{i,j}$ al consumo estándar del material j para producir una unidad del material i . De esta forma, se puede escribir la restricción de consumo como se muestra en la ecuación (4-4).

$$Consumo_{s,i,t} = \sum_{j \in FT_i} Producción_{s,j,t} * ConsSTD_{j,i} \quad (4-4)$$

Naturalmente, no se puede consumir material que no se encuentra en stock. La empresa considera disponible para la producción de un período las materias primas que ingresan durante el mismo. Por lo tanto, el material a consumir debe ser menor o igual que el stock de cierre del período anterior más los ingresos del período. Esto es equivalente a decir que el stock del período debe ser mayor o igual a cero. Dado que en programación lineal esto es una restricción implícita, no debemos hacer consideraciones adicionales para que el modelo cumpla esta condición. En cuanto a los materiales semielaborados, la consideración es la misma que para materias primas, con la diferencia que un ingreso significa la producción propia del material y no el ingreso por compra del mismo

4.2.4.2. Restricciones de ventas

Con respecto a las ventas, se utilizan varias restricciones para representar lo mejor posible el comportamiento real y los costos derivados, que se aplican a todos los productos terminados. Este conjunto es denominado PT en las ecuaciones de esta sección.

En primer lugar, la empresa utiliza como criterio de planificación que los ingresos de producto terminado programados para un período determinado no sean tenidos en cuenta para abastecer las ventas del mismo. En consecuencia, las ventas de un mes nunca pueden ser mayores al stock de cierre del mes anterior, como se indica en la ecuación (4-5).

$$Ventas_{s,i,t} \leq Stk_{s,i,t-1} \quad \forall t \in P, \quad \forall i \in PT, \quad \forall s \in S \quad (4-5)$$

A su vez, la demanda de un producto en un determinado período se descompone en ventas, pedidos pendientes y venta perdida. La demanda total

del período se expresa como la propia del período más los pendientes que arrastra el producto de períodos anteriores.

$$\begin{aligned}
 Demanda_{s,i,t} + Pend_{s,i,t-1} &= Ventas_{s,i,t} + VtaPerd_{s,i,t} + Pend_{s,i,t} \\
 \forall t \in P, \quad \forall i \in PT, \quad \forall s \in S &
 \end{aligned}
 \tag{4-6}$$

En la ecuación (4-6) $Pend_{s,i,t}$ representa los pendientes del producto i en el período t correspondientes al escenario s mientras que $VtaPerd_{s,i,t}$ indica las ventas perdidas para las mismas condiciones.

Es importante ver que los pendientes se acumulan en las variables de los sucesivos períodos y no corresponden exclusivamente a los pendientes originados por pedidos del período en cuestión. Por ejemplo, si en el mes 1 quedan 10 unidades pendientes y durante el mes 2 se demandan 20 unidades más pero el stock es cero, el pendiente del mes 2 será de 30 unidades.

Dado que los pendientes se van acumulando se puede utilizar una restricción para indicar el máximo tiempo que los clientes esperan por los mismos, antes de dar de baja el pedido. A pesar de que este tiempo depende de varios factores, y no se disponen de medidas estadísticas para obtenerlo, se lo aproxima a través del comportamiento de cada producto y el momento en el que se encuentra: los productos de comportamiento estacional tendrán más tiempo para cumplir sus pendientes al iniciar la temporada y luego se irá reduciendo hasta hacerse cero durante el último mes de la misma. El tiempo de espera para los productos comerciales es constante para todos los períodos. De todas formas, el modelo permite definir este tiempo para cada producto en cada mes mediante la matriz de duración de pendientes. Esta matriz tiene dimensiones $dim(PT) \times dim(P)$, siendo PT el conjunto de productos terminados y P el conjunto de períodos, y sus elementos se representan con la notación $DP_{i,t}$ en la ecuación (4-7).

$$Pend_{s,i,t} \leq \begin{cases} \sum_{j=t+1}^{t+DP_{i,t}} Ventas_{s,i,j} & si DP_{i,t} > 0 \\ 0 & si DP_{i,t} = 0 \end{cases}
 \tag{4-7}$$

Dado que se planifica un tiempo finito, se deben restringir los pendientes del último período ya que de lo contrario no habrá penalidad por no cumplir esas ventas. Por lo tanto, los pendientes del último período deben ser cero, como se muestra en la ecuación (4-8).

$$Pend_{s,i,T} = 0 \quad \forall i \in PT, \quad \forall s \in S \quad (4-8)$$

Por último, se utiliza una serie de restricciones a fin de poner una cota inferior al nivel de servicio de cada producto. Es importante tener en cuenta que exigir niveles de servicio altos para todos los productos puede generar que el problema sea no factible, es decir, no exista solución para el mismo. Por lo tanto es recomendable fijar niveles de servicio mínimo sólo para los productos importantes. La restricción del nivel de servicio se muestra en la ecuación (4-10).

$$NSMin_i * \sum_{i \in P} Demanda_{s,i,t} \leq \sum_{i \in P} Ventas_{s,i,t} \quad \forall i \in PT, \forall s \in S \quad (4-9)$$

4.2.4.3. Restricciones productivas

Estas restricciones intentan representar las limitaciones productivas reales a las que se enfrenta la empresa. En primer lugar se deben tener en cuenta las horas máquina necesarias compuestas por el tiempo de máquina funcionando y el tiempo de setup de cada máquina a la hora de cambiar de producto. Esto hace que el tiempo de máquina sea una variable semicontinua descrita por una función de la forma siguiente:

$$Tiempo\ de\ Maquina = \begin{cases} Setup + Std * Prod & si\ Prod > 0 \\ 0 & si\ Prod = 0 \end{cases} \quad (4-10)$$

Si se grafica dicha función se obtiene una forma como la representada en la Figura 4-2.

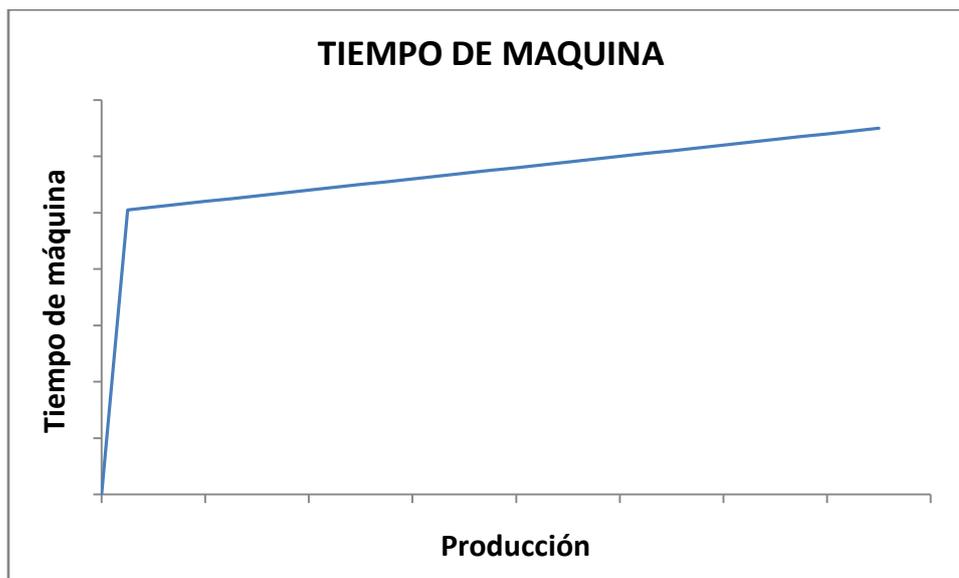


Figura 4-2. Tiempo de máquina como función partida

A pesar de que la programación lineal pura puede resolver sin problemas restricciones con funciones partidas, no puede hacerlo si las mismas determinan un dominio cóncavo para las variables de decisión. En este caso, la región factible para el tiempo de máquina es el área superior a la curva, lo que hace imposible la resolución del problema utilizando programación lineal pura. Por este motivo, se utiliza la programación lineal entera mixta. Utilizando variables binarias auxiliares se puede linealizar la función mediante una serie de restricciones:

$$Prod \leq Produce * Max \quad (4-11)$$

$$Prod \geq Produce * Min \quad (4-12)$$

$$Produce \in \{0; 1\} \quad (4-13)$$

La ecuación (4-11) obliga a la variable *Produce* a tomar valor 1 si la producción es mayor que cero. Por otro lado, la ecuación (4-12) establece que si la producción es mayor que cero, la misma debe ser superior al mínimo. La ecuación (4-13) restringe el dominio de la variable *Produce* haciéndola binaria. Si se establece *Max* en un número lo suficientemente grande y *Min* en una unidad, el comportamiento de la variable *Prod* será idéntico al graficado en la Figura 4-2.

Con estas restricciones agregadas al modelo, debe resolverse mediante un algoritmo de programación lineal entera o entera mixta. Estos algoritmos funcionan correctamente para problemas de tamaño pequeño, pero el tiempo de resolución crece exponencialmente con la cantidad de variables binarias o enteras que utiliza el modelo. En este caso, se necesitaría una variable auxiliar por material, por período y por escenario. Suponiendo que se optimizan 12 meses utilizando 5 escenarios para 3.300 materiales, se necesitarían 180.000 variables binarias. Esto obligaría al optimizador a resolver $2^{180.000}$ problemas antes de utilizar algún método de eliminación.

El poder de procesamiento informático requerido para resolver un problema de ese tamaño no está al alcance de la mayoría de las empresas por lo que en este trabajo se busca una alternativa que reduzca el número de variables sin perder cercanía con la realidad de la compañía. Esta alternativa consiste en agrupar los materiales y utilizar una variable auxiliar por grupo en vez de utilizarse una por material. Esto podría parecer muy alejado de las limitaciones productivas reales pero, por el contrario, el modelo ajusta mejor al mismo tiempo que logra una performance en la resolución mucho mejor que el modelo sin agrupamiento. Para entender la razón detrás de esto, primero se debe tener

en cuenta que la duración del setup de una máquina para fabricar determinado producto no depende solamente del producto a producir sino también del producto que ocupó la máquina anteriormente. En general, los modelos de *planning* no contemplan este aspecto ya que la diferencia puede ser despreciable dado el nivel de agregación que se utiliza. Los problemas de *scheduling* sí tienen en cuenta estas diferencias ya que se utilizan modelos en los que se acotan los productos a fabricar y el horizonte de planificación es relativamente corto. Además, la función objetivo ya no contempla todos los costos sino que en general busca reducir los tiempos de máquina parada y el resultado esperado de estos modelos es justamente la secuencia de entrada en máquina.

El modelo propuesto aprovecha la existencia de tiempos de setup despreciables frente al resto de los que conforman la matriz de cambio de cada máquina. De esta forma, agrupa los materiales que se procesan en una misma máquina y que utilizan configuraciones similares o idénticas, cuyo tiempo de preparación es despreciable.

Para poder aplicar las restricciones a un grupo de productos, se debe reemplazar la producción de un producto por la suma de las producciones de los productos del grupo en las ecuaciones (4-11) y (4-12). Pero esta sustitución lleva a sumar productos cuyas escalas de producción pueden ser muy distintas, haciendo difícil fijar un mínimo y un máximo. Por lo tanto, se homogeniza la suma utilizando el estándar de máquina, obteniendo las horas de máquina necesarias para la producción. Los beneficios de esta práctica también se ven reflejados en la performance del modelo ya que realiza una sola operación de suma tanto para las restricciones de mínimo y máximo como para el cálculo de horas máquina necesarias.

