

**VALORACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD EN LOS PLANES DE PRODUCCIÓN A
TRAVES DE INDICADORES FINANCIEROS**

YEFERSON ENRIQUE GÓNGORA CALLE



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
DICIEMBRE 2013

**VALORACION DE LA FLEXIBILIDAD EN LOS PLANES DE PRODUCCIÓN
MEDIANTE INDICADORES FINANCIEROS**

YEFERSON ENRIQUE GÓNGORA CALLE

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

DIRECTOR
JUAN PABLO OREJUELA
M.SC. INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
DICIEMBRE 2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santiago de Cali, 6 de Diciembre 2013

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo doy gracias a Dios por darme el respaldo de mis padres, tía y demás personas que forjaron mi camino. Agradezco a mis padres por sus continuos esfuerzos, por educarme y formar la persona que soy hoy en día, por su Confianza en mis decisiones; apoyo y motivación pues siempre encontré en ellos la guía que necesitaba para salir adelante y cumplir con mis sueños y metas trazadas, siendo mi principal motivación. agradezco a mis profesores por su vocación y sus enseñanzas, Agradecimientos especiales al profesor Juan Pablo Orejuela por guiarme durante la realización de este.

Yeferson Enrique Góngora Calle

Contenido

CAPÍTULO 1	8
1. Introducción	8
1.1 Planteamiento del problema	10
1.2 Objetivos.....	12
1.3 Justificación	13
1.4 Documentos revisados	14
1.5 Diseño Metodológico.....	17
CAPÍTULO 2	18
2. Planeación y Control de la producción	18
2.1 Planeación Jerárquica	18
2.2 Planeación Agregada	19
2.3 Decisiones que modifican la Demanda.....	23
2.4 Planificación de Estrategia	24
CAPITULO 3	25
3. La Flexibilidad en la Manufactura	25
3.1 ESTRATEGIAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN	25
3.2 La Flexibilidad como Estrategia	28
3.3 Componentes fundamentales	30
3.4 Rango.....	32
3.5 Movilidad	33
3.6 Uniformidad.....	33
3.7 Dimensiones o tipos de flexibilidad	33
3.8 La Flexibilidad como realidad	37
3.9 Métodos Analíticos	41
CAPITULO 4	48
4. Propuesta Metodológica	48
4.1 Elementos productivos	50
4.2 Elementos financieros	50
4.3 Formulación del modelo de planeación agregada con consideraciones financieras.	52
4.4 Descripción del modelo	55
4.5 CASO ESTUDIO	62
5. Conclusiones	75
6. Referencia Bibliográfica	77

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Planeación Jerárquica	19
Ilustración 2. Marco conceptual de la flexibilidad	30
Ilustración 3. Flexibilidad operacional, táctica y estratégica en función del tiempo	31
Ilustración 4. Visión continua y discreta del rango	32
Ilustración 5. Jerarquía de las dimensiones de la flexibilidad	34
Ilustración 6. Focalización de los aspectos de los sistemas de manufactura	39
Ilustración 7. Sistemas de manufactura: Volumen Vs. Variedad.....	40
Ilustración 8 Comparación de las Variables del Caso Estudio de la familia	66
Ilustración 9 Comparación de las Variables del Caso Estudio de la familia.	66
Ilustración 10 Horas regulares VS horas regulares nuevo producto.....	67
Ilustración 11 Variación del inventario del producto A.	68
Ilustración 12 Variación de la demanda.....	68
Ilustración 13 Variación en el tiempo ocioso.....	69
Ilustración 14 Variación en el tiempo ocioso.....	69
Ilustración 15 Variación de nivel máximo de empleados.	70
Ilustración 16 Variación de la demanda VS la Función Objetivo.	70
Ilustración 17 Variación de la demanda VS Nivel de empleados.	71
Ilustración 18 Variación de la demanda VS Horas extras del nuevo producto A.....	71
Ilustración 19 Variaciones de las horas regulares.	72
Ilustración 20 Variaciones de las horas regulares del nuevo producto A.....	72
Ilustración 21 Variación en la subcontratación.	73
Ilustración 22 Nivel de empleados.....	73
Ilustración 23 Variación de la Función Objetivo	74
Ilustración 24 Variación de las Horas regulares del nuevo producto A	74
Ilustración 25 Variación horas regulares familia.....	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de Evaluación de Plan Agregado	20
Tabla 2. Parámetros Generales	62
Tabla 3 Costos.....	63
Tabla 4. Parámetros Restrictivos	64
Tabla 5. Demanda.....	64
Tabla 6. Demanda producto	65

RESUMEN

El propósito de este trabajo es la construcción de un modelo de Planificación Agregada que incorpore elementos propios de los ambientes de fabricación, así como también consideraciones financieras, de tal forma que en el proceso de toma de decisiones de producción a nivel táctico se integren las decisiones relativas a la gestión financiera.

El modelo propuesto considera elementos productivos como las unidades a producir, unidades a subcontratar, órdenes atrasadas, ventas perdidas, inventario, nivel de fuerza laboral, decisiones sobre contratación y despido de personal. Entre los elementos financieros considerados en el modelo se encuentran el valor presente neto, los costos asociados entre otros. Todos estos elementos están asociados a un flujo de caja el cual se calcula en cada periodo del horizonte de planificación. La función objetivo del modelo tiene como finalidad maximizar el valor presente neto del flujo de caja del último periodo del horizonte temporal.

En el trabajo también se desarrolla un caso estudio con el fin de validar el modelo propuesto, además se realiza un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto que tienen en la función objetivo las variaciones en los parámetros más críticos.

CAPÍTULO 1

1. Introducción

Cada día que pasa la sociedad viene presentando cambios inesperados, los cuales generan modificaciones en todos los sistemas. Estas alteraciones tienen efecto directo sobre los mercados e indirecto sobre las empresas, las cuales se ven en la obligación de estar atentas a cada alteración para no quedar fuera del mercado y seguir en competencia. En busca de mitigar estos cambios y de generar un óptimo desarrollo las empresas han creado centros flexibles de producción (CENTROS DE TRABAJO) que consisten en agrupar maquinaria similar y operaciones iguales, capaces de asumir y afrontar estos cambios¹.

Para un desarrollo esperado en los centros de trabajo se produce bajo planes de producción los cuales son un proceso continuo cuyo objetivo es determinar anticipadamente decisiones que permitan usar de la mejor manera los recursos productivos, para lograr esto se lleva de forma jerárquica por lo tanto, se consideran diferentes niveles de planificación (estratégico, táctico y administrativo) relacionados entre sí, donde las decisiones tomadas en cierto nivel, se convierten en un marco de referencia para los siguientes niveles de detalle en los distintos plazos de tiempo².

El estratégico, en donde se comprometen los recursos de la organización a largo plazo. En este nivel se toman decisiones relacionadas con el tamaño y la localización de la instalación, la definición de la red de suministro, la selección de nuevas tecnologías, proveedores y procesos productivos, entre otras³.

En el siguiente nivel aparecen las decisiones tácticas con un horizonte de tiempo de medio plazo, por lo general meses, en las que se determina con unidades y recursos agregados, las principales variables productivas.

¹ Peter fredriksson*, lars-erik gadde flexibility and rigidity in customization and build-to-order production,

² Dante, orlando; corominas, albert; lusa; amaia. la planificación agregada como instrumento integrador de las áreas funcionales de la empresa: estado del arte y perspectivas, 2007. p. 4.

³ Pomínguez. josé antonio; gonzález, santiago; jimenez antonio. dirección de operaciones – aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios, 1995. p. 10.

Por último, están las decisiones operativas las cuales están asociadas a horizontes de tiempo de corto y muy corto plazo, en las que se toman decisiones sobre la cantidad a fabricar de cada producto, la asignación de la orden de producción a cada centro de trabajo, la determinación de la secuencia de las operaciones, la programación de las fechas de inicio y finalización de las operaciones, entre otras⁴.

En la parte táctica es la encargada de nivelar la oferta y la demanda en un periodo de tiempo, utilizando de manera integral y razonable todos los recursos.

En esta parte se presenta inconvenientes debido que las soluciones que arroja, no reflejan su impacto en el flujo de caja, ni en el requerimiento de Capital de Trabajo, además no involucran consideraciones o restricciones financieras, que permitan a través del Plan Agregado tomar decisiones que incluyan tanto variables de producción como criterios financieros⁵.

En el ámbito de seguir en el proceso de mejora se busca valorar la flexibilidad de los planes de producción mediante indicadores financieros para lograr esto se pretende desarrollar un modelo en el cual se vinculen medidas financieras para generar flexibilidad en los planes de producción.

⁴ Ibid., P. 11.

⁵ LUZ KARIME CASTAÑEDA valencia Claudia Ximena contreras desarrollo de un modelo de planeación agregada con consideraciones financieras.

1.1 Planteamiento del problema

Los sistemas de producción en su forma más elemental siempre han sido definidos como una serie de actividades que toman insumos y los transforman en productos con un valor inherente. Pero una definición más elaborada mostraría al sistema de producción o de manufactura como un conjunto de procesos integrados, orientados al logro de la calidad, basados en la optimización del uso de recursos, y en los cuales las decisiones sobre productos, procesos, organización e información interactúan y afectan el desempeño global de la empresa⁶.

Un elemento importante en los sistemas de producción es la Planificación Agregada (PA) que considera diferentes elementos en su objetivo de ajustar la producción a un nivel de demanda pronosticado, sin embargo estos elementos son puntuales del área productiva, lo que hace que algunos expertos en la materia consideren que la PA vista de esta manera "...limita las ventajas que la empresa puede obtener de este nivel de planificación, ya que sólo consideran las decisiones relativas a la producción y, de forma muy simple, algunas de las correspondientes a la gestión del personal"⁷.

En la solución que nos brinda el PA, se pueden evidenciar que no refleja su impacto en el flujo de caja, ni el requerimiento de capital de trabajo, además no involucra consideraciones financieras, Estas decisiones no son funcionales ya que no se materializan en los flujos de caja, no se tienen ningún mecanismo que me diga que el plan se va a cumplir dada el riesgo sujeto de la flexibilidad. Evidentemente ninguna de esta decisiones tienen sentido si no las coloco en un marco económico, Si se integran a través del Plan Agregado permitirá tomar

⁶ CONICIT. Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Costa Rica. Martínez, Eduardo. Ciencia, tecnología y desarrollo. Caracas: Editorial Nueva Sociedad, 1994. pp. 511-522. (disponible en) <http://www.conicit.go.cr/glosario/ver_termino.php?term=Sistemas%20de%20manufactura> [fecha de consulta] Revisar tamaño de fuente.

⁷ DANTE et al., Op. Cit., P.1.

decisiones que incluyan tanto variables de producción como criterios financieros, y a si valorar la flexibilidad desde los criterios financiera⁸.

Específicamente en la integración de la PA con las decisiones financieras se han efectuado muy pocos adelantos, según el estudio que desarrollaron Nan y 14 Logendran (1992), los modelos descritos en la literatura no hacen referencia al impacto que genera la solución de los planes agregados en los flujos de caja de efectivo, además los que incluyen otro tipo de consideraciones financieras son muy pocos.

Lo anterior demuestra que hacen falta trabajos en este campo ya que las finanzas y todo lo que estas implican han sido siempre la mayor preocupación para las organizaciones como principal medida de desempeño, siendo este nuestro punto de partida para afrontar el reto de valorizar la flexibilidad en los planes de producción con indicadores financieros.

⁸ LUZ KARIME CASTAÑEDA VALENCIA CLAUDIA XIMENA CONTRERAS desarrollo de un modelo de planeación agregada con consideraciones financieras

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Construir un modelo que permita valorar la flexibilidad de los planes de producción a través de indicadores financieros con el fin de brindar una herramienta para la toma de decisiones a nivel táctico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las variables críticas inherentes de los planes de producción a través de su caracterización.
- Determinar las variables a incluir en el modelo a través de la identificación de parámetros de medición de flexibilidad en la producción.
- Integrar los indicadores financieros y de flexibilidad a través de la consolidación de elementos productivos y financieros relevantes en el proceso de toma de decisiones.
- Realizar la validación y el análisis de sensibilidad del modelo propuesto a través de la construcción de un caso de estudio.

1.3 Justificación

Los modelos de Planificación Agregada no involucran la interrelación funcional entre producción y finanzas⁹, y se concentran particularmente, en las variables productivas, dejando a un lado, la consideración de cualquier criterio financiero. Esto genera está limitando las ventajas que la empresa puede obtener desde la planificación.

Aunque pocos estudios han tratado a la Planificación Agregada como una herramienta integradora de las decisiones de producción con la gestión financiera¹⁰, varios autores¹¹ han planteado este hecho como una limitación de los beneficios que se podrían obtener de los Planes Agregados. En este sentido es posible concebir un modelo que permita valorar la flexibilidad de los planes de producción a través de indicadores financieros.

El desarrollo de un modelo de Planificación Agregada con consideraciones financieras no solo tiene implicaciones en la integración horizontal, sino también en la vertical, dado que la PA hace parte de un proceso jerárquico y por lo tanto, la solución que arroje este plan se usa como lineamiento para los siguientes niveles de detalle, lo que refleja la importancia de la elaboración de planes de nivel superior que consideren elementos integradores y que además describan los ambientes de fabricación lo mejor posible.

Al considerar dentro del Plan Agregado variables que tienen relación con el flujo de caja, se obtiene un programa más contundente y por tal razón, más atractivo en términos de aplicabilidad. El modelo permitirá conocer que variables de producción que más afectan el flujo de caja desde los indicadores financieros y los cuales permitirán flexibilidad en los planes de producción.

⁹ GERMAINE et al., Op. Cit., P1.

¹⁰ DANTE et al., Op. Cit., P 389.

¹¹ DANTE, et al., Op. Cit., GERMAINE, et al., Op. Cit. KIRCA et al., Op. Cit.

1.4 Documentos revisados

Tomando como referencia la tesis de las ingenieras industriales Luz Karime Castañeda Valencia y Claudia Ximena Contreras Yanguas, en la cual se plantea una discusión sobre la necesidad de vincular consideraciones financieras en el plan agregado.

DESARROLLO DE UN MODELO DE PLANEACIÓN AGREGADA CON CONSIDERACIONES FINANCIERAS

Elaborada por las ingenieras industriales LUZ KARIME CASTAÑEDA VALENCIA y CLAUDIA XIMENA CONTRERAS YANGUAS 2010, la cual trata de construcción de un modelo de Planificación Agregada que incorpora elementos propios de los ambientes de fabricación, así como también consideraciones financieras, de tal forma que en el proceso de toma de decisiones de producción a nivel táctico se integren las decisiones relativas a la gestión financiera.

En él cual consideran elementos productivos como las unidades a producir, unidades a subcontratar, órdenes atrasadas, ventas perdidas, inventario, nivel de fuerza laboral, decisiones sobre contratación y despido de personal y un plan de incentivos que está asociado a un tiempo de producción menor al estándar. Entre los elementos financieros considerados en el modelo se encuentran el recaudo de cartera, descuentos por pronto pago, descuentos en los precios por volumen de venta, inversiones, préstamos entre otros. Todos estos elementos están asociados a un flujo de caja el cual se calcula en cada periodo del horizonte de planificación. La función objetivo del modelo tiene como finalidad maximizar el valor presente neto del flujo de caja del último periodo del horizonte temporal.

Operations Management.

Documento en el cual nos plantean las diferentes competencias en un sistema de producción, permitiéndonos acoplar estas competencias con las diferentes opciones de flexibilidad. Se describe un marco de apoyo a la decisión interactiva visual diseñada para ayudar a la toma de decisiones, por lo general la alta dirección, en la selección de la tecnología y el diseño más apropiado en la planificación de un sistema de fabricación flexible (FMS). El marco puede ser utilizado en la etapa de pre-inversión del proceso de planificación, después de haber tomado la decisión, en principio, para construir un FMS. En primer lugar, se utilizan criterios cualitativos y cuantitativos para reducir el conjunto de configuraciones de sistemas alternativos que se examinan a un pequeño número de la mayoría de los candidatos atractivos. Después de esta fase de preselección, un modelo de programación multi-objetivo se formula para cada configuración restante, lo que permite al gerente explorar y evaluar los costes y beneficios de las diversas hipótesis diferentes para cada configuración por separado mediante la experimentación con diferentes niveles de tamaño de los lotes y los volúmenes de producción.

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN MULTIATRIBUTO PARA EL ANÁLISIS DE DECISIONES DE FLEXIBILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Elaborada por PABLO CÉSAR MANYOMA VELÁSQUEZ Msc. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título en Maestría en Ingeniería – Área énfasis Ingeniería Industrial 2006, La cual consistía en el planteamiento de una situación problemática alrededor de los sistemas flexibles de manufactura y la toma de decisiones para su correcta selección. Se planteó la necesidad de resolución a través de un objetivo general condicionado por la ejecución de los específicos.

1.4.1 Principales tendencias sobre el tema.

- Badell et al. (1998) desarrollan un primer paso hacia la integración de la programación de la producción con la tesorería. Proponen la programación de la producción respetando un límite mínimo y uno máximo, impuestos sobre la liquidez de la compañía.

- Pega et¹² al establecer una relación entre el Plan Agregado de Producción y el flujo de caja. En este trabajo se propone la Regla de Decisión Lineal (LDR) como método para desarrollar el Plan Agregado y luego incorpora las extensiones financieras a través de la metodología de Miller Orr et al (1996). Esta metodología consiste básicamente en mantener el efectivo en un punto ideal, lo que se logra haciendo inversiones de corto plazo o solicitando préstamos dependiendo de si hay exceso o falta de efectivo. Para esto se calcula un límite superior y uno inferior.
- Chien et al. (2000) resalta la importancia de una Planificación Agregada integrada a las áreas de comercialización y de finanzas. Para lograr una aproximación a esta integración proponen trabajar con hojas de cálculo vinculadas entre sí. En una hoja de cálculo determinan los pronósticos de ventas por cada mes con base en la información recaudada de tres años anteriores por el área comercial. Estos pronósticos son introducidos en una segunda hoja donde se determina el Plan Agregado de la producción de menor coste total, entre tres planes diferentes. En una tercera hoja de cálculo ligada a la segunda se ingresan los datos del Plan Agregado seleccionado y en función de datos financieros previos determinan el presupuesto necesario para desarrollar este plan de producción. Con este método solo determinan un Plan Agregado de producción con su respectivo presupuesto sin que sea el óptimo, se conforman con el plan que menor coste total represente a partir de la comparación de las tres alternativas.
- Damon y Schramm (1972) proponen modelos secuenciales con métodos de Programación no Lineal, basados en las reglas de decisión del modelo HMMS, para esto contemplan en un modelo las decisiones de producción, en otro las decisiones del área comercial, y por último las decisiones financieras. Estos modelos secuenciales posteriormente son incorporados en un modelo simultáneo pero sin lograr una integración total de las diferentes áreas de la empresa, y sin alcanzar soluciones óptimas¹³.

¹² PEGA et al., Op. Cit.

¹³ Ibíd, Pag.25.

1.5 Diseño Metodológico

El tipo de investigación que se implementara es informativa partiendo de los conocimientos ya establecidos sobre los planes de producción y de los criterios financieros que nos brinde alternativas de decisión, estas tendrá un enfoque mixto, lo cual nos permita valorar la flexibilidad desde sus alternativas por medio de indicadores financieros y evidencialas desde costo de oportunidad.

Para determinar las variables críticas inherentes de los planes de producción a través de su caracterización se pretenden realizar varias actividades. Comenzando por una investigación a fondo de todas las variables de los planes de producción, se hará una caracterización apropiada para cada investigación para escoger las variables críticas.

Determinar las variables a incluir en el modelo a través de la identificación de parámetros de medición de flexibilidad en la producción. Al definir las variables críticas de los planes de producción podríamos identificaran las variables que permitan medir parámetros de flexibilidad asociadas a la producción.

Para Integrar los indicadores financieros y de flexibilidad a través de la consolidación de elementos productivos y financieros relevantes en el proceso de toma de decisiones se plantea un modelo en el cual permita reflejar las decisiones materializadas en el flujo de caja.

Por último se realizara la validación y el análisis de sensibilidad del modelo propuesto a través de la elaboración de un caso de estudio, para llevar acabo esto se buscara una situación problemática de una empresa en la cual podamos valorar el modelo propuesto.

CAPÍTULO 2

2. Planeación y Control de la producción

2.1 Planeación Jerárquica

La Planeación Jerárquica es un enfoque que se utiliza generalmente en el proceso de planificación y control de la producción. Se basa en la formulación de planes para los niveles estratégico, táctico y operativo con el fin de lograr una gestión integrada de la empresa¹⁴. En este enfoque, las decisiones tomadas en cierto nivel, se convierten en restricciones para los siguientes niveles de detalle.

El proceso inicia con la planificación estratégica, donde la Alta Dirección toma decisiones a largo plazo, las cuales están relacionadas con las metas comerciales y las políticas de la compañía, el tipo de producto, la clase de proceso que se utilizará para la producción del bien, la distribución de la planta, la localización de las instalaciones, la determinación de la capacidad productiva de las mismas, entre otras. A partir de la definición de todos estos factores, se generan los Planes Comercial, de Producción y Financiero de Largo Plazo. Estos tres planes a su vez, componen el Plan Estratégico de la compañía¹⁵.

El siguiente nivel lo constituyen las decisiones tácticas o de mediano plazo, por medio de las cuales se buscará dar cumplimiento al Plan Estratégico. Es en este nivel donde se genera el Plan Agregado de Producción, en el cual se toman las decisiones correspondientes a la planificación y control de la producción, que llevarán a satisfacer la demanda proyectada para el mediano plazo.

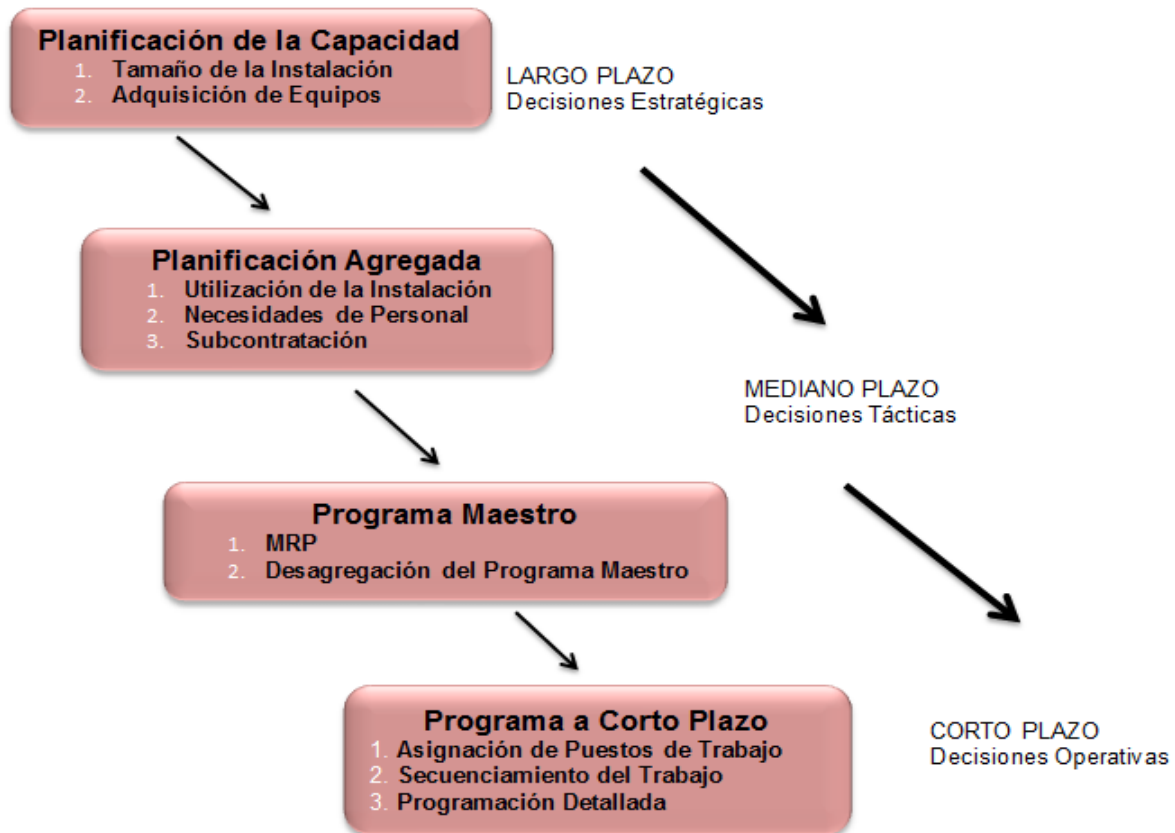
Por último, están las decisiones operativas o de corto plazo, las cuales se refieren a las decisiones que se toman en el día a día. Se caracterizan por el uso de la programación detallada, a partir de la cual entran a considerarse elementos como la capacidad en el corto plazo, los planes de

¹⁴ DOMINGUEZ et al. Dirección de Operaciones – Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios, 1995. P. 7,8.

¹⁵ Ibíd. P. 63.

mantenimiento preventivo, la secuencia de las órdenes de trabajo entre otros. La ilustración 1 muestra los niveles de la Planeación Jerárquica.

Ilustración 1. Planeación Jerárquica



FUENTE: DOMÍNGUEZ et al (1995)

2.2 Planeación Agregada

La Planeación Agregada busca equilibrar la oferta y la demanda de la producción en un periodo entre 6 y 18 meses¹⁶. Este plan hace parte de las decisiones tácticas y se caracteriza por el uso de una sola medida general de producción, conocida como “familia”, la cual se refiere a la agregación de productos y recursos con respecto a algún elemento que permita dicha

¹⁶ SCHROEDER, Roger G. Administración de Operaciones - Toma de Decisiones en la Función de Operaciones. Tercera Edición. México, Editorial Mc Graw Hill. 1992. P.332.

agrupación (similitudes en el diseño, el patrón de demanda o el proceso de producción, entre otros).

Por lo general, el objetivo de la Planeación Agregada es minimizar los costos durante el periodo de planeación¹⁷, sin embargo, otros objetivos pueden ser los que se especifican en Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de Evaluación de Plan Agregado

CRITERIO	JUSTIFICACIÓN
Maximizar el servicio al cliente	Una manera de competir es a través de tiempos de entrega más cortos, por lo cual se crea la necesidad de producir lo más rápido posible.
Minimizar la inversión en inventario	Utilizar este dinero en cosas más productivas.
Minimizar los cambios de la fuerza laboral	Evitar cambios en la mano de obra con el fin de impedir descensos en la productividad.
Maximizar la utilización de la capacidad instalada	Para poder satisfacer plenamente la demanda en algunos periodos se requiere eliminar los tiempos ociosos con el fin de evitar ventas perdidas.

FUENTE: KRAJEWSKI et al. (1999)

Es posible que se presenten conflictos en la búsqueda del cumplimiento de dos o más de estos objetivos simultáneamente, ya que algunos de ellos se presentan en términos de costo y otros en términos de necesidad, por lo tanto es esencial establecer el nivel de importancia que tendrá cada uno dentro del plan.

El proceso de Planificación Agregada comienza con el pronóstico de demanda, a partir del cual se determinan las necesidades de fuerza laboral, cantidad de producción y niveles de inventario, entre otros elementos. Normalmente se desearía trabajar con demandas relativamente estables, ya que simplifican la elaboración del Plan Agregado al hacer uso de una demanda promedio, sin embargo la demanda generalmente presenta grandes fluctuaciones, que

¹⁷ HEINZER et al., Op. Cit., P.168.

obligan a la empresa a tomar decisiones que le permitan responder a dichos cambios ¹⁸.

Para la adaptación de la capacidad a estas oscilaciones de la demanda se pueden considerar dos alternativas:

2.2.2 Decisiones que modifican la Oferta¹⁹

Estas decisiones, también conocidas como alternativas reactivas, son las que se encargan de modificar la capacidad para satisfacer una demanda fluctuante. Algunas de estas alternativas se muestran a continuación:

2.2.3 Nivel de Fuerza de Trabajo

La gerencia puede ajustar los niveles de la mano de obra a través de la contratación y despido de empleados. Estos ajustes evitan los tiempos ociosos o la acumulación de inventario, sin embargo sólo es aconsejable usarla cuando la mano de obra requerida no es especializada y es fácil de conseguir. Los costos asociados al despido y a la contratación pueden ser muy altos, razón por la cual en muchas ocasiones no es factible emplear esta técnica.