Finalmente, se pueden traducir las ecuaciones (4-11), (4-12) y (4-13) a la forma para grupos de materiales, como se muestra en las ecuaciones (4-14), (4-15), (4-16) y (4-17).

$$HsMaq_{gst} = \sum_{i \in g} Prod_{ist} * std_i \quad (4-14)$$

$$HsMaq_{gst} \leq Produce_{gst} * Max_g \quad (4-15)$$

$$HsMaq_{gst} \geq Produce_{gst} * Min_g \quad (4-16)$$

$$Produce_{gst} \in \{0; 1\} \quad (4-17)$$

Donde $HsMaq_{gst}$ son las horas máquina que utiliza el grupo de productos g en el escenario s durante el período t , $Produce_{gst}$ es la variable binaria auxiliar

que toma valor 1 si se fabrica algún producto del grupo ó 0 si no lo hace y Min_g y Max_g son el mínimo y el máximo de producción mensual del grupo g . $Prod_{ist}$ es la producción del producto i en el escenario s durante el período t . La transformación de producción a horas máquina permite fijar el mínimo y el máximo uniformemente para todos los grupos. El mínimo será la duración de un turno, respondiendo a una política de la empresa, en tanto que el máximo, se sabe que no es posible utilizar más horas que las disponibles en un período por lo que será igual a esas horas. Si el grupo se fabrica en una máquina de la cual se dispone más de una idéntica, las horas disponibles se multiplican por la misma cantidad. Con estas consideraciones se reescriben las ecuaciones (4-15) y (4-16).

$$HsMaq_{gst} \leq Produce_{gst} * HorasHables_t * CantMaq \quad (4-18)$$

$$HsMaq_{gst} \geq Produce_{gst} * HsPorTurno \quad (4-19)$$

Teniendo las horas de máquina necesarias de cada grupo y conociendo la correspondencia entre grupos y máquinas, se puede limitar la producción de cada máquina para no exceder las horas disponibles en el período. Las horas disponibles en cada máquina se obtienen mediante la ecuación (4-20).

$$HsMaqDisp_{skt} = Turnos_{skt} * HsPorTurno + HsExtra_{skt} - HsMant_{kt} \quad (4-20)$$

El producto de la cantidad de turnos y las horas por turno es la cantidad de horas máquina regulares. A ellas se les agrega las horas extra que se realicen en el período en esa máquina y se les sustrae las horas de mantenimiento planificadas.

De esta forma, se puede escribir la restricción de horas máquina disponibles como se muestra en (4-21).

$$HsMaqDisp_{skt} \geq \sum_{g \in G_k} (HsMaq_{gst} + Produce_{gst} * Setup_g) \quad (4-21)$$

Siendo G_k el conjunto de grupos de producción que se produce en la máquina k y $Setup_g$ el tiempo de setup necesario para comenzar a producir los productos del grupo g .

A su vez, las horas máquina disponibles no pueden superar a las horas disponibles en el mes. Por lo tanto, se escribe la restricción (4-22).

$$HorasHables_t * CantMaq_k \geq Turnos_{skt} * HsPorTurno + HsExtra_{skt} \quad (4-22)$$

Donde $HorasHables_t$ se refiere a los días hábiles del mes t multiplicados por las horas por día en las que la fábrica está disponible. $Turnos_{skt}$ y $HsExtra_{skt}$ son

los turnos y las horas extra respectivamente que trabajará la máquina k durante el período t en el escenario s . Es importante notar que en este caso no se incluyen las horas de mantenimiento, que sí fueron tomadas en cuenta en la ecuación (4-19). Esto se debe a que el mantenimiento es tiempo de máquina que no está disponible para la producción pero es tiempo que se consume de un turno y obviamente se computa en el tiempo total de uso de la máquina.

Las restricciones de mano de obra directa necesaria surgen de las horas máquina, el personal permanente de la planta, el personal contratado temporalmente y los días hábiles disponibles en el mes. La oferta de mano de obra se expresa en la ecuación (4-23).

$$\begin{aligned} \text{OfertaMOD}_{st} = & (\text{MODPerm} + \text{Contratados}_{st}) * \text{DiasHables}_t \\ & * (1 - \text{Ausentismo}_t) * \text{PolivalenciaMOD} \end{aligned} \quad (4-23)$$

Donde MODPerm es el personal permanente de la planta, Contratados_{st} son los operarios contratados en el escenario s para el período t , DiasHables_t son los días hábiles del período t . Ausentismo_t es el ausentismo histórico durante el período t y PolivalenciaMOD es un factor que toma valores entre 0 y 1 e intenta representar cómo se reduce la oferta debido a que los operarios no pueden realizar cualquiera de las funciones requeridas en las máquinas sino que están capacitados para algunas de ellas. Un valor de 1 de la polivalencia indica que los operarios pueden realizar cualquiera de las tareas requeridas dentro de la planta. Un valor cercano a cero indica que los operarios son especializados y sólo pueden desarrollar una tarea específica.

Por otro lado, la demanda de mano de obra directa está dada por (4-24).

$$\text{DemandaMOD}_{st} = \sum_{k \in K} \text{Turnos}_k * \text{Dotación}_k \quad (4-24)$$

Obviamente, la restricción a aplicar es que la demanda de mano de obra directa en cada período de cada escenario sea menor a la oferta, expresado en (4-25).

$$\text{DemandaMOD}_{st} \leq \text{OfertaMOD}_{st} \quad (4-25)$$

En el caso particular de la empresa analizada existe una limitación en la cantidad de maquinistas disponibles. Esto hace que no se puedan realizar más turnos diarios que los maquinistas disponibles. Aún así la planta puede funcionar 24 hs ya que realiza 2 turnos diarios de 12 hs de los cuales 8 hs son regulares y 4 hs son horas extra. Genéricamente se puede expresar esto mediante la ecuación (4-26).

$$Turno_{S_{skt}} \leq DiasHables_t * MaxTurnosPorDia * CantMaq_k \quad (4-26)$$

Muchas veces las empresas limitan la cantidad de horas extras como política. En este caso, el límite es del 50% de las horas regulares, pero podría tomarse otro límite por lo que nuevamente se escribe la ecuación de forma genérica.

$$HsPorTurno * MaxHsExtra * \sum_{k \in K} Turnos_{S_{skt}} \geq \sum_{k \in K} HsExtra_{skt} \quad (4-27)$$

Por último, como se menciona en 2.5.3.5, la cantidad de personal contratado no puede aumentar a partir de un período determinado. Matemáticamente este se expresa de la siguiente forma:

$$Contratados_{st} \leq Contratados_{st-1} \quad \forall t \in [PerContDesc, CantPer - 1] \quad (4-28)$$

Donde PerContDesc indica el primer período en el que la mano de obra contratada no puede aumentar.

4.2.4.4. Restricciones de abastecimiento

Las compras que debe realizar la empresa presentan un problema similar al de las horas de máquina. Son variables semicontínuas ya que pueden valer cero o una cantidad mayor que un mínimo determinado.

Para modelizarlas se utiliza la misma estrategia que se utiliza para las horas máquina, agrupando los productos y fijando mínimos y máximos para cada uno de ellos. En este caso, el criterio de agrupamiento es distinto aunque su trasfondo es similar. El proveedor industrial fija mínimos de venta de acuerdo a sus mínimos de producción o lotes óptimos. De esta manera, puede fijar mínimos para la compra de un grupo de materias primas ya que él optimiza su entrada en máquina produciendo los productos de dicho grupo. Los máximos se obtienen de la capacidad de producción del proveedor durante un período. Por lo tanto, las restricciones son similares a las utilizadas en la sección 4.2.4.3 con las horas de máquina, salvo que en este caso sí se suman las compras en unidades del grupo sin convertirlas a horas.

$$Compras_{gst} = \sum_{i \in g} Compras_{ist} \quad (4-29)$$

$$Compras_{gst} \leq Compra_{gst} * Max_g \quad (4-30)$$

$$Compras_{gst} \geq Compra_{gst} * Min_g \quad (4-31)$$

$$Compra_{gst} \in \{0;1\} \quad (4-32)$$

En este caso, el mínimo y el máximo de cada grupo están dados por el proveedor.

4.2.4.5. Restricciones entre escenarios

Para describir un modelo estocástico se deben fijar las variables de decisión a través de los escenarios ya que la decisión será única sin importar en qué escenario se encuentra uno al momento de tomarla. Por otro lado, existen restricciones operativas que son difíciles de modelizar y que exigen que los planes se mantengan fijos durante un determinado tiempo. La necesidad de utilizar los períodos fijos y cuántos deben ser se discute en la sección 4.2.6.3.

Las variables de decisión de la empresa son la producción de cada producto, las órdenes de compra que se emiten y la cantidad de personal contratado en cada período. El resto de las variables se obtiene de éstas a través de las restricciones planteadas anteriormente.

Estas variables permanecen fijas a través de los escenarios, es decir, la decisión se toma independientemente del escenario que se desarrolla ya que eso es justamente lo que optimiza el modelo. De esta forma se plantea una serie de restricciones que contemplen lo dicho en esta sección.

$$Prod_{ist} = Prod_{it} \quad \forall i \in M, \forall s \in S, \forall t \leq PerFijos \quad (4-33)$$

$$Contratados_{st} = Contratados_t \quad \forall s \in S, \forall t \leq PerFijos \quad (4-34)$$

En la ecuación (4-33) la variable *Prod* se refiere tanto a producción como a compras según corresponda para cada material.

Estas restricciones son suficientes para determinar que las decisiones son iguales para todos los escenarios pero para mejorar la performance del modelo se explicitan de otra forma. De esta manera se evita que el optimizador tenga que ocupar tiempo para encontrar que el resto de las variables debe ser igual cuando ya se conoce que esto es así. Por lo tanto, se agrega una serie de restricciones que en rigor son redundantes:

$$Produce_{gst} = Produce_{gt} \quad \forall g \in G, \forall s \in S, \forall t \leq PerFijos \quad (4-35)$$

$$Compra_{gst} = Compra_{gt} \quad \forall g \in GC, \forall s \in S, \forall t \leq PerFijos \quad (4-36)$$

$$Turnos_{kst} = Turnos_{kt} \quad \forall k \in K, \forall s \in S, \forall t \leq PerFijos \quad (4-37)$$

$$HsExtra_{kst} = HsExtra_{kt} \quad \forall k \in K, \forall s \in S, \forall t \leq PerFijos \quad (4-38)$$

Estas restricciones no se escriben explícitamente en el modelo sino que es más simple definir directamente las variables que no dependen del escenario y utilizarlas en las ecuaciones para todos los escenarios. Por lo tanto, cada una de estas variables está definida como una única variable para los períodos fijos y una por escenario para los períodos móviles.

4.2.5. Resultados que devuelve la optimización

El modelo devuelve como resultado el valor de todas las variables de decisión que minimizan el costo total esperado. Estas variables son:

- Plan de producción
- Plan de abastecimiento
- Personal contratado necesario

Estos resultados son utilizados por el programador de la planta para programar la producción utilizando su sistema de scheduling y por los compradores para negociar con los proveedores las compras.

En rigor, el modelo devuelve más información, como las horas extras necesarias y la estimación de ventas perdidas en cada escenario pero estas variables son el resultado de las detalladas anteriormente.

Con esto se completa el paso dos del ciclo de planificación y se procede a la ejecución de los planes.