2.2.4 Inventario de Previsión

En esta alternativa se logra equilibrar el nivel de producción a través de la acumulación de inventario en las temporadas bajas. Se utiliza siempre y cuando los productos no sean personalizados y se cuente con los espacios suficientes para el almacenamiento. Generalmente no son de la preferencia de la gerencia por considerar que aumentan el ciclo de caja, además los costos asociados son muy elevados.

¹⁸ MIRANDA, Francisco; RUBIO, Sergio; Chamorro, Antonio; BAÑEGIL, Tomás. Manual de Dirección de Operaciones. España, Editorial Thompson. 2005. P. 413.

¹⁹ KRAJEWSKI et al., Op. Cit., P. 602.

2.2.5 Utilización de la Fuerza de Trabajo

En esta alternativa permanece constante el número de empleados y se prefiere hacer uso de las horas extras, el tiempo ocioso y estimular a los empleados con planes de incentivos salariales para cubrir las necesidades de demanda.

a. Horas extras

Son utilizadas cuando el nivel de demanda del periodo es alto, consiste en trabajar más horas al día a un mejor precio. Su principal desventaja es que no se puede obligar a los empleados a aceptar estas condiciones y si se abusa mucho de ellas puede ocasionar disminución de la productividad y en la calidad.

b. Tiempos ociosos

Se permiten en los periodos de temporada baja, donde no hay la actividad suficiente para utilizar toda la capacidad instalada. No son convenientes, puesto que van en contravía de la productividad de la empresa, sin embargo se deben asignar cuando resulta menos costoso que acumular inventarios ó modificar la planta de personal.

c. Programación de Vacaciones

Esta alternativa reduce la mano de obra sin coste adicional. Se puede programar en el periodo donde hay receso de ventas dejando tan solo un grupo pequeño para que realice labores de mantenimiento.

2.2.6 Subcontratación

Se utiliza en el caso en que al utilizar todas las alternativas disponibles para ampliar la capacidad, no se alcancen a cubrir totalmente las necesidades o que salga más económico tercerizar parte de la producción que recurrir por ejemplo, a horas extras. El uso de esta alternativa generalmente le da flexibilidad a la organización, sin embargo pueden surgir problemas con la calidad y el tiempo de entrega del producto.

2.2.7 Órdenes Atrasadas y Faltantes

Las órdenes atrasadas se refieren a los pedidos que el cliente espera que le entreguen en una fecha oportuna, pero que por problemas de capacidad se entregan en fechas posteriores. Aunque no se pierde la venta, se puede compensar al cliente con descuentos en los precios, para que de esta forma sigan pensando en la empresa como una opción en el futuro. En el caso de los faltantes, la razón para el no cumplimiento oportuno del pedido son las mismas, salvo que el pedido se pierde y el cliente recurre a otro proveedor, lo cual mina la relación con el cliente.

2.3 Decisiones que modifican la Demanda²⁰

Estas decisiones son también conocidas como agresivas. Son acciones que se emprenden con el fin de ajustar la demanda a la capacidad disponible, algunas de ellas se describen a continuación:

2.3.1 Cambios en los Precios

Con frecuencia se utilizan las diferencias de precios para reducir la demanda en temporadas pico o para incrementar la demanda en temporadas bajas y solventar los problemas producto de la capacidad ociosa.

2.3.2 Modificación de la Política de Comunicación

Se refiere al uso de la publicidad como medio para incrementar la demanda ya sea por radio, televisión o en volantes y a la promoción de bonificaciones en productos u algún otro atractivo, como incentivo para aumentar las ventas.

2.3.3 Retención de Pedidos

En este caso la empresa pacta con los clientes entregar los pedidos en fechas futuras. Esto regularmente se aplica en los periodos de alta demanda y se reduce en cuando esta disminuye. Sin embargo, la comunicación con el cliente

²⁰ MIRANDA et al., Op. Cit., P. 415 - 416.

debe ser adecuada, puesto que se corre el riesgo de que el cliente prefiera recurrir a otro proveedor.

2.3.4 Desarrollo de productos complementarios

Esta estrategia es usada regularmente por empresas que manejan demandas estacionales, un ejemplo de ello es una fábrica que produce podadoras de césped y comienza a fabricar sopladoras de nieve para compensar el cambio en el comportamiento en la demanda.

2.4 Planificación de Estrategia²¹

La formulación de estrategias dentro del Plan Agregado se genera a partir de las diferentes combinaciones que componen las alternativas reactivas. Estas estrategias se realizan con el fin de obtener mejores Planes Agregados. Las más aplicadas se denominan estrategias puras, las cuales utilizan una alternativa como medida de acción. Un ejemplo de ello son las estrategias de seguimiento y nivelación.

2.4.1 Estrategia de Seguimiento

En esta estrategia, el nivel de producción se adapta a la demanda, ya sea modificando el nivel de fuerza laboral (contrataciones y despidos) o haciendo una utilización adecuada de la mano de obra existente (horas extras, planes de incentivos y tiempos ociosos). Una de las ventajas de esta estrategia es que no requiere de inversión en inventario, pero si pueden presentarse inconvenientes como una disminución en la productividad y molestias en el personal por la alta rotación de la mano de obra.

²¹ KRAJEWSKI et al., Op. Cit., P. 605.

CAPITULO 3

3. La Flexibilidad en la Manufactura

3.1 ESTRATEGIAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Esta estrategia se refiere a la formulación de políticas amplias y al diseño de planes para utilizar los recursos de la empresa de modo que apoyen de la mejor manera posible la estrategia competitiva de la compañía a largo plazo²²

El desarrollo de la concepción anterior a nivel mundial, ha permitido el reconocimiento de elementos de competencia que se pueden centrar en 4 situaciones básicas²³:

- **Competencia por costo:** Las empresas que compiten por costo persiguen la eliminación de todo lo que consideren innecesario dentro del sistema. En el pasado, las empresas en esta categoría producían productos estandarizados para mercados grandes; ellas mejoraron las operaciones estabilizando el proceso de producción, ajustando las normas de productividad e invirtiendo dinero en la automatización. Hoy, se viene evaluando, no solo los costos labores como rubros sucintos de reducción, sino también la revisión de los volúmenes de producción junto a la automatización, como elementos primarios que proporcionen combinaciones (alternativas) rentables.

Es evidente la importancia de la reducción de costos como arma competitiva de la empresa. Por una parte, es uno de los condicionamientos fundamentales del precio de los productos y servicios que vende la organización, y este factor precio, aún, mantiene un papel relevante a la hora de competir. Por otra parte la disminución del costo aumenta el beneficio empresarial, por lo que siempre será una meta importante para cualquier empresa.

²² CHASE Richard B., AQUILANO Nicholas J., y JACOBS Robert. Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios. Octava edición. México: McGraw Hill. 2000.

²³ Basado en: RUSSELL Roberta S. y TAYLOR III Bernard W. Operations Management. Tercera edición. New Jersey: Prentice Hall. 2000. Y KRAJEWSKI Lee y RITZMAN Larry. Operations Management. Strategy and Analysis. Addison-Wesley. 1996.

La importancia de la variable costos requiere del desarrollo de una correcta planificación y control de los mismos, lo cual implica en primer lugar una determinación Ex –ante de ellos basados en supuestos antes de la transformación productiva, y luego una evaluación Ex – post, basada en los consumos reales de los diferentes factores dentro de la transformación. El comparar las dos evaluaciones permitirá descubrir deficiencias y brinda caminos de acción.

Normalmente la reducción de costos sin incurrir en decrementos de la calidad se centran en dos ejes: (1) La mejora del aprovechamiento de los recursos existentes sin realizar inversiones y (2) realización de inversiones que mejoren la tecnología empleada e impliquen la consecución de economías de escala. En ambos casos se persigue conseguir objetivos a través de un aumento en la eficiencia (productividad).

- **Competencia por calidad:** La mayor parte de las empresas se acercan a la calidad en un sentido defensivo o reactivo. La calidad es limitada a la minimización de índices de defectos o a la conformidad de las especificaciones de diseño. Para competir por calidad, las empresas deben verla como una oportunidad a favor del cliente, no solamente como un modo de evitar problemas o reducir costos. Se podría decir que se tienen “tipos de calidad” dependiendo de las fases en que se divida el intervalo de tiempo que transcurre entre la demanda del producto hasta su utilización por parte del consumidor final.

La primera fase estará controlada por la calidad de concepción que tendrá como función, medir las divergencias entre las características solicitadas por el cliente y las plasmadas en el proyecto. La comparación de estas últimas con las que tenga el producto una vez realizado, mostrará la calidad de concordancia (consistencia).

Por último, el consumidor tendrá un producto que comparará con lo que él deseaba, observándose de esta manera la llamada calidad de servicio.

La calidad del proceso es crucial pues se relaciona de manera directa con la confiabilidad del producto. La meta de la calidad de proceso es fabricar productos libres de errores.

- **Competencia por velocidad (tiempo):** Se puede entender esta velocidad como el tiempo de respuesta entre el pedido y la entrega de un producto o servicio solicitado.

Este aspecto suele comprender básicamente dos elementos que configuran la denominada competencia basada en el tiempo: Tiempo de suministro planificado y tiempo de suministro real, que en una situación ideal deberían ser iguales.

La problemática del tiempo de suministro es realmente compleja. La longitud de este tiempo va a depender de la selección y diseño del proceso, de la capacidad instalada, de la tecnología aplicada y de la flexibilidad de la misma, y de la planificación y control de la producción.

Este objetivo alcanza una mayor dimensión si se consideran otros factores relacionados con él, donde no solo se tiene en cuenta la velocidad de respuesta sino atributos tales como: Exactitud o coincidencia entre cantidades, accesibilidad de información sobre pedido, calidad correcta del producto, facilidad de pedido, flexibilidad de los pedidos y facilidad de devolución.

Adicionalmente se ha venido, en los últimos tiempos, hablando de la velocidad de desarrollo, que no es otra cosa que la capacidad de introducir nuevos productos o servicios en el menor tiempo posible.

- **Competencia por flexibilidad:** Una definición de flexibilidad alude a la adaptabilidad o a la habilidad para hacer frente de forma más eficiente y eficaz a las circunstancias cambiantes.

La capacidad para responder a la variación ha abierto un nuevo nivel de competencia, haciendo de la flexibilidad un arma competitiva. La flexibilidad

puede comprender tanto del producto y su diseño como de la operación misma del sistema.

En definitiva, los requerimientos para la flexibilidad son dictados por las características particulares de cada planta y el entorno al cual es sometida.

3.2 La Flexibilidad como Estrategia

A través de la última década se ha llegado al consenso que el costo y la calidad son dos elementos fundamentales para la competitividad pero que se quedan cortos a la hora de establecer parámetros de sensibilidad al mercado. Este último aspecto se refiere a la velocidad y flexibilidad de respuesta²⁴.

Aunque se tenga claridad en los requerimientos de flexibilidad, definirla no ha sido tan fácil, se ha venido notando, con el tiempo, la dificultad para construir un concepto que sea entendido por sí solo. La definición de flexibilidad debe ser enmarcada por muchas disciplinas²⁵ (biología – evolución, antropología, teoría de sistemas, entre otras), por esto una definición única es difícil de concebir, sin embargo en el fondo hay una columna vertebral como raíz del concepto:

... una característica de la interfase entre el sistema y el medio ambiente.

... grado de control homeostático y eficiencia dinámica que puede gobernar a un sistema.

... capacidad de adaptación o cambio.

Asumiendo estas breves definiciones se puede establecer una visión del concepto desde las empresas: La flexibilidad en manufactura es un concepto complejo y multidimensional que representa la habilidad o capacidad de un sistema de producción para adaptarse con éxito a las condiciones cambiantes del entorno, a

²⁴ D'SOUZA, Op. cit.

²⁵ Ibid.

las necesidades del proceso y de los clientes sin incurrir en grandes castigos de tiempo, esfuerzo, calidad, costo y desempeño²⁶.

Teniendo en cuenta esta definición e incorporando lo que se establece en la figura 2 se puede inferir la gran importancia que tiene la flexibilidad a la hora de establecer una estrategia para el correcto funcionamiento de cualquier organización en el tiempo²⁷.

Este marco conceptual establece, también, la definición de cuatro (4) estrategias genéricas llamadas: Adaptación, Redefinición, Banking (Espera) y Reducción²⁶.

La adaptación representa (en la figura) el recorrido desde la incertidumbre hasta el requerimiento mismo de flexibilidad. En el argot estratégico la adaptación es una postura defensiva, ya que solo pretende responder a los cambios ya dados por el medio ambiente.

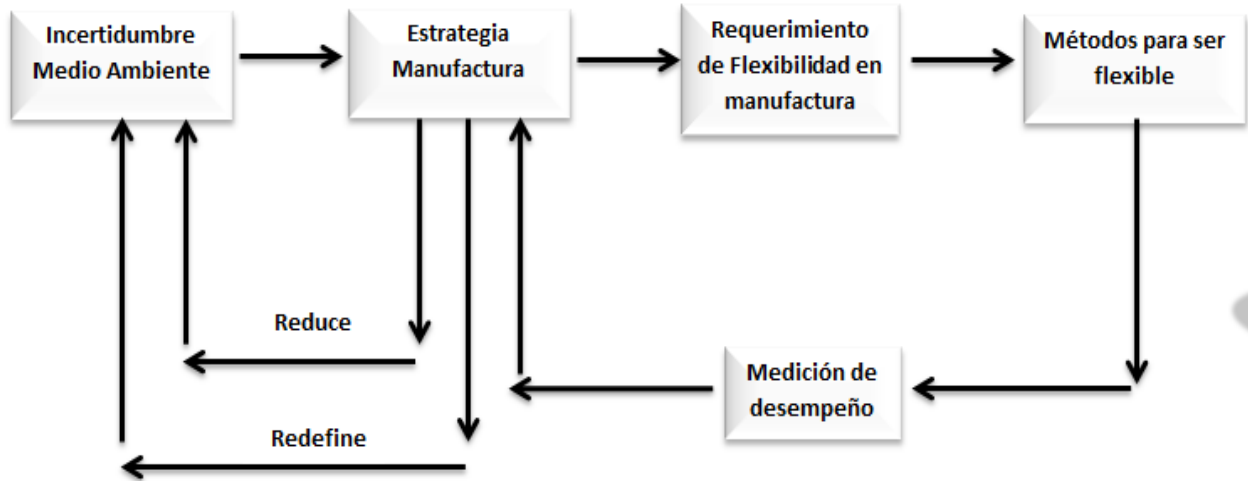
La redefinición busca desde su postura proactiva, generar más variables de incertidumbre (un ejemplo característico son nuevos productos con más frecuencia) para los rivales de la organización proponente y así establecer poderosas ventajas competitivas.

Una organización puede decidir hacer Banking de flexibilidad como una estrategia de espera para cuando encuentre futuras necesidades. En este sentido la flexibilidad es una inversión que crea opciones para la compañía. Puede ser usada defensivamente para adaptarse a un cambio dramático en las condiciones de mercado; pero también una “reserva” de flexibilidad puede ser empleada proactivamente para redefinir condiciones de competencia.

²⁶ Basado en: UPTON D. The management of manufacturing flexibility. En : California Management Review. Winter 1994. p 72-89

²⁷ GERWIN, Donald. Manufacturing flexibility: A strategic perspective. En: Management Science. Vol 39. No. 4. April 1993.

Ilustración 2. Marco conceptual de la flexibilidad



FUENTES: GERWIN, Donald. Manufacturing flexibility: A strategic perspective. En: Management Science. Vol 39. No. 4. April 1993.

La reducción no está basada en el uso de la flexibilidad, pero afecta directamente lo que pueda suceder con ella. En la figura anterior se puede apreciar que desde la estrategia que se proponga se puede reducir la incertidumbre del medio ambiente, implicando esto a los requerimientos de la flexibilidad. Por ejemplo los contratos a largo plazo con consumidores y proveedores.

3.3 Componentes fundamentales

La flexibilidad puede ser vista como un compacto de capacidades (flexibilidad interna) y un recurso de ventajas competitivas en ambientes particulares (flexibilidad externa)²⁸. En términos prácticos, viendo horizontalmente (como cadena de valor) a la flexibilidad, se podría decir que va desde la compra de suministros y diseño de productos hasta la distribución y servicio al cliente mismo. Siendo así, la flexibilidad interna se compondría del “c entro” de la cadena (diseño

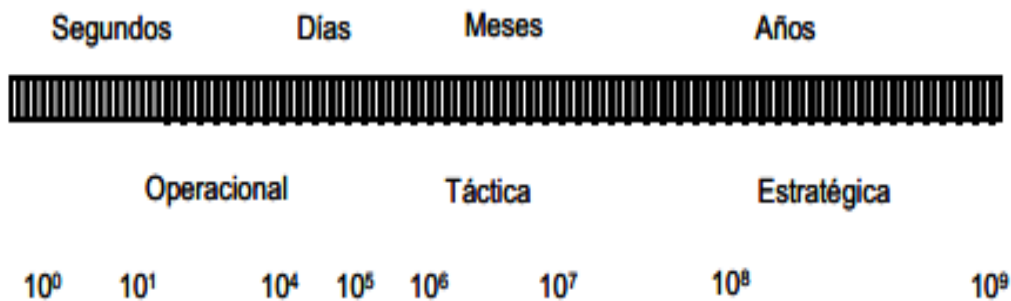
²⁸ UPTON, Op. cit. .

de producto y proceso, y operaciones como tal) y la flexibilidad externa de los extremos (compras y distribución)²⁹.

Las formas internas de flexibilidad deben proveer las capacidades para competir externamente. Es fundamental que esta flexibilidad interna sea vista en el horizonte de tiempo, ya que debe estar clara la respuesta a la pregunta de qué tan frecuente ocurren los cambios o adaptaciones del sistema.

Según se puede apreciar en la ilustración 3, el tiempo de ocurrencia de la necesidad se va asociando al tipo de administración de la flexibilidad: Operacional, Táctica y Estratégica³⁰.

Ilustración 3. Flexibilidad operacional, táctica y estratégica en función del tiempo



FUENTES: UPTON D. The management of manufacturing flexibility. En: California Management Review. Winter 1994. p 72-89

La flexibilidad operacional es la habilidad para cambiar día a día o en un lapso muy corto de tiempo. La flexibilidad táctica es la habilidad para ocasionalmente adaptarse o cambiar (meses y algunas veces años). La flexibilidad estratégica es la habilidad para hacer cambios que no ocurren frecuentemente y que implican largos plazos y modificaciones significativas estructuralmente.

²⁹ GERWIN, Op. cit

³⁰ UPTON, Op. cit.

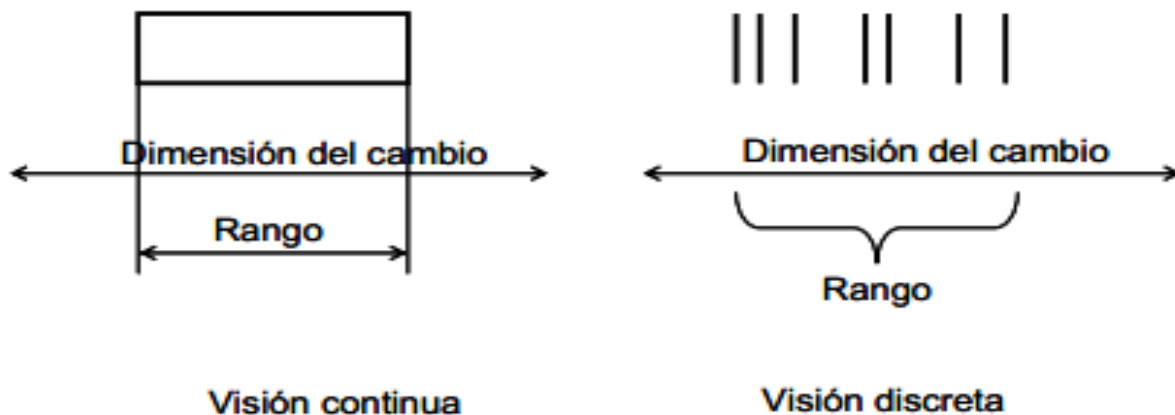
En términos generales los diversos autores que afrontan la problemática aquí abordada, están de acuerdo en identificar tres elementos básicos de la flexibilidad*: Rango, Movilidad y Uniformidad.

3.4 Rango

Está definida como el número de diferentes posiciones u opciones flexibles que pueden ser logradas por una dimensión o tipo de flexibilidad³¹. Esto incluye no sólo el número de opciones sino también la diferenciación (heterogeneidad) que entre ellas exista.

En la ilustración 4 se puede observar que el rango es representado como una métrica entre las distancias de los extremos que se puede lograr.

Ilustración 4. Visión continua y discreta del rango



FUENTES: UPTON D. The management of manufacturing flexibility. En: California Management Review. Winter 1994. p 72-89

Los ejemplos más característicos aquí son: Rango de tamaños, rango de volúmenes y rango de productos.

³¹ KOSTE, Op. cit.

* Lori L. Koste ,y Manoj K. Malhotra hacen una excelente apreciación acerca de dividir el rango en número y heterogeneidad, y así se van a tener en cuenta aunque se vean como tres elementos en forma general.

3.5 Movilidad

Representa la facilidad con la cual la organización se mueve de un estado a otro, dentro del rango demarcado³². La facilidad del movimiento, definitivamente es evaluado por la interrelación del tiempo y del costo, y se es más flexible cuando se incurre en pequeñas penalizaciones en las transiciones que se estén realizando.

En esto de las penalizaciones o castigos por las transiciones se pueden incluir: El tiempo y el costo de producción perdida, el esfuerzo de programación (tiempo administrativo) y el desperdicio o reproceso atribuidos a la transición.

3.6 Uniformidad

Captura la similitud de las medidas del desempeño (salidas) que se establezcan dentro del rango. Esto implica que al utilizar diferentes medidas (eficiencia, productividad, calidad, tiempos de proceso, etc.) el desempeño no debe variar (en grandes cantidades) con la posición ocupada en el rango establecido. La uniformidad se debe conservar, es decir no se pueden presentar “valles y picos” al mismo tiempo.

3.7 Dimensiones o tipos de flexibilidad

Ya en los apartados anteriores se venía hablando acerca de la necesidad de esclarecer el campo en el cual los elementos de la flexibilidad cobran importancia. Este campo se va a estructurar a partir de dimensiones que van a ser surcadas por los tres elementos definidos y el horizonte de tiempo especificado.

Al unir gran parte de la literatura que ha venido investigando sobre el tema, se llega a un consenso (más o menos general) sobre lo que podrían llamarse dimensiones de flexibilidad³³, y además se puede identificar claramente lo

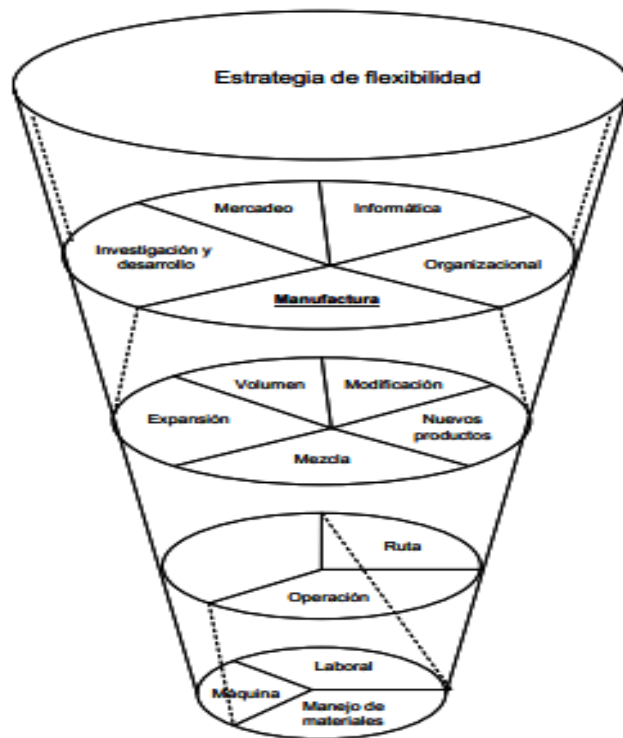
³² Ibid.

³³ Este apartado está basado en: Exploring flexibility and execution competencies of manufacturing firms Ram Narasimhan, Srinivas Talluri, Ajay Dasb. *Journal of Operations Management* 22 (2004) 91–106. A review of empirical research on manufacturing flexibility. Robert J. Vokurka, Scott W. O’Leary-Kelly. *Journal of Operations Management* 18 2000 485–501. A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility, Lori L. Koste, Manoj K. Malhotra. *Journal of Operations Management* 18 1999 75–93. The Management of Manufacturing Flexibility. David Upton. *California Management Review*. Winter 1994. An empirical study of manufacturing flexibility in printed circuit board assembly. Fernando Suárez, Michael Cusumano, Charles Fine. *Operations Research*, Vol 44, No. 1, Special issue on New Directions in Operations Management. (Jan – Feb 1996). 223 – 240.

relacionado que está una con otra y la necesidad de mirar holísticamente el sistema.

En la ilustración 5 se puede observar una Excel ente representación de la importancia de las diferentes dimensiones de la flexibilidad con los niveles estratégicos de la organización.

Ilustración 5. Jerarquía de las dimensiones de la flexibilidad



FUENTE: KOSTE, Lori y MALHOTRA, Manoj. A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility. En: Journal Of Operations Management. No. 18. Enero 1999. p. 87.

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de flexibilidades que han sido objeto de investigación (unos más que otros):

3.7.1 Flexibilidad en Volumen

Esta dimensión representa la habilidad para cambiar el nivel de salida (incremento o decremento) de un proceso de manufactura. También puede entenderse como la extensión del cambio en las fluctuaciones de demanda agregada con el que el sistema puede acomodarse.

Puede ser medida por la tasa entre la variación media del volumen de producto y la capacidad máxima de producción. En esta dimensión el tiempo requerido para el cambio de nivel es su principal proveedor en los indicadores que la gobiernan, que van desde el costo de producción hasta la rentabilidad misma del sistema.

3.7.2 Flexibilidad en Producto

Aquí se hace indispensable reconocer tres tipos de componentes (unas especies de sub – dimensiones):

- Flexibilidad en Variedad (Mezcla -Mix): Representa la habilidad del sistema de manufactura para producir un número determinado de diferentes productos. Puede ser medida como la tasa entre el número de partes hechas por el sistema en un determinado periodo de tiempo y la capacidad de ejecución del mismo.
- Flexibilidad en Nuevos Productos o Flexibilidad en Diseño: Vista como el número y la variedad de nuevos productos que pueden introducirse en la producción normal, en función del tiempo y del costo.
- Flexibilidad en Modificación: Medida por el número de cambios en el diseño de los productos en un determinado periodo de tiempo.

3.7.3 Flexibilidad en Máquina – Equipos - Herramientas

Es el número y la variedad de operaciones que una máquina puede ejecutar. También puede ser entendida como la facilidad de cambio para procesar un determinado número de partes.

Es medida como el tiempo necesario o requerido para hacer los cambios y pasar de un estado a otro. Estas transiciones también pueden evaluarse a través del tiempo perdido de producción o el desperdicio atribuido a los cambios.

3.7.4 Flexibilidad Laboral

Aunque no sea tenida en cuenta en forma general, la flexibilidad laboral juega un papel fundamental en los procesos de producción afectando directamente su desarrollo.

El número de tareas (y la diferencia entre ellas) que un trabajador desempeñe o pueda desempeñar, constituyen el núcleo de este tipo de flexibilidad. Los procesos de selección y las políticas administrativas pueden afectar el nivel de la flexibilidad laboral, de igual manera está muy ligada con la forma organizacional que compone al sistema. Por esto en algunos casos se habla de flexibilidad organizacional como una dimensión más y se establece la necesidad de identificar claramente los elementos componentes, tales como: Individuos, grupos tecnológicos, celdas de manufactura, funciones matriciales y las jerarquías tradicionales, entre otros.

3.7.5 Flexibilidad en Programación de Operaciones – Procesos

También llamada flexibilidad de secuenciación, representa la habilidad del sistema para ajustarse y/o acomodarse a los cambios e interrupciones en el proceso de manufactura. Esta flexibilidad se centra en la capacidad de realizar intercambios (planes alternos) en la secuencia requerida por el sistema, para su correcto desempeño.