4.2.6. Parametrización del modelo

La parametrización del modelo es fundamental para obtener resultados útiles. Más allá de los datos de entrada, se deben determinar otros aspectos del modelo a saber:

- Escenarios: cantidad, tipos y variabilidad
- Nivel de servicio mínimo por producto
- Cantidad de períodos fijos
- Cantidad de períodos a planificar
- Polivalencia de la mano de obra directa

A continuación se detalla cada uno de los puntos mencionados.

4.2.6.1. Escenarios

Los escenarios a utilizarse para la corrida de la optimización pueden definirse mediante dos criterios: aleatorios o valorados. Los escenarios aleatorios se utilizan cuando se supone que el plan de ventas es la mejor estimación posible

de las ventas. A partir de este escenario base, se generan S escenarios con algún generador de números aleatorios. La distribución de estos números aleatorios también debe definirse con cuidado ya que determinará en gran medida la calidad de los resultados que se obtienen de la optimización.

Con este criterio, la cantidad de escenarios a utilizar debe definirse en función del poder de procesamiento disponible. Si se tiene en cuenta que la cantidad de variables se multiplica con cada escenario que se agrega es de esperar que para un modelo con una gran cantidad de productos, cada escenario aumente considerablemente el tiempo de ejecución de la optimización haciéndola tan larga que resulte incompatible con los tiempos del negocio.

Por otro lado, si los escenarios se generan manualmente, planteando una serie de posibles desarrollos obtenidos desde la experiencia del área comercial, la calidad del resultado dependerá de la veracidad de los mismos. La cantidad de escenarios queda determinada de antemano, antes del planteo de los mismos. El caso más utilizado de este criterio sería generar un escenario base, uno optimista y uno pesimista.

4.2.6.2. Nivel de servicio mínimo por producto

El modelo permite definir el nivel de servicio mínimo que la empresa desea brindar a sus clientes en cada producto, midiendo el nivel de servicio como la porción de demanda satisfecha sobre el total.

Este parámetro puede fijarse en cero, dejando que el optimizador encuentre el mejor costo y revisando posteriormente el nivel de servicio que el mismo brinda. El forzar un nivel de servicio mayor obviamente tendrá un costo adicional ya que agrega restricciones al modelo.

Dado que en general es muy difícil encontrar un nivel de servicio óptimo que balancee los costos productivos con los costos de insatisfacción del cliente, este parámetro generalmente es fijado por política de la empresa. La ventaja de utilizar el optimizador es que permite obtener el costo de brindar un nivel de servicio mayor. Si se corre el optimizador para distintos niveles de servicio, puede obtenerse fácilmente la curva de costos en función de este último, brindando información que de otra manera sería muy difícil o imposible de obtener.

Esto permite poder fijar un nivel de servicio como política pero tomando una decisión más informada.

4.2.6.3. Cantidad de períodos fijos

La cantidad de períodos fijos a utilizar debe corresponderse con la frecuencia con la que se recorre el ciclo planteado en 4.1.1. Si el ciclo se recorre mensualmente, la cantidad de períodos fijos debe ser 1 mes. Si el ciclo se cumple trimestralmente, la cantidad de períodos fijos debe ser 3 meses y así sucesivamente.

Dado que a mayor cantidad de períodos fijos las restricciones son mayores, el costo esperado también aumentará. Más allá de la demostración matemática por pérdida de grados de libertad, resulta lógico pensar que al tener un menor margen para reaccionar ante eventos que van ocurriendo el costo final sea mayor. Esto lleva a pensar que la cantidad de períodos fijos óptima es la mínima operativamente posible.

Las restricciones operativas responden a aspectos difíciles de cuantificar pero que en la realidad existen. Cambios constantes en la planificación de la empresa pueden llevar a errores en la ejecución de los planes, emitiendo órdenes de compra con cantidades o productos incorrectos, por ejemplo. También existen aspectos de la programación de la planta que pueden verse afectados por los cambios en la programación como por ejemplo la preparación de los elementos periféricos a las máquinas.

Por otro lado, cada corrida requiere que el área comercial prepare sus nuevos pronósticos de ventas. Esta tarea puede requerir una cantidad de tiempo muy importante, haciendo imposible obtener un pronóstico de calidad para realizar la corrida de la optimización.

En definitiva, la madurez de la empresa dictará cuán frecuentemente puede correrse el proceso de optimización. Una vez que la compañía comienza a planificar mediante el método propuesto iniciará un proceso de aprendizaje que en el futuro le permitirá reducir el tiempo entre corridas, reduciendo así el costo total esperado.

4.2.6.4. Cantidad de períodos a planificar

Planificar un horizonte de tiempo muy largo no aporta beneficios importantes ya que antes de acercarse a dichos períodos se correrá el proceso de optimización nuevamente en varias oportunidades. En cada una de esas oportunidades se aportará información nueva, que hará que los resultados se vayan alejando de los obtenidos en la primera corrida.

Por otro lado, utilizar un horizonte demasiado corto no permitirá obtener visibilidad sobre las posibles variaciones que se tendrá en el futuro cercano, dificultando la toma de decisiones y la negociación con proveedores.

Por estos motivos parece razonable planificar a un horizonte de un año. De esta forma, los resultados que se obtienen son fácilmente comparables con la mayoría de los benchmark disponibles que en general se presentan en forma anual.

4.2.6.5. Polivalencia de la mano de obra directa

La polivalencia de la mano de obra es un parámetro difícil de medir. En principio se debería obtener de la experiencia del personal jerárquico de planta. Con el tiempo, la utilización del proceso propuesto permitirá que la empresa aprenda a estimar este parámetro haciendo las futuras optimizaciones más precisas.

4.3. Resultados obtenidos

En esta sección se detallan los parámetros utilizados para correr el modelo de optimización y los resultados obtenidos. Éstos se comparan con los resultados obtenidos de las prácticas actuales para demostrar la superioridad del proceso propuesto frente al sistema actual.

4.3.1. Parámetros utilizados

La corrida del modelo se realizó utilizando 3 escenarios aleatorios. Los números aleatorios se obtuvieron del generador de Microsoft Excel utilizando una distribución uniforme de límite inferior 30% y superior 170%. Se utiliza la distribución uniforme ya que los cumplimientos anuales no ajustan ninguna de las distribuciones conocidas. Con estos números aleatorios se afecta el plan de ventas original, obteniendo así los distintos escenarios.

Dado que no hay una política definida en la empresa de nivel de servicio mínimo por producto el mismo se estableció en cero.

Los períodos fijos se establecieron en 3 meses, utilizando el modelo para planificar un total de 15 meses vista. Esto se realiza de esta manera ya que la corrida que se está realizando en este caso no es para planificar las operaciones sino para obtener el costo anual resultante de aplicar la metodología propuesta y compararlo con la situación actual. Si el modelo se parametriza para planificar exactamente 12 períodos, el modelo intentará cerrar con un stock de cero el último ya que no tiene ningún motivo para que sea más alto. Por el contrario, todo el stock remanente genera los costos asociados. De esta forma, todo el stock del último período se conforma de los productos que

no fueron vendidos por ocurrir alguno de los escenarios planteados y no porque sea necesario para los próximos meses. Esto resulta en un stock de cierre mínimo que no permitirá vender ni producir en los meses siguientes por lo que el costo anual no sería comparable con la situación actual. Como consecuencia, se planifican 3 períodos extra, pero se computa el costo de los primeros 12. De esa forma, la optimización devolverá un plan más parecido a la realidad para los 12 meses.

En la utilización rutinaria del modelo, se deben utilizar exactamente 12 meses si ese es el horizonte que desea el usuario. Los últimos meses se ajustan automáticamente con cada ciclo de planificación y en realidad el resultado del modelo que la empresa utiliza son las variables de decisión en los períodos fijos para planificar sus operaciones de mediano plazo.

En cuanto al factor de polivalencia de la mano de obra se lo fijó en 30% luego de una consulta al área de producción.

4.3.2. Resultados de la optimización

El modelo de optimización se corre utilizando el software ILOG CPLEX Optimization Studio v.12.2 en su versión de 32 bit de la empresa IBM. El modelo programado en el lenguaje OPL se puede consultar en el anexo. La computadora utilizada es una máquina virtual configurada con un procesador de doble núcleo y dos hilos por núcleo, con una velocidad de reloj de 3.33 Ghz y 12 Gb de memoria RAM. Este hardware proporciona 4 hilos de cálculo paralelo a 3.33 Ghz y un máximo de 3 Gb de RAM aproximadamente ya que el software disponible corre bajo 32 bit. El sistema operativo utilizado es Microsoft Windows 7 Professional de 64 bit.

El tiempo requerido para la resolución fue de 5 horas, 7 minutos y 10 segundos. En los próximos apartados se analizan los resultados obtenidos.

4.3.2.1. Costo total

El costo total esperado obtenido mediante la optimización es de \$15.266.023. Es evidente el importante ahorro que alcanzado, representando una caída del costo total del stock del 28%.

Resulta interesante analizar la composición del costo total, tal como se hizo en la sección 2.5.3.6 con las prácticas actuales. La Figura 4-3 compara la composición del costo total obtenido con el método actual versus el método propuesto.

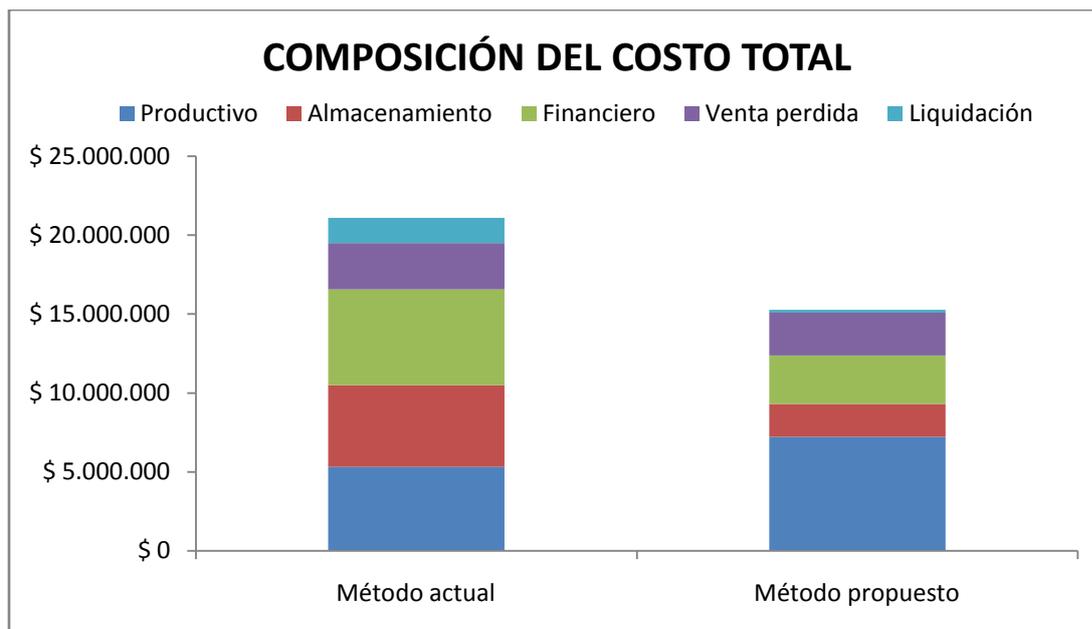


Figura 4-3. Composición del costo total actual y optimizado

El primer resultado evidente es el aumento del costo productivo, a pesar de que el costo total es sensiblemente menor debido a que los costos de almacenamiento y financieros se ven fuertemente reducidos. El costo de las ventas perdidas no sufre grandes cambios lo que es congruente con un nivel de servicio similar en ambas situaciones, como se describe en el apartado 4.3.2.3. El costo de liquidación también se ve fuertemente reducido. La Tabla 4-5 muestra los valores de cada componente.