Los cambios posicionales de operaciones son importantes porque ellos pueden cambiar la configuración física de las partes y crear complejidades adicionales.

3.7.6 Flexibilidad de ruta (re – ruteo)

Es la habilidad para usar centros de procesos alternos. Por esto, también se puede definir como el número de productos que tienen rutas alternas y la variación en la extensión de estas rutas usadas.

El uso de rutas alternas cambia la locación (físicamente) en donde ocurre el proceso pero no la secuencia de operaciones para realizar una parte. Puede ser

medida por el número de posibles opciones de rutas a seguir para la obtención del producto final, esto la hace relacionarse, con la flexibilidad de layout.

3.7.7 Flexibilidad en Expansión

Es la habilidad para adicionar, con cierta facilidad, capacidad al sistema. Aunque todas las dimensiones tienen que ver con todas, este tipo de flexibilidad refleja la capacidad que el sistema puede alcanzar a través del uso de todos sus componentes que no necesariamente tienen que ser los recursos con los que actualmente se cuenta, es más, se mide mejor alrededor de lo que se puede tener en futuro: Máquinas adicionales (tecnología de punta – automatización), nuevos trabajadores e incorporación de nuevas tecnologías entre otras.

3.7.8 Flexibilidad en Tiempos de entrega

Esta dimensión representa la capacidad de cambiar las fechas programadas de entrega de productos terminados, siendo más rápido o más lento según sea la necesidad establecida.

3.8 La Flexibilidad como realidad

3.8.1 Materialización de la flexibilidad

De forma muy general un sistema de manufactura es una colección de dispositivos físicos, computadores y personas, que de manera cooperativa realizan algún proceso de manufactura. La complejidad del sistema varía desde simples máquinas y herramientas operadas manualmente hasta sofisticados sistemas de manufactura integrada por computador (CIM - Computer Integrated Manufacturing)³⁴.

³⁴ FRIEDRICH Luis Fernando. Uma Abordagem Dist ribuída no Desenvolvimento e Implementação do Software de Controle de Chão-de-Fábrica em Sistemas de Manufatura Celular. Tesis sometida a la Universidade Federal de Santa Catarina para la obtención de Título de Doctor en Ingeniería de Producción. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, Febrero de 1996.

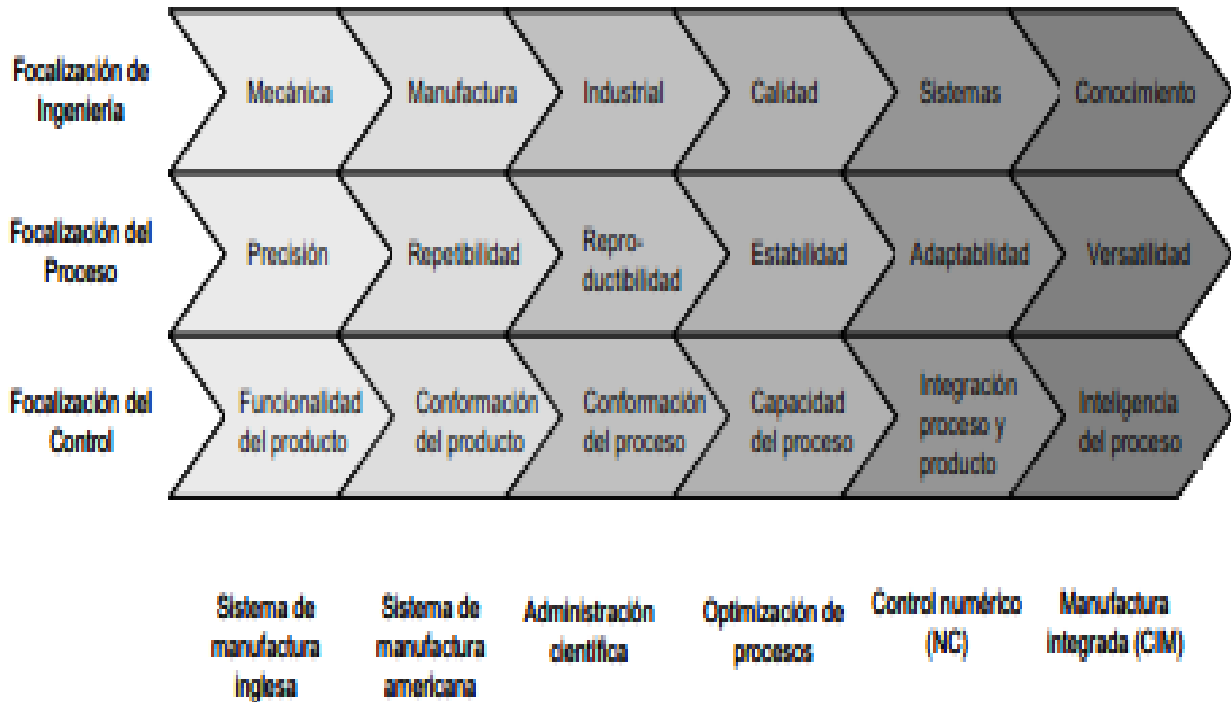
Paradigmas muy importantes de la manufactura han sido, cada vez con más frecuencia, derrumbados para imposición de otros que generan diferentes resultados. Haciendo una relación de 3 elementos básicos: la ingeniería misma, el proceso y el control, se puede ver la evolución a través de los sistemas empleados.

La ilustración 6 muestra la necesidad de este momento histórico, de poseer, además de respuesta rápida (adaptabilidad) al entorno, versatilidad que permita cubrir y generar más expectativas.

Definitivamente la evolución es tal y tan rápida que en los sistemas de manufactura ya se habla y se utilizan máquinas muy pequeñas con grandes desempeños que van desde los milímetros hasta los angstrom (máquinas cuánticas), pasando por micrómetros y nanómetros como medidas de versatilidad e inteligencia asociada al proceso.

De esta forma se concluye rápidamente que la flexibilidad como tal es un ente abstracto. Necesita de un “algo” para materializarse y convertirse en realidad en una organización. En cualquiera de las dimensiones de la flexibilidad, antes mencionada, se pueden observar elementos comunes que atraviesan al concepto y que permiten dar un mejor entendimiento a la hora de tomar una decisión.

Ilustración 6. Focalización de los aspectos de los sistemas de manufactura



FUENTE: JIMÉNEZ, Ramiro. Automatización de la manufactura. Universidad de Buenos Aires. <<http://www.fi.uba.ar/materias/7565/U1-Automatizacion-de-la-Manufactura.pdf>>

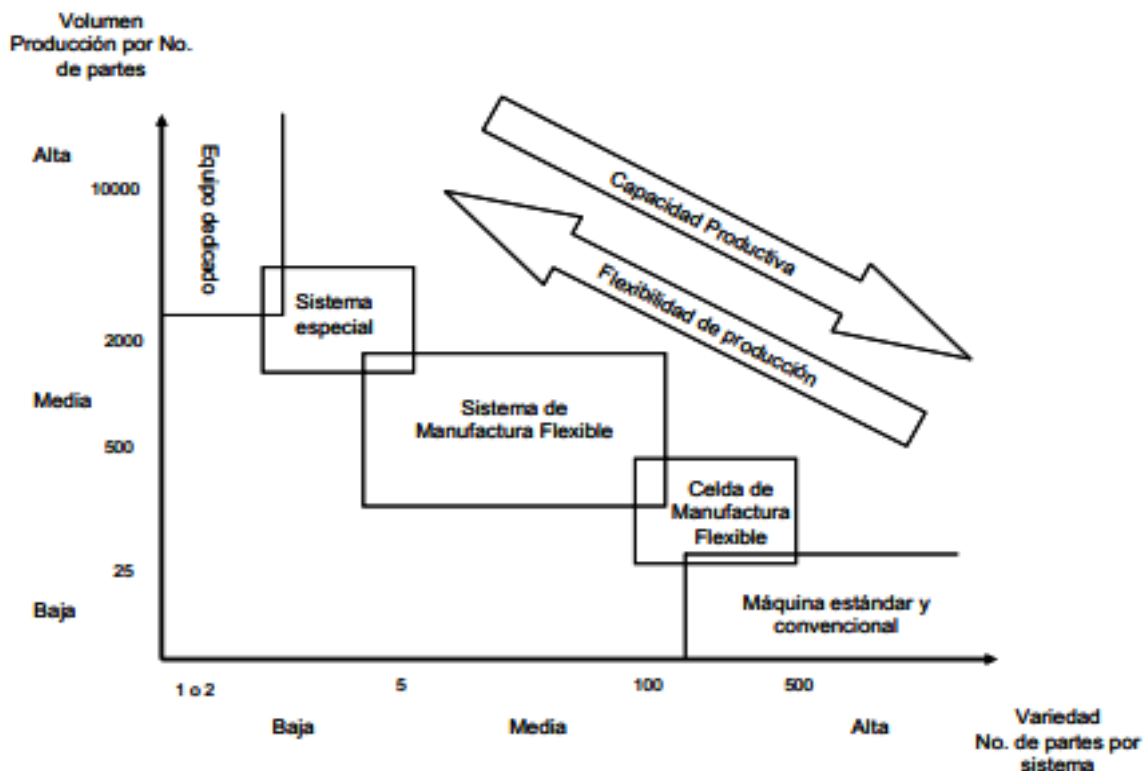
La combinación de los requerimientos del mercado con las capacidades de máquina y mano de obra, y los materiales empleados es lo que permite pensar en flexibilidad dentro un sistema de manufactura. Desde la flexibilidad en volumen hasta la flexibilidad en programación de operaciones, pasando por las flexibilidades de producto y de ruta, entre otras, se puede observar claramente, la necesidad de organizar el sistema de producción alrededor de esos condicionantes comunes. Los componentes fundamentales: rango, movilidad y uniformidad, “cobran vida” cuando tienen un “ente” de donde asirse para poder ser medidos.

La flexibilidad en manufactura se incrusta entonces, fácilmente, en las necesidades del mercado y en sus características muy propias de dinamismo actual. Los mal llamados sistemas flexibles de manufactura (FMS = equipos de producción lógicamente organizados por computador y físicamente conectados

por un sistema de transporte central) son una posibilidad de “materializar” la flexibilidad de un sistema de producción. Estos llevan en su interior una estrecha relación de elementos componentes que convierten un sistema en más o menos flexible según sea el grado deseado o conseguido.

Se puede pensar en flexibilidad desde la máquina misma y al ir incorporando más elementos condicionantes (materiales, mano de obra, etc.) se conforman subsistemas más elaborados tales como: líneas de ensamble flexible, módulos flexibles (centros de trabajo), celdas o células flexibles, grupos flexibles que al final de cuenta conformarán un verdadero Sistema Flexible de Manufactura, y que dará la posibilidad de encontrarse en una mejor posición (ver figura 7) para afrontar problemas de volumen y variedad.

Ilustración 7. Sistemas de manufactura: Volumen Vs. Variedad



Fuente: RAMOS, Mario. Introducción a los sistemas integrados de producción. Departamento de Ingeniería en maderas. Universidad del Bío Chile. 2003. <<http://zeus.dci.ubiobio.cl/~mramos/IntroCIM.htm>>.

Por último y tal vez para este documento lo más importante, es que al tratar de encontrar una forma de organización como se ha venido estructurando, lo que se está “comprando” es flexibilidad y debe ser tratada como una inversión en el sistema de producción.

3.9 Métodos Analíticos

Se basan en modelos matemáticos cuya solución busca establecer el Plan Agregado “óptimo”. La aplicabilidad de los resultados obtenidos por estos métodos depende de la rigurosidad con la que éstos son planteados desde un principio, ya que en la medida en que las hipótesis de entrada correspondan perfectamente al caso real, se necesitarían pocos ajustes para obtener el óptimo³⁵.

Estos métodos se pueden agrupar en dos categorías: los que emplean Técnicas de Optimización para encontrar el mejor Plan Agregado, y los que utilizan Técnicas Heurísticas para obtener un Plan factible³⁶.

Programación Estocástica (PE)

La programación lineal es una herramienta fundamental de planificación aunque una de sus limitaciones es el requerimiento de que toda la información se conozca con certidumbre. Los modelos de PE combinan el paradigma de la programación lineal con la formulación de parámetros aleatorios. La PE puede usar escenarios o distribuciones de probabilidades para los parámetros inciertos. Diversos autores han sugerido numerosos modelos de PE, en lo referente a la planificación de la producción cabe destacar:

Eppen y otros (1989) desarrollan un modelo para planificar las capacidades de un importante fabricante de automóviles. El modelo de PE se basó en escenarios de demandas con ciertas probabilidades. Además, se incorporó un análisis de riesgo. Escudero y Kamesan (1993) presentan un modelo de PE para el problema del MRP (*Material Requirements Planning*) con incertidumbre en la demanda.

³⁵ DOMÍNGUEZ et al., Op. Cit., P. 85.

³⁶ NOORI et al., Op. Cit. P. 453.

Escudero y otros (1993) analizan diferentes enfoques para la planificación de la producción y la capacidad utilizando PE. Mulvey y otros (1995) formulan un modelo que denominan Optimización Robusta, en el que consideran la incertidumbre de forma proactiva, en lugar de reactiva, como lo hace el análisis de sensibilidad tradicional.

Kira, Kusy y Rakita (1997) proponen el uso de la PE para problemas de planificación jerárquica de la producción.

Sen y Higle (1999) presentan un tutorial introductorio de PE donde explican diferentes modelos de programación lineal bajo incertidumbre en un nivel muy elemental. Los ejemplos incluyen un modelo de planificación de la producción. Sen y Higle resaltan los enormes requerimientos de información que bajo determinadas circunstancias dificultan la captura de la aleatoriedad a través de un árbol de escenarios.

Karabuk y Wu (1999) formulan un programa estocástico para resolver el problema de la planificación agregada de un importante fabricante de semiconductores. En este caso, la planificación de la capacidad debe considerar dos puntos de vista distintos, uno relativo al producto, y el otro, desde un punto de vista del proceso. Lo más novedoso de este modelo es que estudia el efecto de la descentralización en un entorno de toma de decisiones estocástico.