COSTO	ACTUAL	PROPUESTO	VARIACIÓN (%)
<i>Productivo</i>	\$5.329.003	\$7.214.952	35%
<i>Almacenamiento</i>	\$5.168.942	\$2.080.908	-60%
<i>Financiero</i>	\$6.061.873	\$3.090.185	-49%
<i>Venta perdida</i>	\$2.945.122	\$2.696.050	-8%
<i>Liquidación</i>	\$1.583.912	\$183.927	-88%
Total	\$21.088.852	\$15.266.022	-28%

Tabla 4-5. Variación de los componentes del costo total

Es importante destacar que, dado que el costo del método propuesto es un costo esperado, en realidad la erogación en la que efectivamente incurrirá la empresa será la correspondiente al escenario que finalmente ocurra. Es por esto que se muestra en la Figura 4-4 la comparación de los costos en cada escenario, agrupados por componente.

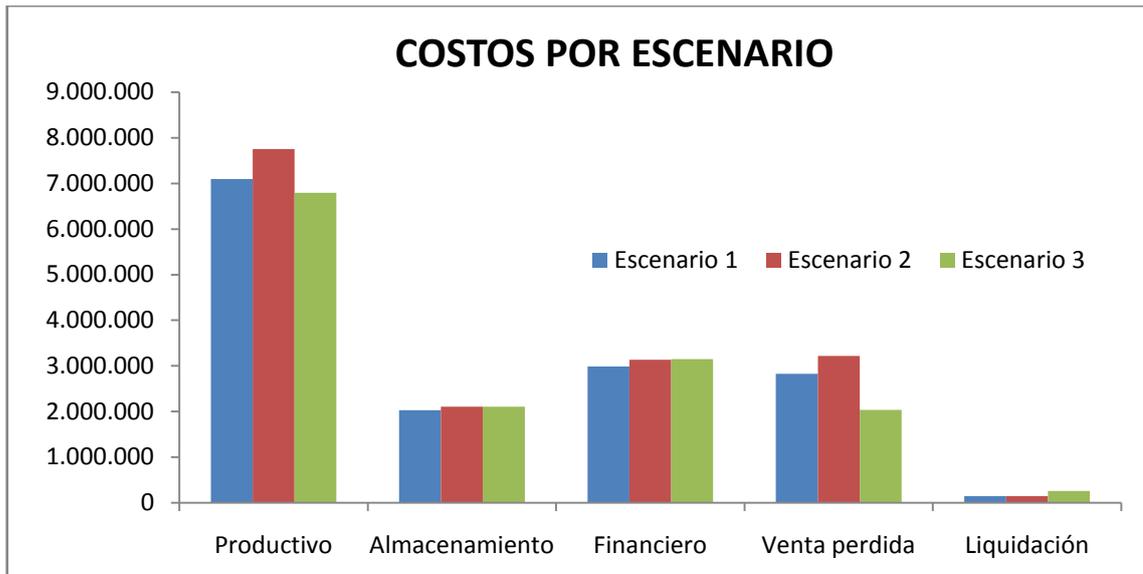


Figura 4-4. Componentes del costo total en cada escenario

Se puede ver claramente que la variación entre escenarios de cada uno de los costos no es significativa por lo que las conclusiones obtenidas del costo esperado no pierden validez.

Del mismo modo en que se realizó la comparación entre escenarios de los costos, se puede comparar el costo total de cada escenario con la práctica actual, como se muestra en la Figura 4-5.

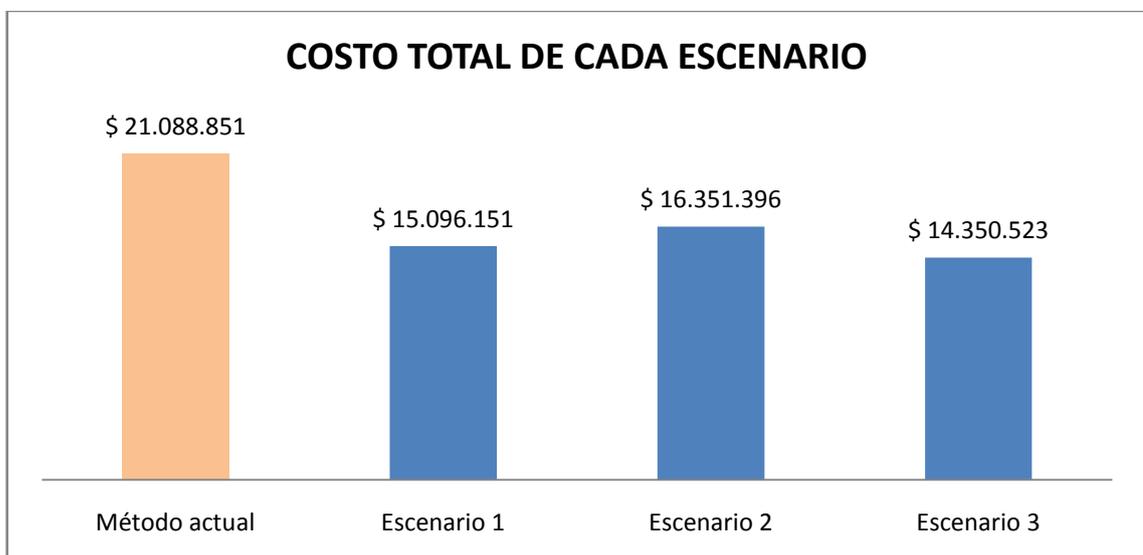


Figura 4-5. Costo total en cada escenario

La conclusión más importante que se desprende del gráfico es que el costo de todos los escenarios se encuentra por debajo del costo de la situación actual. Esto indica que se obtendrán ahorros independientemente del escenario que

se desarrolle, solo cambiando el tamaño del mismo, como se ven en la Figura 4-6.



Figura 4-6. Ahorro obtenido en cada escenario

4.3.2.2. Nivel de stock

Los niveles de stock resultantes de la práctica propuesta resultan sensiblemente menores, como se ve en la Figura 4-7.

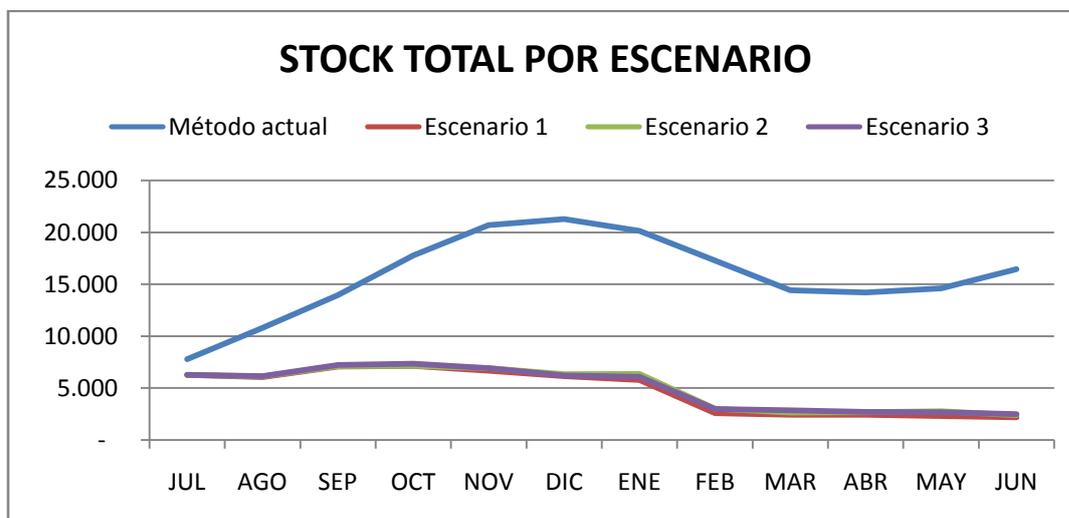


Figura 4-7. Stock total por escenario

Se puede apreciar que el stock posttemporada disminuye y no vuelve a elevarse. Esto es resultado directo de la no realización del plan de producción de temporada baja. El stock remanente en la situación optimizada se conforma de lo no vendido (por existir varios escenarios) y el stock de productos terminados, semielaborados y materias primas necesarios para vender y producir los próximos meses.

Por otro lado, al descomponer el stock total en productos terminados y material en proceso (materias primas y semielaborados), se encuentra que la participación de los productos terminados es superior a la existente en la situación actual durante toda la temporada. Esto se puede comprobar en la Figura 4-8.

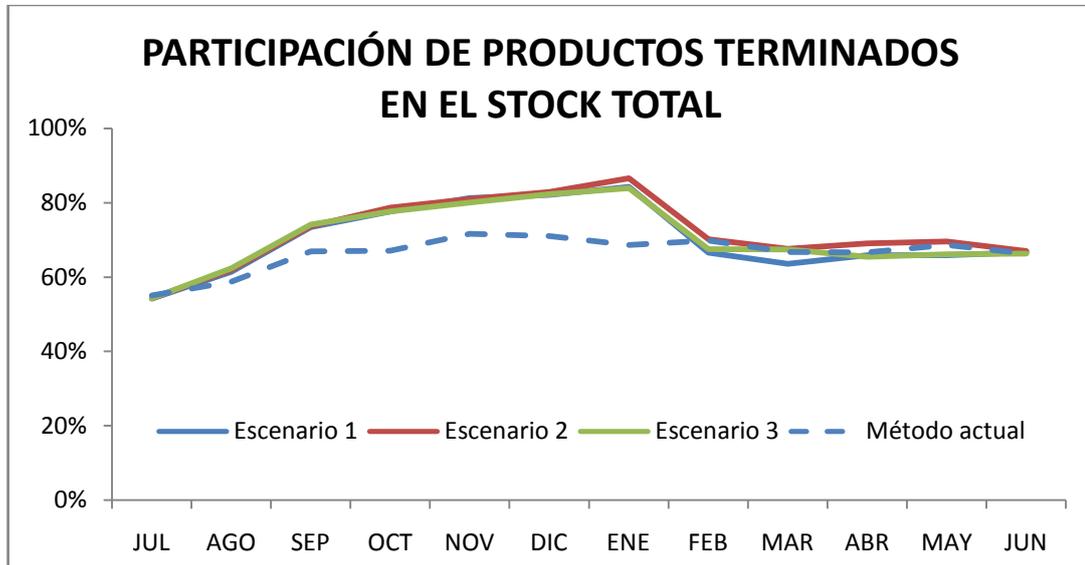


Figura 4-8. Participación de los productos terminados en el stock total

La razón de esto se puede encontrar en el hecho de que la forma de comprar actualmente muchas veces apunta a reponer el stock de materiales en proceso consumidos por los procesos productivos. De esta forma, un aumento en el stock de productos terminados se contrarresta con el ingreso de nuevas materias primas. En la situación optimizada, la materia prima tiene programado su ingreso y éste no depende de la producción que se realice en cada período.

También es importante observar la mejora en el perfil del stock de productos terminados. En primer lugar, observamos la evolución la categoría de productos de comportamiento no estacional (o comercial) en comparación a la obtenida mediante las prácticas actuales.

La Figura 4-9 demuestra que el método propuesto trata correctamente a los productos comerciales, evitando el pico de stock generado sólo por la forma de planificar la producción, sin tener en cuenta el comportamiento comercial de estos productos.

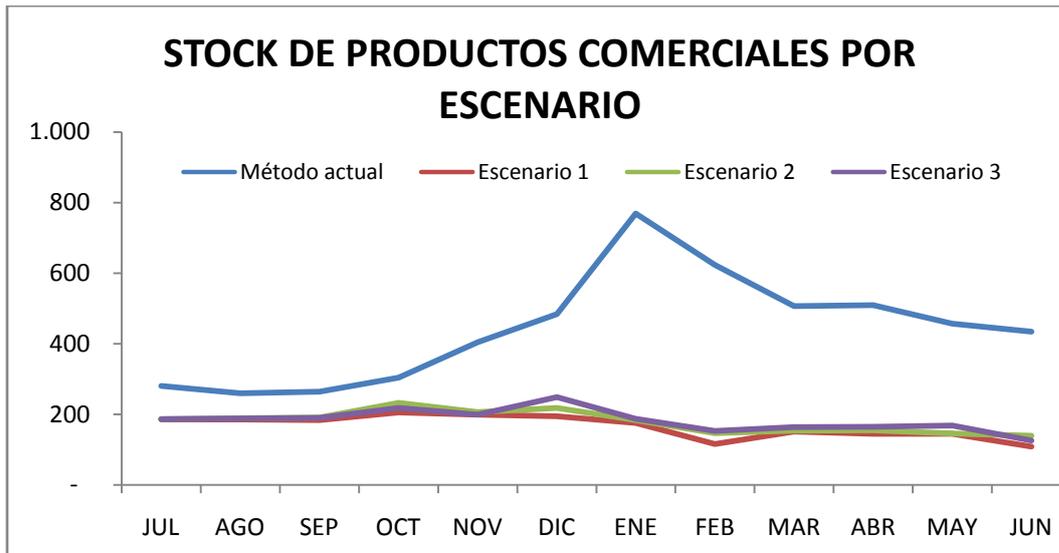


Figura 4-9. Stock de productos comerciales en cada escenario

De igual forma, la Figura 4-10 muestra que los productos estacionales se mantienen en stock para la temporada, quedando un remanente por los errores de estimación, pero sin necesidad de producir extras en el ingreso a la temporada baja.

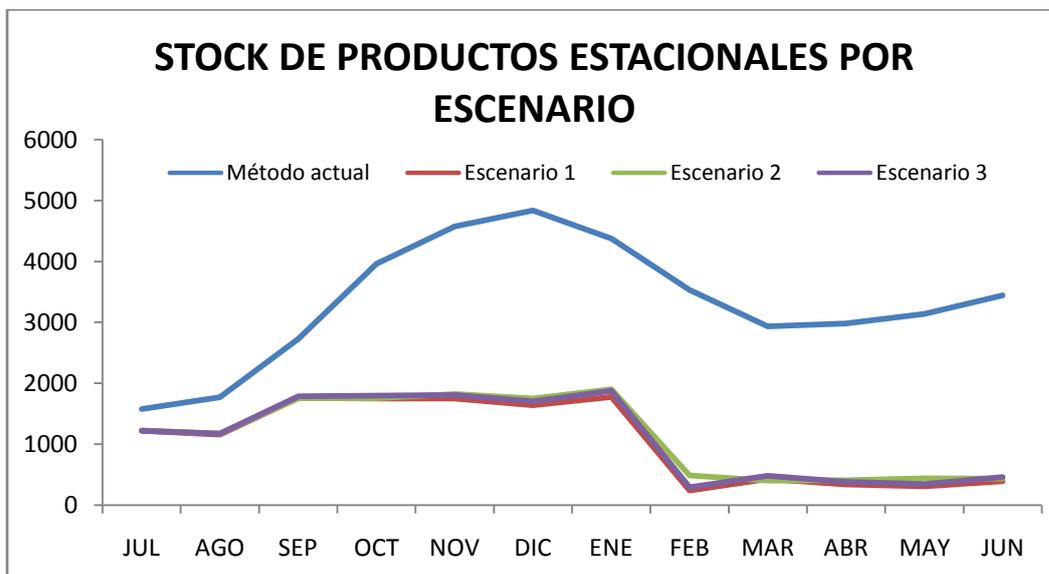


Figura 4-10. Stock de productos estacionales en cada escenario

4.3.2.3. Nivel de servicio

En la sección 2.5.2 se muestra el nivel de servicio obtenido al aplicar las prácticas actuales utilizando el Fill Rate como indicador del mismo. Dado que el mismo se obtiene a partir de las líneas de pedido, resulta imposible estimar su valor para el método propuesto. Por lo tanto, para evaluar el nivel de servicio se toma como indicador la porción de demanda satisfecha.

La Figura 4-11 muestra el nivel de servicio al cliente brindado mediante la aplicación de las prácticas actuales y las estimaciones del mismo para cada escenario planteado en el método propuesto.

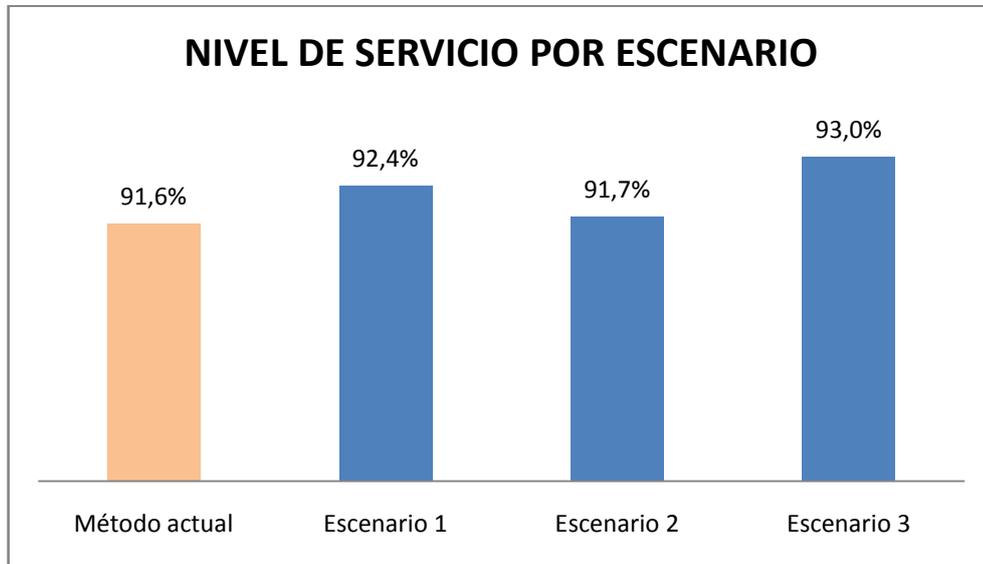


Figura 4-11. Nivel de servicio obtenido en cada escenario

Del gráfico se desprenden dos conclusiones: en primer lugar, el nivel de servicio no se ve afectado por la aplicación del nuevo método. Esto quiere decir que los ahorros esperados se obtienen sin sacrificar calidad de servicio al cliente. En segundo lugar, se puede apreciar que la variación entre escenarios no es significativa por lo que el nivel de servicio de la empresa será similar sin importar el escenario que termine ocurriendo.

No puede dejar de mencionarse que en la parametrización del modelo no se exigió un nivel de servicio mínimo a ningún producto, por lo que el nivel de servicio presentado es correspondiente al costo óptimo. Si la empresa desea elevar el nivel de servicio a sus clientes como parte de su estrategia de marketing, puede hacerlo mediante la modificación de los parámetros que se mencionan anteriormente. Esta restricción del modelo resultará en mayores costos totales, pero en este caso, la empresa conoce el costo extra en que incurre por brindar el servicio más alto.

4.3.3. Valor de la información perfecta

El valor de la información perfecta representa el extra costo que paga la empresa simplemente por no conocer exactamente la demanda futura. Para obtenerlo se deben realizar dos corridas de optimización. La primera corrida es la optimización normal que se realiza en cada ciclo del proceso de planificación propuesto. La segunda corrida consiste en una corrida con idénticos parámetros que la primera, excepto que se utiliza un único escenario. Si se

dispusiera de la información sobre cuál será exactamente la demanda futura, ésta se utilizaría en la segunda corrida. Dado que es imposible obtener esa información, se utiliza la mejor estimación disponible. Luego, el valor de la información perfecta (VIP) se obtiene mediante la ecuación (4-39).

$$VIP = CT_{CorridaNormal} - CT_{CorridaConUnEscenario} \quad (4-39)$$

El cambio de la demanda futura exacta por la demanda estimada genera que el cálculo del valor de la información perfecta también sea una estimación. Pero es importante entender la calidad de dicha estimación, por lo que se procede a dimensionar el error que se comete en la misma. Se realizan 10 corridas de escenario único con demandas distintas generadas aleatoriamente a partir del escenario base. Los costos totales obtenidos se muestran en la Figura 4-12.

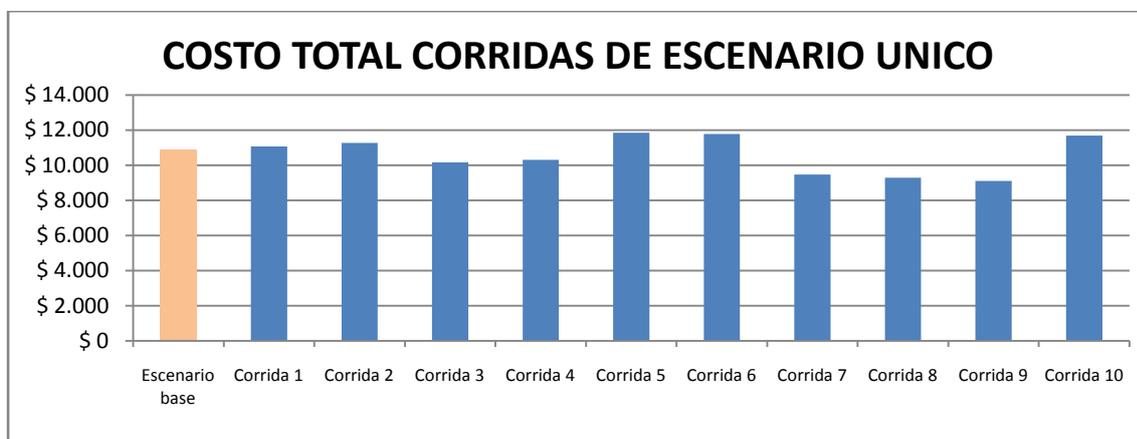


Figura 4-12. Costo total de las corridas de escenario único

Finalmente, se calcula el valor de la información perfecta para el caso en estudio. El costo total obtenido para el escenario base es de \$10.883.456 por lo que el valor de la información perfecta es de \$4.382.567.

4.4. Propuesta de implementación

Para implementar el sistema de planificación y gestión de stock propuesto en este trabajo se deben cumplimentar una serie de requisitos. En primer lugar, se debe adquirir el software de optimización que resuelva el modelo. Por otro lado, deben programarse las interfaces con el ERP de la empresa tanto para proveer de los datos al modelo como para recibir los resultados de la optimización. También existirá un período de capacitación al personal sobre el uso de la herramienta y las tareas que debe desarrollar. La Figura 4-13 muestra el diagrama de implementación propuesto con la estimación de tiempos.