Koutsoukis y Domínguez (2000) desarrollan un prototipo de sistema de ayuda para la toma de decisiones de planificación en la cadena de suministro. El sistema tiene un motor de decisión que utiliza un programa estocástico de dos etapas. El sistema ha sido usado para la toma de decisiones en entornos de fabricación tan diversos como, la fabricación y montaje de automóviles y la fabricación de productos de consumo.

Lario y otros (2001) describen el proceso de generación y análisis de escenarios como herramienta para la gestión de la cadena de suministro con incertidumbre en

el ámbito de la fabricación, montaje, distribución y servicio en el sector de fabricación y montaje de vehículos.

Valente, Mitra y otros (2001) identifican la necesidad creciente de desarrollar sistemas que soporten la formulación e investigación de problemas de PE y presentan el sistema SPInE. Diferentes investigadores han reportado el desarrollo de sistemas para la PE. Estos se encuentran en diferentes etapas de finalización y uso:

Teoría de los conjuntos difusos (fuzzy sets)

La teoría de los conjuntos difusos hace una distinción entre aleatoriedad e imprecisión. Bellman y Zadeh (1970) presentan la forma de aplicar la teoría de conjuntos difusos a la toma de decisiones con incertidumbre. Los autores cuestionan el uso del enfoque probabilista ya que, según ellos, la imprecisión que normalmente se encuentra en muchas situaciones no es lo mismo que aleatoriedad.

Según Petrovic (2001), la incertidumbre existente en algunos parámetros necesarios para la gestión de la cadena de suministro ha sido tratada principalmente como procesos estocásticos y descrita por distribuciones de probabilidad. Una distribución de probabilidad se deriva usualmente de evidencias registradas en el pasado. Lo que requiere que las evidencias registradas sean completas e imparciales, además, el mecanismo estocástico que generó los datos registrados debe continuar en vigor y sin cambios. Sin embargo, existen situaciones donde todos estos requerimientos no se satisfacen y, por lo tanto, los métodos probabilísticos convencionales no son apropiados. En estas situaciones, la incertidumbre de los parámetros puede ser especificada basándose en la experiencia y juicios subjetivos. Para expresar estas descripciones aproximadas, los conjuntos difusos (Zimmermann, 1996) son muy útiles por su simplicidad conceptual y computacional.

Rinks (1981) detecta un vacío entre la teoría de la planificación agregada y la práctica y desarrolla algoritmos *fuzzy* para planificación agregada. La robustez del

modelo *fuzzy* de planificación agregada bajo estructuras de costes variables es examinada en Rinks (1982a).

Un conjunto detallado de reglas para la mano de obra y ratios de producción se encuentran en Rinks (1982b). Turksen (1988a, 1988b) modifica el modelo de Rinks obteniendo resultados robustos. Ward y otros (1992) desarrollan un programa en el lenguaje C basado sobre el modelo de planificación agregada de Rinks. Gen y otros (1992) presentan un modelo *fuzzy* de planificación agregada de múltiples objetivos.

Guiffrida y Nagi (1998) realizan un estudio extensivo sobre la aplicación de la teoría de conjuntos difusos en el área de la gestión de la producción. Guiffrida y Nagi describen la investigación sobre *fuzzy sets* que ha sido publicada a lo largo de los últimos 15 años en las áreas de programación de proyectos, distribución en planta y previsión. Los autores muestran el gran crecimiento experimentado en los últimos años en la aplicación de *fuzzy sets* en las áreas de gestión de la calidad, previsión y secuenciación. Sin embargo, resaltan que existe mínima investigación en lo referente a la planificación de la producción agregada.

Petrovic y otros (1998) describen la modelación y simulación mediante conjuntos difusos de una cadena de suministro en serie en un entorno de incertidumbre. El objetivo es determinar los niveles de stock y cantidades a ordenar durante un horizonte de tiempo finito, para un nivel de servicio aceptable y a un coste razonable. Posteriormente, Petrovic (2001) presenta una herramienta de simulación, SCSIM, desarrollada para analizar el comportamiento y funcionamiento de la cadena de suministro en presencia de incertidumbre utilizando conjuntos difusos. Los conjuntos difusos se utilizan para describir las imprecisiones de la información, pero cuando el problema progresa con la adquisición de datos reales, se pueden empezar a modelar estos valores con distribuciones de probabilidad y frecuencias relativas. De esta forma, la demanda de los clientes, el nivel de desempeño del proveedor externo, y los tiempos de

ciclo de producción se convierten en variables *fuzzy*, que son asociadas con distribuciones de probabilidad de una forma similar a las variables aleatorias.

Programación Dinámica (PD).

La PD es un enfoque para la modelación, análisis y resolución de problemas de decisión dinámicos tanto en entornos deterministas como estocásticos. La principal diferencia entre programación dinámica y estocástica está en la estructura utilizada para formular ambos modelos. En PD los conceptos de “estado del proceso” y “función valor” juegan un rol central, mientras que estos conceptos no son utilizados en programación estocástica (Kleywegt y Shapiro, 2000).

Garcia y Smith (2000) muestran la existencia de *forecast horizons* (Bès y Sethi, 1987) en el contexto de problemas de optimización dinámica para la planificación de la producción bajo demanda estocástica. La idea es que existen horizontes de planificación suficientemente amplios que aseguran la armonía de las decisiones de producción óptimas del primer período sin hacer caso a cambios en la demanda futura.

Hong y Shang (2001) desarrollan un modelo para la planificación y programación dinámica de la producción en un entorno de fabricación de hierro y acero. El modelo de optimización propuesto está basado sobre el concepto de entradas-salidas de Leontif (1966). El modelo desarrollado es apropiado para gestionar redes de cadenas de suministro descentralizadas o centralizadas, aunque los beneficios del modelo se aprecian mejor cuando los miembros de la red de fabricación juegan el rol de proveedor y consumidor simultáneamente.

Modelos de simulación

Los modelos de simulación aunque pueden representar una gran variedad de problemas, no pueden ser usados efectivamente para optimizar un problema dado, sino más bien para evaluar una medida de desempeño.

Thompson y Davis (1990) y Thompson, Watanabe, y Davis (1993) presentan un enfoque integrado para considerar la incertidumbre en la planificación de la producción agregada. Formulan un modelo de programación lineal y la incertidumbre es incorporada utilizando el modelo de simulación de Monte Carlo. Gravel y otros (1994) desarrollan un sistema de apoyo a la gestión para la planificación de la producción que utiliza una base de conocimiento obtenida de simulaciones del sistema de producción bajo condiciones que se varían de forma sistemática. Albritton y otros (1999) presentan un modelo de planificación de la producción con incertidumbre en la demanda con dos variantes del muestreo de Monte Carlo y que denominan Optimización basada en Simulación.

Otros modelos y métodos

Zapfel (1996) propone un modelo jerárquico que puede ser incorporado a un MRP II para programar la producción con incertidumbre en la demanda. Para entornos de fabricación bajo pedido caracterizados por requerimientos únicos de productos muy complejos y tiempos de ciclos de producción largos e inciertos (armamento, aeronáutica, etc.), Hatchuel y otros (1997) muestran un nuevo enfoque denominado Enfoque de Anticipación Dinámica basado sobre una descomposición de dos etapas, la planificación y la secuenciación. La etapa de planificación utiliza un enfoque combinado MRP/PERT y la secuenciación es llevada a cabo utilizando una regla dinámica de prioridad.

Wu y Meixell (1998) analizan el comportamiento de la demanda en la gestión de la cadena de suministro de dos compañías, una del sector del automóvil y la otra del sector de la electrónica. En ambos entornos, la demanda se comunica a lo largo de la cadena de suministro a través de programas de producción enviados electrónicamente a los proveedores inmediatos, los cuales sufren frecuentes cambios. Wu y Meixell definen tres tipos posibles de amplificación de la demanda. Los resultados analíticos fueron testeados utilizando experimentos Monte Carlo.

Giebels y otros (1998) desarrollan un nuevo concepto de control para entornos de fabricación o ingeniería bajo pedido que culmina con la creación del EtoPlan (*Engineer-To-order Planning*) (Giebels, 2000). EtoPlan persigue la integración de las tareas de la planificación del proceso y la planificación de la producción. Un paso importante para lograrlo es la incorporación de la incertidumbre en la información que es comunicada entre varios planificadores en los niveles de planificación agregada. Los parámetros inciertos se modelan mediante distribuciones de probabilidad.

Donselaar y otros (2000) investigan cómo la información de la demanda utilizada influye en la estabilidad de la planificación de la cadena de suministro. Para este propósito, configuran un experimento de simulación utilizando información de un fabricante de camiones. El objetivo de la simulación es determinar el funcionamiento de los sistemas MRP y LRP (*Line Requirements Planning*) (Donselaar, 1992) medido por el nivel de servicio, niveles de inventario y “el nerviosismo” de la planificación. Una planificación “nerviosa” se refiere a un plan que sufre importantes variaciones al incorporar los cambios entre lo previsto y lo observado en sucesivas planificaciones (Sridharan y otros, 1987). Kadipasaoglu y Sridharan (1995) afirman que el “nerviosismo” causado por la incertidumbre de la demanda, suministro o por los tamaños de lotes dinámicos, puede ser un obstáculo para la ejecución efectiva de los sistemas MRP. Estos autores estudian el efecto que tiene congelar el Programa Maestro de Producción o MPS (*Master Production Scheduling*) en el contexto de una planificación con horizonte rodante.

Modarres y otros (2000) proponen la Planificación de la Producción Controlada como un medio por el que los métodos *Just in Time* y el Control Estadístico del Proceso pueden ser aplicados conjuntamente para proveedores de corta ejecución, es decir, que producen bajos volúmenes de productos diversificados, en un entorno de incertidumbre de la demanda.

CAPITULO 4

4. Propuesta Metodológica

El modelo de Planeación Agregada propuesto, incorpora las decisiones de planeación financiera con las decisiones de planeación de la producción.

Basados en el documento³⁷ del profesor Pablo Cesar Manyoma en el cual plantea la integración de las opciones reales con la flexibilidad en manufactura, y el documento A Stochastic Linear Programming Approach to Hierarchical Production Planning³⁸ en el cual permiten la variabilidad en la demanda por cada producto en cada uno de sus periodos, Lo que se busca con el modelo es ver la factibilidad de incluir un nuevo producto (A) a la familia, con las condiciones ahí planteadas y poder medir la flexibilidad de este cambio, analizando cada una de las variables donde este nuevo producto afecta y así lograr valorar la productividad del plan agregado PA a través de la flexibilidad que adopte el modelo con respecto a la inclusión o no del nuevo producto A.

Para medir la flexibilidad se han planteado los dos elementos uno donde solo se pueden producir productos de la familia y otro donde se pueden producir productos de la familia y de igual forma la realización del nuevo producto A, este segundo escenario tiene un costo asociado por el cambio generado al momento de cambiar de un producto de la familia al nuevo producto A.

Para la elaboración de los productos ya existentes en la familia se cuenta con tres (3) centros de trabajos en los cuales una máquinas por centro realiza las tareas necesarias para la realización de los productos, estas equipos están diseñados exclusivamente para la ejecución de los productos ya establecidos, el nuevo producto A necesita la inclusión de una nueva tarea para poder ser elaborado, para cumplir con esto se comprara una nueva máquina que pueda realizar dos tipos de tareas, elaborando productos de la familia y también el nuevo producto A.

³⁷ DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN MULTIATRIBUTO PARA EL ANÁLISIS DE DECISIONES DE FLEXIBILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

³⁸ D. Kira; M. Kusy; I. Rakita

Para la incorporación del nuevo producto se tendrá una demanda conocida en cada uno de los periodos, se incorporaran variables cómo inventario del nuevo producto (IA), Ventas perdidas (ZA), unidades a subcontratar YA, Horas regulares RA, tiempo extra OA, pedidos pendientes BA, demanda del producto DA, unidades producidas del producto XA, total de unidades producidas SA.

Teniendo presente que la flexibilidad que se valoro fue flexibilidad en producto, flexibilidad laboral, flexibilidad en volumen y fundamentándonos en el trabajo realizado por el profesor Pablo Cesar Manyoma, DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN MULTIATRIBUTO PARA EL ANÁLISIS DE DECISIONES DE FLEXIBILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN vimos que una de las posibilidades de representar la flexibilidad a través de indicadores financieros es alrededor de esta función

$$VPN_{Flex} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W \sum_{n=1}^T \left[\frac{((m_{cu_i} * q_i) + \max[(m_{cu_i} * q_i - m_{cu_j} * q_j - st_{ij}); 0]) - CF}{(1 + r)^n} \right] - I$$

V = Valor de la máquina correspondiente en función de su MCU.

MCU = Margen de Contribución Unitaria que refleja la diferencia entre el precio de venta unitario y el costo de venta unitario del producto demandado.

Q = Cantidad producida del producto demandado.

CF = Cotos fijos de la máquina respectiva.

I = Inversión inicial a realizar en la máquina respectiva.

T = Número de semanas de producción del producto demandado.

r = Tasa de descuento

Donde

- Representa el margen que cada producto (de un elemento rígido) puede generar en el tiempo.

$$VPN_{Flex} = \sum_{i=1}^M \sum_{n=1}^T \left[\frac{(m_{cu_i} * q_i)}{(1 + r)^n} \right]$$

- Representa el margen en el tiempo obtenido por el cambio de producto i a j.

$$VPN_{Flex} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W \sum_{n=1}^T \left[\frac{\max [(mci_i * q_i - mci_j * q_j - st_{ij}); 0]}{(1+r)^n} \right]$$

- Representa el costo fijo en el momento que se presente la opción.

$$VPN_{Flex} = \sum_{n=1}^T \left[\frac{CF}{(1+r)^n} \right]$$

A continuación se describen los elementos productivos y financieros incluidos en el desarrollo de la propuesta.

4.1 Elementos productivos

A nivel productivo, se consideran las variables y restricciones que describen los ambientes de fabricación en este tipo de planes de producción, y que fueron detalladas en el Capítulo 2.

En cuanto a los costos directos, éstos están asociados a las variables productivas, e incluyen: los costos por compra de materia prima, por subcontratación de unidades, por mantener inventario, por contratar y despedir empleados, por horas extra, órdenes pendientes y ventas perdidas. Adicionalmente.

4.2 Elementos financieros

A nivel financiero, se incluyen decisiones asociadas a la administración del capital de trabajo. También se incluyen las entradas y salidas de dinero en el marco de un flujo de caja modificado.

4.2.1 Ingresos

Los ingresos percibidos son generados por el volumen de ventas³⁹, el cual está asociado por las unidades vendidas de la familia y las del producto A.

4.2.2 Ventas

Las ventas son tratadas como variables de decisión, que pueden variar dentro de dos rangos: el pesimista y el optimista, donde son ventas en el periodo t y un parámetro de volumen de ventas promedio.

4.2.3 Precios

Se determinaron dos diferentes precios uno por cada unidad de familia y el otro por cada unidad del producto A.

4.2.4 Flujo de caja modificado.

El modelo incorpora variables y restricciones asociadas al flujo de caja, el cual está definido como el saldo de las entradas y las salidas de dinero.

Las entradas de dinero incluyen los ingresos por la operación del negocio, mientras que las salidas de dinero incluyen los costos directos de operación.

En el flujo de caja modificado se considera que las inversiones de dinero realizadas en un periodo deben estar disponibles en el periodo siguiente y que los préstamos realizados en un periodo deben ser pagados en el periodo siguiente. Las inversiones y los préstamos en un periodo son excluyentes. Adicionalmente, se incorpora un colchón de efectivo el cual debe mantenerse en caja aunque haya un requerimiento de préstamo o inversión.

³⁹ Incluye órdenes pendientes.

4.3 Formulación del modelo de planeación agregada con consideraciones financieras.

4.3.1 Supuestos

- La demanda de la familia es conocida
- La demanda del producto nuevo en cada uno de los periodos es conocida,.
- Una sola familia de productos.
- No se consideran los gastos administrativos, ni el pago de impuestos.
- Los costos de inventario y aquellos que no son un flujo real se manejan como penalización en el modelo.

4.3.2 Notación y Definición

GENERALES

I: Índice de periodos $i = 1 \dots n$.

J: Índice de periodos para la demanda del producto A

N: Números de periodos.

DA_{ij} : Pronostico de demanda del producto A

D_i Pronóstico de demanda.

PO_j : Probabilidad de la demanda del producto

T: Capacidad requerida por unidad de familia

TA: Capacidad requerida por unidad del producto A

MW: Cantidad de tiempo regular proporcionada por empleado o recurso.

MO: Capacidad en tiempo extra proporcionada por empleado o recurso

PV_i : Precio por unidad de familia

PVA_{ij} : Precio por unidad del producto A

II: Inversión inicial en máquina para el producto A

IEA_i Ingresos totales.

$VAPOS_i$ Valores positivos.

$VANG_i$ Valores negativos

RESTRICTIVOS

WM_i : Máximo nivel de empleados o recursos permitidos.

SS_i : Inventario de seguridad de la familia.

SSA_i : Inventario de seguridad del producto A

MI_i : Inventario final máximo para familia.

MIA_i : Inventario final máximo para el producto A

MB_i : Máximo de pedidos atrasados.

MS_i : Máximo de subcontratación.

ML_i : Máximo de ventas perdidas.

MU_i : Máximo de horas ocio.

COSTOS

CS_i : Costo unitario de subcontratación

CSA_i : Costo unitario de subcontratación del producto A

CL_i : Costo unitario de ventas perdidas

CLA_i : Costo unitario de ventas perdidas del producto A

CI_i : Costo unitario de mantener inventario

CIA_i : Costo unitario de mantener inventario del producto A

CB_i : Costo unitario de un pedido atrasado

CBA_i : Costo unitario de un pedido atrasado del producto A

CH_i : Costo unitario de contratación

CW_i : Costo unitario de despedir

CR_i : Costo unitario del tiempo regular

CU_i : Costo unitario del tiempo ocioso

CO_i : Costo unitario del tiempo extra

COA_i : Costo unitario del tiempo extra del producto A

CP_i : Costo de producir

CPA_i : Costo de producir el producto A

CF : Costo fijos

STA : Costo de incluir un nuevo producto A

CTP_i : Costo total.

$CPROD_i$: Costo de producir.

$CPINV_i$ Costo de mantener inventario.
 $CVMO_i$ Costo de la variación de la mano de obra.
 $CHMO_i$ Costo de las horas de mano de obra.
 $CTVA_i$ Costo total del producto A.
 VT_i Costo de la opción.
 $CPRODA_i$ Costo de producir del producto A
 $CPINVA_i$ Costo de mantener inventario del producto A.
 $CHMOA_i$ Costo de las horas de mano de obra del producto A.

VARIABLES DE DECISIÓN

S_i : Total unidades producidas.
 SA_{ij} : Total unidades producidas del producto A.
 X_i : Unidades producidas.
 XA_i : Unidades producidas del producto A.
 Y_i : Unidades subcontratadas.
 YA_i : Unidades subcontratadas del producto A.
 Z_i : Unidades de venta a perder familia.
 ZA_{ij} : Unidades de venta a perder del producto A
 I_i : Inventario.
 IA_{ij} : Inventario del producto A
 B_i : Pedidos pendientes.
 BA_{ij} : Pedidos pendientes del producto A
 H_i : Empleados a contratar.
 F_i : Empleados a despedir
 R_i : Tiempo regular empleado.
 RA_i : Tiempo regular empleado del producto A
 U_i : Tiempo ocio.
 O_i : Tiempo extra
 OA_i : Tiempo extra del producto A.
 W_i : Nivel de empleados.
 K : Tasa de costo de capital.

4.4 Descripción del modelo

Función Objetivo MAX Z

$$\text{Max } z = \text{VPNP} + \text{VPFLEX}$$

El propósito de la función objetivo es maximizar los valores presentes neto flexible el que genera la familia actual y no flexible el cual dado que se presenta incluye el nuevo producto. A continuación se brindará un análisis en detalle.

Restricciones

1. Definición de costos de producción

$$\text{CPROD}_i = \text{CP}_i * X_i + \text{CS}_i * Y_i \quad \forall i \in T$$

Determina los costos asociados a la producción en la familia, están relacionadas las cantidades producidas, por los costos de materia prima. De igual forma se brinda la opción de la subcontratación el costo y la cantidad de unidades subcontratadas.

2. Definición de costos asociados a los inventarios

$$\text{CPINV}_i = \text{CL}_i * Z_i + \text{CI}_i * I_i + \text{CB}_i * B_i \quad \forall i \in T$$

Determina los costos asociados a los inventarios en la familia, se mide el nivel de ventas perdidas, de igual forma el costo de mantener inventario.

3. Definición de costos asociados a la variación de mano de obra.

$$\text{CVMO}_i = \text{CH}_i * H_i + \text{CW}_i * W_i \quad \forall i \in T$$

Determina los costos asociados a la variación de la mano de obra en la familia, se tendrá en cuenta las variaciones que se tienen durante el proceso de producción, si el modelo decide producir con el nivel de empleados establecido o si decide contratar nuevo operarios.

4. Definición de costos asociados a las horas de mano de obra.

$$\text{CHMO}_i = \text{CR}_i * R_i + \text{CO}_i * O_i \quad \forall i \in T$$

Determina los costos asociados a las horas de mano obra en la familia, se trae a consideración las posibles variables para cumplir con la demanda, si es necesario ampliar el tiempo regular he incurrir con horas extras.

5. Definición de los costos totales del plan agregado

$$CTP_i = CPROD_i + CPINV_i + CVMO_i + CHMO_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción es para determinar los costos totales del plan agregado por familia, en el cual se tienen en cuenta los costos de producción, los costos de mantener inventario, los costos de mano de obra.

6. Definición del valor presente neto del plan agregado.

$$VPNP = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(S_i * PV - CTP_i)}{(1+K)^i} \right)$$

Calcula el valor presente neto no flexible para la familia, es decir mide el nivel de producción sin incluir el nuevo producto. El cual nos permite evidenciar cuando el modelo prefiere no incluir el nuevo producto.

7. Definición de costos de producción

$$CPRODA_i = CPA_i * XA_i + CSA_i * YA_i \quad \forall i \in T$$

Explica los costos de producción del producto A, están relacionadas las cantidades producidas, por los costos de materia prima. De igual forma se brinda la opción de la subcontratación el costo y la cantidad de unidades subcontratadas.

8. Definición de costos asociados a los inventarios del producto A

$$CPINVA_i = \sum_j^J [CIA_i * ZA_{ij} + CIA_i * IA_{ij} + CBA_i * BA_{ij}] * PO_j \quad \forall i \in T$$

Explica los costos de inventarios del producto A, se mide el nivel de ventas perdidas de este nuevo producto, además se agrega el costo de las unidades que están pendientes, de igual forma el costo de mantener inventario.

9. Definición de costos asociados a las horas de mano de obra.

$$CHMOA_i = CR_i * RA_i + COA_i * OA_i \quad \forall i \in T$$

Explica los costos asociados a las horas hombre del producto A, el tiempo que se incurre durante la fabricación de este, teniendo la alternativa de utilizar el tiempo regular y la opción de generar horas extras si lo desea.

10. Definición de los costos totales del producto A

$$CTVA_i = CPRODA_i + CPINVA_i + CHMOA_i \quad \forall i \in T$$

Determina todos los costos asociados al nuevo producto A, los costos en los cuales el modelo tomo valores para generar este nuevo producto.

11. Definición del valor de la opción

$$VT_i = MAX(IEA_i - CTVA_i - STA; 0) \quad \forall i \in T$$

Explica el valor de la opción, cuando este toma valores positivos está haciendo uso de la opción.

12. Definición del valor de la opción

$$VT_i = VAPOS_i \quad \forall i \in T$$

Explica el valor de la opción para agregarla a lingo. Debido que cuando se determina el valor de la opción como el máximo se vuelve una variable libre.

13. Definición del valor de la opción

$$VAPOS_i - VANG_i = IEA_i - CTVA_i - STA \quad \forall i \in T$$

14. Definición del valor de la opción en forma binomial.

$$VAPOS_i \leq M * G_i \quad \forall i \in T$$

$$VANG_i \leq M * (1 - G_i) \quad \forall i \in T$$

15. Definición de los ingresos totales

$$IEA_i = \sum_j^J SA_{ij} * PO_j * PVA_i \quad \forall i \in T$$

Explica los ingresos totales para el producto A, para cada uno de sus periodos, donde se tienen en consideración las unidades producidas de este nuevo producto en el periodo que el modelo decida incorporarlo.

16. Definición del valor presente neto flexible

$$VPFLEX = \left(\left(\sum_{i=1}^n \frac{VT_i}{(1+K)^i} \right) - CF - II \right)$$

Explica el valor presente neto flexible para el producto A, el cual evaluará las veces donde decide producir unidades del nuevo producto, se tienen en cuenta los costos fijos y la inversión hacer por el nuevo producto.

17. Restricción de producción total.

$$X_i + Y_i + I_{i-1} - I_i = S_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción calcula la producción total de la familia.

18. Restricción de balance

$$S_i + Z_i + B_i - B_{i-1} = D_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción está definida para los valores que se deben tomar para cumplir con la demanda.

19. Restricción de producción del producto A

$$XA_i + YA_i + IA_{i-1j} - IA_{ij} = SA_{ij} \quad \forall i \in T, j \in J$$

Explica la producción asociada al producto A.

20. Restricción de balance del producto A

$$SA_{ij} + ZA_{ij} + BA_{ij} - BA_{i-1j} = DA_{ij} * G_i \quad \forall i \in T, j \in J$$

Explica el balance del producto A, multiplicado por la binaria G, que toma valor cada vez que se aplique el valor de la opción.

21. Restricción del tiempo de producción

$$t * X_i \leq R_i + O_i \quad \forall i \in T$$

Explica la restricción de tiempo de producción para la familia.

22. Restricción del tiempo de producción del producto A

$$t_a * XA_i \leq RA_i + OA_i \quad \forall i \in T$$

Explica la restricción de tiempo de producción para el producto A.

23. Balance de tiempo

$$R_i + RA_i + U_i = MW_i * W_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción garantiza el balance, en la cual están asociadas el tiempo regular de la familia y del producto A.

24. Balance de MO

$$W_{i-1} + H_i - F_i = W_i \quad \forall i \in T$$

Garantiza el balance de la mano de obra para todo el modelo.

25. Balance de tiempo extra

$$O_i + OA_i \leq MO_i * W_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción garantiza que no se supere el tiempo máximo

26. Balance de inventarios

$$SS_i \leq I_i \leq MI_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción garantiza que no se supere el nivel de inventario máximo

27. Balance de inventarios del producto A

$$SSA_i \leq IA_{ij} \leq MIA_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción garantiza que no se supere el nivel de inventario máximo para el producto A.

28. Límite de pedidos pendientes

$$BA_{ij} + B_i \leq MB_i \quad \forall i \in T, j \in J$$

Esta restricción garantiza que no se supere el máximo de los pedidos pendientes

29. Límite de subcontratación

$$Y_i + YA_i \leq MS_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción garantiza que no se supere el máximo de las subcontrataciones.

30. Límite de ventas perdidas

$$Z_i + ZA_{ij} \leq ML_i \quad \forall j \in J \quad \forall i \in T,$$

Esta restricción garantiza que no se supere el máximo de las ventas perdidas.

31. Límite de trabajadores

$$W_i \leq WM_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción garantiza que no se supere el máximo de trabajadores permitidos.

32. Límite de horas de ocio.

$$U_i \leq MU_i \quad \forall i \in T$$

Esta restricción garantiza que no se supere el máximo de trabajadores permitidos.