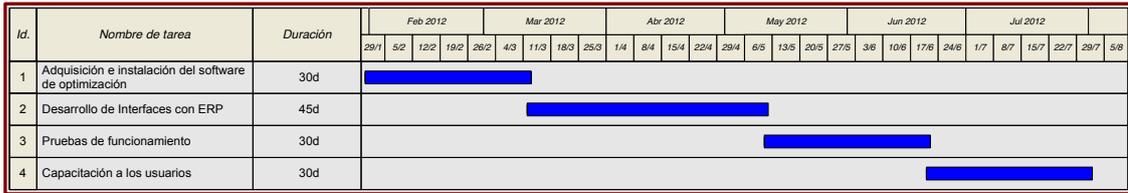


Figura 4-13. Cronograma de implementación

La primera etapa consiste en la adquisición e instalación del software. Se estima para esta tarea una duración de 30 días ya que se debe incluir la negociación con el proveedor y la instalación del programa en el servidor que lo alojará.

Con el software instalado, se procede al desarrollo de las interfaces con el ERP. Esta tarea puede ser realizada por personal de sistemas de la empresa o por un consultor externo dependiendo de la capacitación en el ERP propio de la empresa que posea el personal de IT. El tiempo estimado para esta tarea es de 45 días. Luego, el equipo implementador debe realizar las pruebas de funcionamiento del modelo y las interfaces. Dado que la cantidad de datos a revisar es muy grande, se estima un tiempo de pruebas de 30 días.

Una vez terminadas las pruebas, se procede al último paso de la implementación, que consiste en la capacitación a los usuarios. Se debe capacitar tanto a los usuarios que deben proveer de datos como a los que utilizarán los resultados del modelo.

Probablemente, el equipo implementador deba realizar un seguimiento del funcionamiento durante los primeros meses posteriores a la puesta a punto, manteniendo el sistema de planificación actual y el propuesto en paralelo para comparar resultados y verificar que la performance sea la esperada.

Los costos estimados de la implementación se detallan en la Tabla 4-6.

CONCEPTO	COSTO ESTIMADO
<i>Licencia de software de optimización</i>	<i>\$75.000</i>
<i>Desarrollo de interfaces con ERP</i>	<i>\$45.000</i>
<i>Capacitación a usuarios</i>	<i>\$30.000</i>
<i>Costo total de implementación</i>	<i>\$ 150.000</i>

Tabla 4-6. Costos de implementación

Resulta evidente que los costos de implementación se justifican dado el ahorro esperado por lo que un análisis financiero de la inversión pierde sentido frente a la magnitud de cada uno.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES

El trabajo demuestra la superioridad del sistema propuesto de planificación y gestión del stock por sobre un sistema con estrictos controles pero con una visión determinista. No es posible optimizar el costo del stock sin tener en cuenta la aleatoriedad de la demanda. Lograr esto mediante la utilización de métodos tradicionales es imposible ya que ninguno de los existentes contempla una demanda altamente volátil y estacional a la vez.

La superioridad del método mencionada se refiere a la obtención de importantes ahorros sin afectar el nivel de servicio al cliente, reduciendo en un 28% los costos anuales de stock y productivos. Este punto es crucial a la hora de evaluar la eficacia del método ya que el costo de un bajo nivel de servicio es difícil de medir. De esta forma, un sistema que obtenga un menor costo total sacrificando el nivel de servicio puede llevar a una decisión errónea, ya que el costo real de la baja del servicio no se conoce y puede ser aún mayor que los ahorros alcanzados.

Un aspecto a destacar del sistema propuesto es la fácil implementación. Los datos necesarios están disponibles en cualquier empresa en la que se justifique la aplicación de este proceso al mismo tiempo que los costos de implementación resultan realmente bajos en comparación a estudios de consultoría sobre la optimización del capital de trabajo. En el caso de la compañía en estudio, la inversión necesaria para la puesta en marcha del sistema no alcanza el 5% de los ahorros esperados para el primer año en funcionamiento.

Por otro lado, se pudo evidenciar la utilidad del modelo de optimización como herramienta para obtener el valor de la información perfecta, o dicho de otro modo, el costo de la volatilidad de la demanda. Esto permite a la compañía tomar acciones para reducir la volatilidad de su demanda conociendo el monto máximo a invertir, evitando estimaciones subjetivas.

CAPÍTULO 6 - FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir del presente trabajo se analizan las posibles líneas de investigación que continúen en línea con la optimización de la gestión del stock de una empresa cuya demanda es altamente estacional y volátil.

En primer lugar, resulta interesante analizar diferentes técnicas para la realización del pronóstico de ventas. Las prácticas actuales generan proyecciones de ventas que a primera vista parecen perfectibles. De encontrar una metodología de proyección estadística se podría automatizar el proceso permitiendo que el ciclo de planificación se corra con mayor frecuencia. Además, la proyección de las ventas con un menor margen de error generará ahorros importantes en el costo total del stock, acercando este valor al obtenido para el escenario único en el cálculo del valor de la información perfecta.

Por otro lado, el proceso propuesto acepta como válida la metodología de scheduling utilizada. Una optimización de este sistema puede proporcionar mejores tiempos de máquina por lo que aumentará la probabilidad de ejecutar el plan optimizado en tiempo y forma. Esto es importante ya que el modelo propuesto no considera la variabilidad de los ritmos de máquina y los tiempos de setup.

Un aspecto importante que no se incluye en el modelo son los descuentos por compras en cantidad de materias primas. Los modelos existentes en la actualidad para contemplar esta situación en una programación lineal consisten en la separación de una variable en tantos tramos como cortes de cantidad existan para la obtención del descuento. Esto multiplica la cantidad de variables del modelo, haciendo muy difícil o imposible su resolución con la tecnología disponible.

Por último, se destaca la posibilidad de ampliar el estudio para abarcar la planificación de largo plazo de la planta productiva de la empresa. El modelo presentado requiere de parámetros como el sistema de turnos, el personal permanente de planta y la polivalencia de la mano de obra. Cada uno de estos viene dado para la planificación de corto plazo, pero su optimización puede significar ahorros muy importantes para la empresa en el largo plazo, complementando perfectamente el sistema de gestión planteado en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Ballou Ronald H. Logística: Administración de la cadena de suministros. Pearson Educación, 2004. - 5ta Ed.. - ISBN 970-26-0540-7.

Brown A. and Tang C. The Impact of Alternative Performance Measures on Single-Period Inventory Policy. Los Angeles. Journal of Industrial and Management Optimization, 2006. - 3 : Vol. 2.

G. Cachon and Gürhan Kök A. Implementation of the Newsvendor Model with Clearance Pricing: How to (and How not to) Estimate a Salvage Value. Manufacturing & Service Operations Management, 2007. - 3 : Vol. 9. - 1523-4614.

Hua Zhongsheng, Li Sijie y Liang Liang Impact of demand uncertainty on supply chain cooperation of single-period products. International Journal of Production Economics, 2006. - 2 : Vol. 100. - 0925-5273.

Mileff P. and Nehéz K. An Extended Newsvendor Model for Customized Mass Production. Advanced Modeling and Optimization, 2006. - 2 : Vol. 8. - 1841-4311.

Qin Z. and Kar Samarjit Single-period Inventory Problem Under Uncertain Environment. <http://orsc.edu.cn/online/090310.pdf>, 2009.

Regattieri A. [et al.] Operating strategies for production planning of seasonal products [Conference]. - Valparaiso, Chile : International Foundation of Production Research, 2007.

Satyendra K., R. Venkata and Devanath T. Multiple products, multiple constraints, single period inventory problem: A Hierarchical solution procedure. Ahmedabad. Indian Institute of Management Ahmedabad, 2003. - Vols. WP2003-11-03.

Winston Wayne L. Investigación de Operaciones: Aplicaciones y algoritmos. Thomson, 2004. - 4ta Ed.. - ISBN 970-686-362-1.

Wong Chee Yew [et al.] Assesing Responsiveness of a Volatile and Seasonal Supply Chain. International Journal of Production Economics, 2005. - 2 : Vol. 104.

Xinhui Zhang, Prajapati Meenakshi and Peden Eugene A stochastic production planning model under uncertain seasonal demand and market growth. International Journal of Production Research, 2010. - Vol. 48. - 0020-7543.

Yenradee Pisal, Pinnoi Anulark and Charoenthacornying Amnaj Demand Forecasting and Production Planning for Highly Seasonal Demand Situations. Science Asia, 2001. - 4 : Vol. 27. - 1513-1874.

Zhang Ji-Hong [et al.] A Stochastic Inventory Placement Model for a Multi-echelon Seasonal Product Supply Chain with Multiple Retailers [Conference]. - Xinjiang, 2006.

ANEXOS

Programación del modelo en CPLEX

Modelo en OPL

```
//Parámetros del modelo
int PerFijos =...;
int CantPer =...;
int HsxDia =...;
int HsXTurno =...;
int MaxTurnosXDia =...;
int ModPermanente =...;
float MaxHsExtra =...;
float CostoHsExtra =...;
float CostoContratados =...;
float PolivalenciaMOD =...;
int ModContDesc =...;

//Datos de los períodos
range Meses = 1..CantPer;

tuple periodos{
    key int Id;
    int DiasHab;
    float Ausentismo;
    float HorasHab;
    float DiasHombre;
}

periodos DatosMeses[Meses]=...;

execute ActualizarDatosMeses{
    for (var i in Meses){
        DatosMeses[i].DiasHombre = DatosMeses[i].DiasHab * (1 -
DatosMeses[i].Ausentismo);
        DatosMeses[i].HorasHab = DatosMeses[i].DiasHab * HsxDia;
    }
}

range MesesFijos = 1..PerFijos;
range MesesMoviles = PerFijos+1..CantPer;

range MesesAnt = 0..4;

//Datos de los materiales
tuple material{
    key string Codigo;
    float ContribucionDirecta;
    float C_Stk;
    float C_Liq;
    float StkIni;
    int Tipo; //1 para productos terminados, 2 para
semielaborados y 3 para materias primas
    int LT; // Lead time en meses para materias primas y
productos terminados que se fabrican en terceros;
    float NSmin;
}

setof(material) Materiales=...;
```

```
{string} ProductosTerminados = { i.Codigo | i in Materiales :
i.Tipo==1};
{string} SEyMP = { i.Codigo | i in Materiales : i.Tipo>1};

//Escenarios
tuple escenario{
  key string Id;
  float Probabilidad;
}

setof(escenario) Escenarios=...;

//Datos de las máquinas
{int} Maquinas=...;

tuple datos_maquina{
  int Dotacion;
  int Cantidad;
  float Eficiencia;
}
datos_maquina DatosMaquinas[Maquinas]=...;

float HsMant[Maquinas][Meses]=...;

//Fichas técnicas
tuple ficha_tecnica{
  string Material; //material de la ficha
  string Codigo; //Codigo de consumo
}

setof(ficha_tecnica) FichasTecnicas=...;
float ConsumoStd[FichasTecnicas]=...;

execute ActualizarConsumos{ //pasar los consumos a base 1
  for (var i in FichasTecnicas)
    ConsumoStd[i] = ConsumoStd[i]/10000;
}

//Grupos de produccion y compras
{int} GruposCompras=...;
{int} GruposProduccion=...;

tuple grupo{ //Grupos
  key string Material;
  int IdGrupo;
}

setof(grupo) Material_GpoProd=...;
setof(grupo) Material_GpoComp=...;

tuple grupo_maquina{
  key int IdGrupo;
  int Maquina;
}

setof(grupo_maquina) GrupoMaquina=...;

tuple datos_grupo_maquina{
  float Setup;
  float HsMin;
  float HsMax;
}
```

```

datos_grupo_maquina DatosGrupoMaquina[GruposProduccion]=...;
float StdMaquina[Material_GpoProd]=...;
int CantMaquinaGpo[GruposProduccion]= ...;
//Actualizar los std de maquina con las eficiencias y pasar a
base 1 unidad
execute ActualizarRitmosConEficiencia{
  for (var i in Material_GpoProd)
    StdMaquina[i] = StdMaquina[i] / 10000 /
item(DatosMaquinas, ítem(Materiales,<i>).Maquina).Eficiencia;
}

tuple datos_grupo_compras{
  float CompraMin;
  float CompraMax;
}

datos_grupo_compras DatosGrupoCompras[GruposCompras]=...;

//Datos de Demanda
float DemandaBase[ProductosTerminados][Meses]=...;
float DesvVsBase[ProductosTerminados][Escenarios]=...;
float Demanda[s in Escenarios][t in Meses][i in
ProductosTerminados] = DemandaBase[i][t]*DesvVsBase[i][s];
float DemandaTotal[s in Escenarios][i in ProductosTerminados] =
sum(t in Meses) Demanda[s,t,i];

//Duracion de los pendientes
int DuracionPendientes[ProductosTerminados][Meses]=...;

//Compras previas al inicio, no recibidas
float ComprasAnt[Materiales][MesesAnt]=...;

//***** variables de decisión *****

//Variables que no dependen de los períodos fijos
dvar float+ Ventas[Escenarios][ProductosTerminados][Meses];
dvar float+ Stock[Escenarios][Materiales][Meses];
dvar float+
VentasPerdidas[Escenarios][ProductosTerminados][Meses];
dvar float+
Pendientes[Escenarios][ProductosTerminados][1..CantPer-1];

//Variables en períodos fijos
dvar float+ ProduccionFijos[Materiales][MesesFijos];
dvar float+ HorasMaquinaFijos[GruposProduccion][MesesFijos];
dvar float+ ComprasGrupoFijos[GruposCompras][MesesFijos];
dvar boolean ProduceFijos[GruposProduccion][MesesFijos];
dvar boolean CompraFijos[GruposCompras][MesesFijos];
dvar float+ HsExtraFijos[Maquinas][MesesFijos];
dvar float+ TurnosFijos[Maquinas][MesesFijos];
dvar float+ ContratadosFijos[MesesFijos];
dvar float+ ConsumoFijos[SEyMP][MesesFijos];

//Variables en períodos móviles
dvar float+
ProduccionMoviles[Escenarios][Materiales][MesesMoviles];
dvar float+
HorasMaquinaMoviles[Escenarios][GruposProduccion][MesesMoviles];
dvar float+
ComprasGrupoMoviles[Escenarios][GruposCompras][MesesMoviles];

```

```
dvar boolean
ProduceMoviles[Escenarios][GruposProduccion][MesesMoviles];
dvar boolean
CompraMoviles[Escenarios][GruposCompras][MesesMoviles];
dvar float+ HsExtraMoviles[Escenarios][Maquinas][MesesMoviles];
dvar float+ TurnosMoviles[Escenarios][Maquinas][MesesMoviles];
dvar float+ ContratadosMoviles[Escenarios][MesesMoviles];
dvar float+ ConsumoMoviles[Escenarios][SEyMP][MesesMoviles];

//Expresiones auxiliares
dexpr float HsExtraTotalesFijos[t in MesesFijos]= sum(k in
Maquinas) HsExtraFijos[k,t];
dexpr float HsExtraTotalesMoviles[s in Escenarios][t in
MesesMoviles]= sum(k in Maquinas) HsExtraMoviles[s,k,t];
dexpr float HsHombreExtraFijos[t in MesesFijos] = sum(k in
Maquinas) HsExtraFijos[k,t] * DatosMaquinas[k].Dotacion;
dexpr float HsHombreExtraMoviles[s in Escenarios][t in
MesesMoviles]= sum(k in Maquinas) HsExtraMoviles[s,k,t] *
DatosMaquinas[k].Dotacion;
dexpr float CostoStock[s in Escenarios] = sum(i in Materiales,
t in Meses) (Stock[s,i,t] * i.C_Stk);
dexpr float CostoVtasPerd[s in Escenarios] = sum(i in
Materiales : i.Tipo==1, t in Meses)
(VentasPerdidas[s,i.Codigo,t] * i.ContribucionDirecta);
dexpr float CostoLiquidacion[s in Escenarios] = sum(i in
Materiales) Stock[s,i,CantPer] * i.C_Liq;
dexpr float CostoTotalHsExtra[s in Escenarios] = CostoHsExtra *
sum(t in MesesMoviles) HsHombreExtraMoviles[s,t];
dexpr float CostoTotalContratados[s in Escenarios] =
CostoContratados * sum(t in MesesMoviles)
ContratadosMoviles[s,t];
dexpr float CostoTotalHsExtraFijos = CostoHsExtra * sum(t in
MesesFijos) HsHombreExtraFijos[t];
dexpr float CostoTotalContratadosFijos = CostoContratados *
sum(t in MesesFijos) ContratadosFijos[t];

//Resultados
tuple plan{
    string Escenario;
    string Material;
    int Mes;
    float Cantidad;
}

tuple salida_ventas{
    string Escenarios;
    string Material;
    int Mes;
    float Ventas;
    float Pendientes;
    float VentaPerd;
    float Demanda;
}

tuple salida_binarias{
    int Grupo;
    string Escenario;
    int Mes;
    int Binaria;
}

tuple salida_contratados{
    string Escenario;
```

```

    int Mes;
    float Cantidad;
}

tuple salida_maquinas{
    string Escenario;
    int Maquina;
    int Mes;
    float Turnos;
    float HsExtra;
}

tuple salida_HsMaq{
    string Escenario;
    int Grupo;
    int Mes;
    float Horas;
}

//Funcion objetivo: minimo costo total
minimize
    sum(s in Escenarios) (s.Probabilidad * CostoStock[s])+
    sum(s in Escenarios) (s.Probabilidad * CostoVtasPerd[s]) +
    sum(s in Escenarios) (s.Probabilidad *
CostoLiquidacion[s]) +
    sum(s in Escenarios) (s.Probabilidad *
CostoTotalHsExtra[s]) +
    sum(s in Escenarios) (s.Probabilidad *
CostoTotalContratados[s]) +
    CostoTotalHsExtraFijos + CostoTotalContratadosFijos;

//Restricciones
subject to {
    //Calculo del stock, restricciones de consumo de stock y
pedidos pendientes
    forall(s in Escenarios, i in Materiales, t in Meses){
        if(i.Tipo==1){ //Productos terminados
            if(t<=PerFijos){
                if(t==1){ //el primer mes se toma el stock inicial
                    if(t-i.LT<=0) Stock[s,i,t] == i.StkIni +
ComprasAnt[i,i.LT-t] - Ventas[s,i.Codigo,t];
                    else Stock[s,i,t] == i.StkIni + ProduccionFijos[i,t -
i.LT] - Ventas[s,i.Codigo,t];
                    Ventas[s,i.Codigo,t] <= i.StkIni;
                    Demanda[s,t,i.Codigo] == Ventas[s,i.Codigo,t] +
VentasPerdidas[s,i.Codigo,t] + Pendientes[s,i.Codigo,t];
                }
            }
            else{
                if(t-i.LT<=0) Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ComprasAnt[i,i.LT-t] - Ventas[s,i.Codigo,t];
                else Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ProduccionFijos[i,t - i.LT] - Ventas[s,i.Codigo,t];
                Ventas[s,i.Codigo,t] <= Stock[s,i,t-1];
                Demanda[s,t,i.Codigo] + Pendientes[s,i.Codigo,t-1] ==
Ventas[s,i.Codigo,t] + VentasPerdidas[s,i.Codigo,t] +
Pendientes[s,i.Codigo,t];
            }
        }
        else{ //períodos móviles
            if(t-i.LT<=0) Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ComprasAnt[i,i.LT-t] - Ventas[s,i.Codigo,t];
            else{
                if(t-i.LT<=PerFijos) Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ProduccionFijos[i,t-i.LT] - Ventas[s,i.Codigo,t];
            }
        }
    }
}

```

```

        else Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ProduccionMoviles[s,i,t-i.LT] - Ventas[s,i.Codigo,t];
    }
    Ventas[s,i.Codigo,t] <= Stock[s,i,t-1];
    if(t==CantPer) //el ultimo período los pendientes se
pierden
        Demanda[s,t,i.Codigo] + Pendientes[s,i.Codigo,t-1] ==
Ventas[s,i.Codigo,t] + VentasPerdidas[s,i.Codigo,t];
    else
        Demanda[s,t,i.Codigo] + Pendientes[s,i.Codigo,t-1] ==
Ventas[s,i.Codigo,t] + VentasPerdidas[s,i.Codigo,t] +
Pendientes[s,i.Codigo,t];
    }
}
else{ //semielaborados y materias primas
    if(t<=PerFijos){
        if(t==1){ //el primer mes se toma el stock inicial
            if(t-i.LT<=0) Stock[s,i,t] == i.StkIni +
ComprasAnt[i,i.LT-t] - ConsumoFijos[i.Codigo,t];
            else Stock[s,i,t] == i.StkIni + ProduccionFijos[i,t-
i.LT] - ConsumoFijos[i.Codigo,t];
        }
        else{
            if(t-i.LT<=0) Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ComprasAnt[i,i.LT-t] - ConsumoFijos[i.Codigo,t];
            else Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ProduccionFijos[i,t-i.LT] - ConsumoFijos[i.Codigo,t];
        }
    }
    else{ //períodos móviles
        if(t-i.LT<=0) Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ComprasAnt[i,i.LT-t] - ConsumoMoviles[s,i.Codigo,t];
        else{
            if(t-i.LT<=PerFijos) Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ProduccionFijos[i,t-i.LT] - ConsumoMoviles[s,i.Codigo,t];
            else Stock[s,i,t] == Stock[s,i,t-1] +
ProduccionMoviles[s,i,t-i.LT] - ConsumoMoviles[s,i.Codigo,t];
        }
    }
}
}
//Tiempo maximo hasta caida de pendientes
forall(s in Escenarios, i in ProductosTerminados, t in
1..CantPer-1)
    if(DuracionPendientes[i,t] !=0) Pendientes[s,i,t] <= sum(j
in t+1..t+DuracionPendientes[i,t]) ((j<=CantPer)?
Ventas[s,i,j]:0);
    else Pendientes[s,i,t] == 0;

//Nivel de servicio
forall(s in Escenarios, i in ProductosTerminados)
    DemandaTotal[s,i] * i.NSmin <= sum(t in Meses)
Ventas[s,i,t];

//Calculo de los consumos
forall(z in SEyMP, t in MesesFijos)
    ConsumoFijos[z,t] == sum(<i,z> in FichasTecnicas)
ProduccionFijos[item(Materiales,<i>),t] * ConsumoStd[<i,z>];
forall(s in Escenarios, z in SEyMP, t in MesesMoviles)
    ConsumoMoviles[s,z,t] == sum(<i,z> in FichasTecnicas)
ProduccionMoviles[s,item(Materiales,<i>),t] * ConsumoStd[<i,z>];

//Horas productivas de cada grupo de produccion. Las horas

```

```

son cero o mayores que el minimo de cada grupo
forall(g in GruposProduccion, t in MesesFijos){
    HorasMaquinaFijos[g,t] == sum(<i,g> in Material_GpoProd)
    ProduccionFijos[item(Materiales,<i>),t] * StdMaquina[<i,g>];
    HorasMaquinaFijos[g,t] <= DatosMeses[t].HorasHab *
    ProduceFijos[g,t] * CantMaquinaGpo[g];
    HorasMaquinaFijos[g,t] >= DatosGrupoMaquina[g].HsMin *
    ProduceFijos[g,t];
}
forall(g in GruposProduccion, t in MesesMoviles, s in
Escenarios){
    HorasMaquinaMoviles[s,g,t] == sum(<i,g> in
Material_GpoProd) ProduccionMoviles[s,item(Materiales,<i>),t] *
StdMaquina[<i,g>];
    HorasMaquinaMoviles[s,g,t] <= DatosMeses[t].HorasHab *
    ProduceMoviles[s,g,t] * CantMaquinaGpo[g];
    HorasMaquinaMoviles[s,g,t] >= DatosGrupoMaquina[g].HsMin *
    ProduceMoviles[s,g,t];
}

//Turnos y horas extra necesarias para la producción no son
mayores a las horas disponibles en el periodo
forall(t in MesesFijos, k in Maquinas){
    (HsXTurno * TurnosFijos[k,t] + HsExtraFijos[k,t] -
HsMant[k,t]) >= sum(<g,k> in GrupoMaquina)
(HorasMaquinaFijos[g,t] + ProduceFijos[g,t] *
DatosGrupoMaquina[g].Setup);
    HsXTurno * TurnosFijos[k,t] + HsExtraFijos[k,t] <=
DatosMeses[t].HorasHab * DatosMaquinas[k].Cantidad;
    TurnosFijos[k,t] <= DatosMeses[t].DiasHab * MaxTurnosXDia
* DatosMaquinas[k].Cantidad;
}
forall(s in Escenarios, t in MesesMoviles, k in Maquinas){
    (HsXTurno * TurnosMoviles[s,k,t] + HsExtraMoviles[s,k,t] -
HsMant[k,t]) >= sum(<g,k> in GrupoMaquina)
(HorasMaquinaMoviles[s,g,t] + ProduceMoviles[s,g,t] *
DatosGrupoMaquina[g].Setup);
    HsXTurno * TurnosMoviles[s,k,t] + HsExtraMoviles[s,k,t] <=
DatosMeses[t].HorasHab * DatosMaquinas[k].Cantidad;
    TurnosMoviles[s,k,t] <= DatosMeses[t].DiasHab *
MaxTurnosXDia * DatosMaquinas[k].Cantidad;
}
forall(t in MesesFijos){
    (ModPermanente + ContratadosFijos[t])*
DatosMeses[t].DiasHombre * PolivalenciaMOD >= sum(k in Maquinas)
TurnosFijos[k,t] * DatosMaquinas[k].Dotacion ;
    HsExtraTotalesFijos[t] <= MaxHsExtra * HsXTurno * sum(k in
Maquinas) TurnosFijos[k,t];
}
forall(s in Escenarios, t in MesesMoviles){
    (ModPermanente + ContratadosMoviles[s,t])*
DatosMeses[t].DiasHombre * PolivalenciaMOD >= sum(k in Maquinas)
TurnosMoviles[s,k,t] * DatosMaquinas[k].Dotacion;
    HsExtraTotalesMoviles[s,t] <= MaxHsExtra * HsXTurno * sum(k
in Maquinas) TurnosMoviles[s,k,t];
}
//A partir de un periodo, los contratados se mantienen o
descienden
forall(s in Escenarios, t in ModContDesc..CantPer){
    if(t!=1){
        if(t<=PerFijos) ContratadosFijos[t] <=
ContratadosFijos[t-1];
        else{

```

```

        if(t==PerFijos + 1) ContratadosMoviles[s,t] <=
ContratadosFijos[t-1];
        else ContratadosMoviles[s,t] <= ContratadosMoviles[s,t-
1];
    }
}
}

//Las compras son cero o mayores que el minimo para cada
grupo
forall(g in GruposCompras, t in MesesFijos){
    ComprasGrupoFijos[g,t] == sum(<i,g> in Material_GpoComp)
ProduccionFijos[item(Materiales,<i>),t];
    ComprasGrupoFijos[g,t] <= DatosGrupoCompras[g].CompraMax *
CompraFijos[g,t];
    ComprasGrupoFijos[g,t] >= DatosGrupoCompras[g].CompraMin *
CompraFijos[g,t];
}

forall(g in GruposCompras, t in MesesMoviles, s in
Escenarios){
    ComprasGrupoMoviles[s,g,t] == sum(<i,g> in
Material_GpoComp) ProduccionMoviles[s,item(Materiales,<i>),t];
    ComprasGrupoMoviles[s,g,t] <=
DatosGrupoCompras[g].CompraMax * CompraMoviles[s,g,t];
    ComprasGrupoMoviles[s,g,t] >=
DatosGrupoCompras[g].CompraMin * CompraMoviles[s,g,t];
}

}

//Salidas de resultados
{plan} PlanDeProduccion = {<s.Id,i.Codigo,t,((t<=PerFijos)?
ProduccionFijos[i,t] : ProduccionMoviles[s,i,t])> | s in
Escenarios, i in Materiales, t in Meses };
{salida_ventas} OutVentas =
{<s.Id,i.Codigo,t,Ventas[s,i.Codigo,t],(t!=CantPer) ?
Pendientes[s,i.Codigo,t]:0,VentasPerdidas[s,i.Codigo,t],
Demanda[s,t,i.Codigo]> | s in Escenarios, i in Materiales :
i.Tipo==1, t in Meses };
{salida_binarias} OutCompra = {<g, s.Id, t,((t<=PerFijos)?
CompraFijos[g,t] : CompraMoviles[s,g,t])> | s in Escenarios, g
in GruposCompras, t in Meses};
{salida_binarias} OutProduce = {<g, s.Id, t,((t<=PerFijos)?
ProduceFijos[g,t] : ProduceMoviles[s,g,t])> | s in Escenarios, g
in GruposProduccion, t in Meses};
{plan} OutConsumos = {<s.Id,i,t,((t<=PerFijos)?
ConsumoFijos[i,t] : ConsumoMoviles[s,i,t])> | s in Escenarios, i
in SEYMP, t in Meses};
{plan} OutStock = {<s.Id,i.Codigo,t,Stock[s,i,t]> | s in
Escenarios, i in Materiales, t in Meses };
{salida_contratados} OutContratados = {<s.Id, t,((t<=PerFijos)?
ContratadosFijos[t] : ContratadosMoviles[s,t])> | s in
Escenarios, t in Meses};
{salida_maquinas} OutUsoMaquinas = {<s.Id, k, t,((t<=PerFijos)?
TurnosFijos[k,t] : TurnosMoviles[s,k,t]),((t<=PerFijos)?
HsExtraFijos[k,t] : HsExtraMoviles[s,k,t])> | s in Escenarios, k
in Maquinas, t in Meses };
{salida_HsMaq} OutHsMaquina = {<s.Id, g, t, ((t<=PerFijos)?
HorasMaquinaFijos[g,t] : HorasMaquinaMoviles[s,g,t])> | s in
Escenarios, t in Meses, g in GruposProduccion };

```

Modelo de datos

```
//Parámetros del modelo
PerFijos = 3;
CantPer =15;
HsxDía = 24;
HsXTurno = 8;
MaxTurnosXDía = 2;
ModPermanente = 107;
MaxHSExtra = 0.5;
CostoHSExtra = 24;
CostoContratados = 4800;
PolivalenciaMOD = 0.3;
ModContDesc = 6;
NivelDeServicioMin =0;

SheetConnection Datos("Planilla Datos.xlsx");

DatosMeses from SheetRead(Datos,"DATOS_PERIODOS");
Materiales from SheetRead(Datos,"DATOS_PRODUCTOS");
Escenarios from SheetRead(Datos,"DATOS_ESCENARIOS");
Maquinas from SheetRead(Datos,"NOMBRE_MAQUINAS");
DatosMaquinas from SheetRead(Datos,"DATOS_MAQUINAS");
DuracionPendientes from SheetRead(Datos,"DURACION_PENDIENTES");

//Datos de los grupos de produccion y compras
GruposCompras from SheetRead(Datos,"GRUPOS_COMPRAS");
//Lista de grupos de produccion
GruposProduccion from SheetRead(Datos,"GRUPOS_PRODUCCION");
//Lista de grupos de compras
Material_GpoProd from SheetRead(Datos,"GRUPO_PROD_MAT");
//pares de grupo y material
Material_GpoComp from SheetRead(Datos,"GRUPO_COMP_MAT");
//pares de grupo y material
GrupoMaquina from SheetRead(Datos,"GRUPO_PROD_MAQUINA");
//Pares grupo de produccion - maquina
DatosGrupoMaquina from SheetRead(Datos,"DATOS_GRUPO_PROD");
//Datos de los grupos de produccion: setup, horas minimas y
horas maximas de produccion mensual
DatosGrupoCompras from SheetRead(Datos,"DATOS_GRUPO_COMP");
//Datos de los grupos de compras: Compra minima y compra máxima
mensual
StdMaquina from SheetRead(Datos,"STD_MAQUINA");
//Estandar de máquina de cada producto

FichasTecnicas from SheetRead(Datos,"FICHAS_TECNICAS");
ConsumoStd from SheetRead(Datos,"CONSUMO_STD");
HsMant from SheetRead(Datos,"HS_MANT");
ComprasAnt from SheetRead(Datos,"COMPRAS_ANT");
DemandaBase from SheetRead(Datos,"DEMANDA_BASE");
DesvVsBase from SheetRead(Datos,"DESVIO_VS_ESCENARIO_BASE");
CantMaquinaGpo from SheetRead(Datos,"CANT_MAQUINA_GRUPO_PROD");

DBConnection db("access","Base de Datos Resultados.accdb");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [PLAN DE PRODUCCION]");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [OUT VENTAS]");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [BIN COMPRAS]");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [BIN PRODUCCION]");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [CONSUMOS]");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [CONTRATADOS]");
```

```
DBExecute(db,"DELETE * FROM [STOCK]");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [USO MAQUINAS]");
DBExecute(db,"DELETE * FROM [OUT HS MAQ]");

PlanDeProduccion to DBUpdate(db, "INSERT INTO [PLAN DE
PRODUCCION](Escenario,Material,Mes,Cantidad) VALUES(?,?,?,?)");
OutVentas to DBUpdate(db, "INSERT INTO [OUT
VENTAS](Escenario,Material,Mes,Ventas,Pendientes,VentasPerdidas,
Demanda) VALUES(?,?,?,?,?,?,?)");
OutCompra to DBUpdate(db, "INSERT INTO [BIN COMPRAS](Grupo,
Escenario, Mes, Compra) VALUES(?,?,?,?)");
OutProduce to DBUpdate(db, "INSERT INTO [BIN PRODUCCION](Grupo,
Escenario, Mes, Produce) VALUES(?,?,?,?)");
OutConsumos to DBUpdate(db, "INSERT INTO CONSUMOS (Escenario,
Material, Mes, Cantidad) VALUES(?,?,?,?)");
OutStock to DBUpdate(db, "INSERT INTO STOCK (Escenario,
Material, Mes, Cantidad) VALUES(?,?,?,?)");
OutContratados to DBUpdate(db, "INSERT INTO CONTRATADOS
(Escenario, Mes, Contratados) VALUES(?,?,?)");
OutHSMaquina to DBUpdate(db, "INSERT INTO [OUT HS MAQ]
(Escenario, Grupo, Mes, Horas) VALUES (?,?,?,?)");
OutUsoMaquinas to DBUpdate(db, "INSERT INTO [USO MAQUINAS]
(Escenario, Maquina, Mes, Turnos, HSExtra) VALUES(?,?,?,?,?)");
```