Formulación matemática

Función Objetivo MAX Z

$$\text{Max } z = VPNP + VPFLEX$$

Restricciones

$$CPROD_i = CP_i * X_i + CS_i * Y_i \quad \forall i \in T$$

$$CPINV_i = CL_i * Z_i + CI_i * I_i + CB_i * B_i \quad \forall i \in T$$

$$CVMO_i = CH_i * H_i + CW_i * W_i \quad \forall i \in T$$

$$CHMO_i = CR_i * R_i + CO_i * O_i \quad \forall i \in T$$

$$CTP_i = CPROD_i + CPINV_i + CVMO_i + CHMO_i \quad \forall i \in T$$

$$VPNP = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(S_i * PV_i - CTP_i)}{(1+K)^i} \right)$$

$$CPRODA_i = CPA_i * XA_i + CSA_i * YA_i \quad \forall i \in T$$

$$CPINVA_i = \sum_j^J [CIA_i * ZA_{ij} + CIA_i * IA_{ij} + CBA_i * BA_{ij}] * PO_j \quad \forall i \in T$$

$$CHMOA_i = CR_i * RA_i + COA_i * OA_i \quad \forall i \in T$$

$$CTVA_i = CPRODA_i + CPINVA_i + CHMOA_i \quad \forall i \in T$$

$$VT_i = \text{MAX}(IEA_i - CTVA_i - STA; 0) \quad \forall i \in T$$

$$VT_i = VAPOS_i \quad \forall i \in T$$

$$VAPOS_i - VANG_i = IEA_i - CTVA_i - STA \quad \forall i \in T$$

$$VAPOS_i \leq M * G_i \quad \forall i \in T$$

$$VANG_i \leq M * (1 - G_i) \quad \forall i \in T$$

$$IEA_i = \sum_j^J SA_{ij} * PO_j * PVA \quad \forall i \in T$$

$$VPFLEX = \left(\left(\sum_{i=1}^n \frac{VT_i}{(1+K)^i} \right) - CF - II \right)$$

$$X_i + Y_i + I_{i-1} - I_i = S_i \quad \forall i \in T$$

$$S_i + Z_i + B_i = B_{i-1} + D_i \quad \forall i \in T$$

$$XA_i + YA_i + IA_{i-1j} - IA_{ij} = SA_{ij} \quad \forall i \in T, j \in J$$

$$SA_{ij} + ZA_{ij} + BA_{ij} - BA_{i-1j} = DA_{ij} * G_i \quad \forall i \in T, j \in J$$

$$T * X_i \leq R_i + O_i \quad \forall i \in T$$

$$TA * XA_i \leq RA_i + OA_i \quad \forall i \in T$$

$$R_i + RA_i + U_i = MW_i * W_i \quad \forall i \in T$$

$$W_{i-1} + H_i - F_i = W_i \quad \forall i \in T$$

$$O_i + OA_i \leq MO_i * W_i \quad \forall i \in T$$

$$SS_i \leq I_i \leq MI_i \quad \forall i \in T$$

$$SSA_i \leq IA_{ij} \leq MIA_i \quad \forall i \in T$$

$$BA_{ij} + B_i \leq MB_i \quad \forall i \in T, j \in J$$

$$Y_i + YA_i \leq MS_i \quad \forall i \in T$$

$$Z_i + ZA_{ij} \leq ML_i \quad \forall j \in J \quad \forall i \in T,$$

$$W_i \leq WM_i \quad \forall i \in T$$

$$U_i \leq MU_i \quad \forall i \in T$$

$$X_i, XA_i, S_i, SA_{ij}, Y_i, YA_i, Z_i, ZA_{ij}, I_i, IA_{ij}, B_i, BA_{ij}, H_i, F_i, R_i, RA_i, U_i, O_i, OA_i, W_i \geq 0 \quad \forall i \in T, j \in J$$

4.5 CASO ESTUDIO

4.5.1 OBJETIVO

El objetivo de este caso estudio es validar el modelo propuesto en el proyecto.

4.5.2 DATOS

Para la realización de este caso se maneja un horizonte temporal de 12 meses y se trabaja bajo los siguientes supuestos:

1. Días laborados al mes: 26 días.
2. Horas laboradas al día: 8 horas.
3. Máximo de horas extras al día: 2 horas.
4. Lead time de materias primas: 1 mes.
5. Se brindara al modelo la opción de incluir un nuevo producto con el cual se pueda medir la flexibilidad del plan ya establecido para la familia.

Debido a que los parámetros que considera este modelo permanecen constantes a lo largo del periodo de planificación, las tablas presentadas en este capítulo muestran un solo valor.

4.5.3 Parámetros Generales

En la Tabla se establecen los valores para los parámetros generales del caso estudio.

Tabla 2. Parámetros Generales

PARÁMETROS GENERALES		VALOR
t:	CAPACIDAD REQUERIDA POR UNIDAD DE FAMILIA	92%
ta:	CAPACIDAD REQUERIDA POR UNIDAD DEL PRODUCTO A	80%
PA _i :	PRECIO POR UNIDAD DE FAMILIA	\$ 24.000
PVA _i :	PRECIO POR UNIDAD DEL PRODUCTO A	\$ 30.000
M	NÚMERO MUY GRANDE	10.000.000
k	COSTO DE CAPITAL	8%
II	INVERSION EN MÁQUINA NUEVA	\$ 600.000

4.5.4 Parámetros de Costos

En la tabla 4 se aprecian los costos asociados con el caso de estudio.

Tabla 3 Costos

PARÁMETROS DE COSTOS		VALOR
CS_i	COSTO UNITARIO DE SUBCONTRATACIÓN	\$ 25.000
CSA_i	COSTO UNITARIO DE SUBCONTRATACIÓN DEL PRODUCTO A	\$ 10.000
CL_i	COSTO UNITARIO DE VENTAS PERDIDAS	\$ 14.000
CLA_i	COSTO UNITARIO DE VENTAS PERDIDAS DEL PRODUCTO A	\$ 6.000
CI_i	COSTO UNITARIO DE MANTENER INVENTARIO	\$ 4.200
CIA_i	COSTO UNITARIO DE MANTENER INVENTARIO DEL PRODUCTO A	\$ 2.000
CB_i	COSTO UNITARIO DE UN PEDIDO ATRASADO	\$ 13.500
CBA_i	COSTO UNITARIO DE UN PEDIDO ATRASADO DEL PRODUCTO A	\$ 7.000
CH_i	COSTO UNITARIO DE CONTRATACIÓN	\$ 45.000
CW_i	COSTO UNITARIO DE DESPEDIR	\$ 60.000
CR_i	COSTO UNITARIO DEL TIEMPO REGULAR	\$ 1.800
CU_i	COSTO UNITARIO DEL TIEMPO OCIOSO	\$ 2.070
CO_i	COSTO UNITARIO DEL TIEMPO EXTRA	\$ 2.250
COA_i	COSTO UNITARIO DEL TIEMPO EXTRA DEL PRODUCTO A	\$ 900
CP_i	COSTOS VARIOS (MATERIAS PRIMAS Y OTROS)	\$ 21.000
CPA_i	COSTOS VARIOS (MATERIAS PRIMAS Y OTROS) DEL PRODUCTO A	\$ 9.000
CF:	COSTOS FIJOS	\$ 500.000
STA	COSTO DEL CAMBIO AL PRODUCTO A	\$ 100

9.2.3 Parámetros Restrictivos

Estos parámetros hacen referencias a políticas establecidas por la empresa, en este caso corresponden a las cantidades máximas a utilizar en los siguientes ítems:

Tabla 4. Parámetros Restrictivos

PARÁMETROS RESTRICTIVOS		ENERO (Unid)
WM _i	MÁXIMO NIVEL DE EMPLEADOS O RECURSOS PERMITIDOS	300
SS _i :	INVENTARIO DE SEGURIDAD	684
SSA _i :	INVENTARIO DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO A	650
MI:	INVENTARIO FINAL MAXIMO	6.000
MIA:	INVENTARIO FINAL MÁXIMO DEL PRODUCTO A	6.000
MB _i :	PEDIDOS ATRASADOS MÁXIMOS	4.700
MS _i :	MÁXIMO DE SUBCONTRATACIÓN	24.800
ML _i :	MÁXIMO DE VENTAS PERDIDAS	2.350
MU _i	MÁXIMO DE HORAS DE OCIO.	50

9.2.4 Demanda

La demanda utilizada en el modelo es una demanda determinística con comportamiento estacional, la cual tiene picos en cada periodo.

Tabla 5. Demanda

DEMANDA DE LA FAMILA (unid)	
ENERO	16.319,00
FEBRERO	18.194,00
MARZO	16.773,00
ABRIL	16.087,00
MAYO	15.473,00
JUNIO	16.399,00

Tabla 6. Demanda producto

DEMANDA DEL PRODCUTO A		
ENERO	10.244,00	10.259,00
FEBRERO	9.926,00	9.941,00
MARZO	9.062,00	9.077,00
ABRIL	9.196,00	9.211,00
MAYO	10.025,00	10.040,00
JUNIO	9.376,00	9.391,00

10. ANÁLISIS Y RESULTADOS

10.1 IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del caso estudio se utilizó el software Lingo® Versión ,en donde se cargaron los parámetros y las restricciones establecidas en el modelo propuesto. En la formulación de este caso se generaron 45 variables y 22 restricciones, los resultados se exportaron a un archivo de Excel con el fin de comprobar el cumplimiento de las restricciones.

10.2 ANÁLISIS DE SERVICIO INICIAL

La función objetivo del caso estudio propuesto dio como resultado \$974.807.700 en el Anexo 1 se detallan los valores de las variables de decisión para cada periodo.

En la Ilustración 8 se puede observar que los requerimientos de demanda por familia son cubiertos por la producción y por la subcontratación. En cuanto al comportamiento de la cantidad órdenes pendientes, ventas perdidas y el inventario se puede notar que no son consideradas como una opción para cubrir la demanda, esto se debe a que la capacidad instalada es suficiente para cubrir las necesidades de cada periodo.

Ilustración 8 Comparación de las Variables del Caso Estudio de la familia

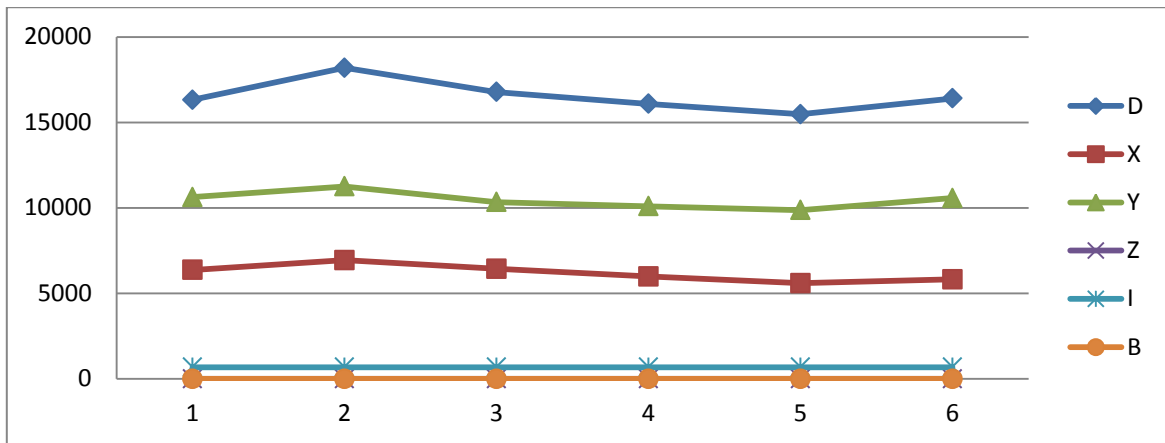
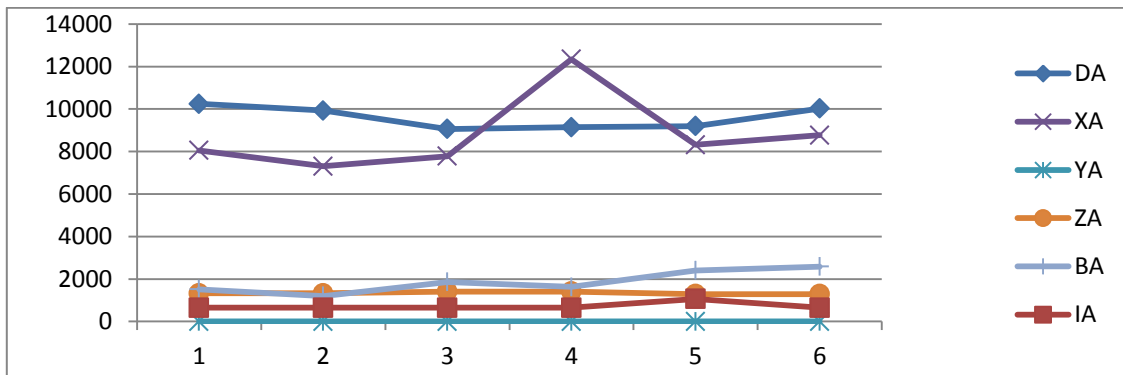


Ilustración 9 se puede observar que los requerimientos de demanda del producto A, la variable de producción cubren gran parte de la demanda, se considera tener órdenes pendientes y ventas perdidas.

Ilustración 9 Comparación de las Variables del Caso Estudio de la familia.

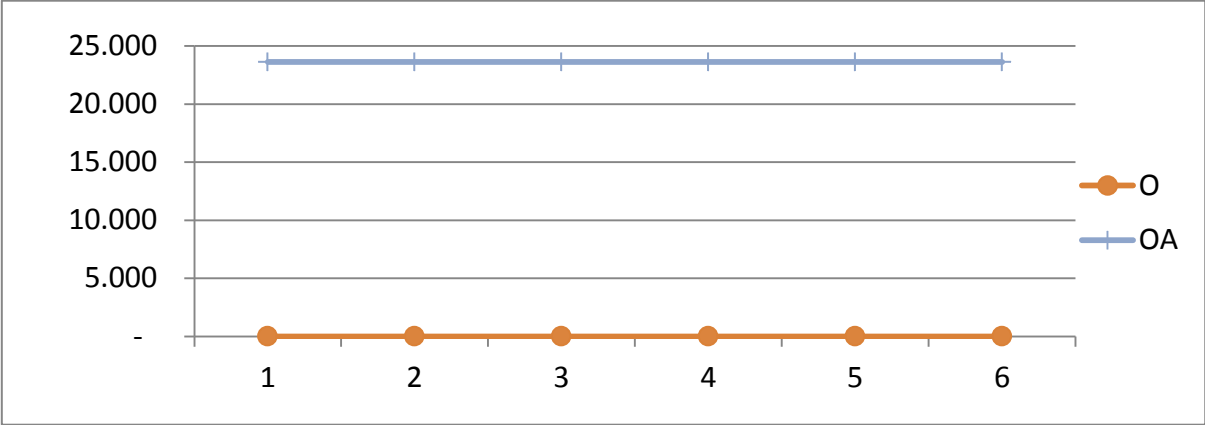


Se puede observar que para el modelo es factible utilizar en cada uno de los 6 periodos la máquina nueva y producir el producto A, el valor de la opción es positivo en cada uno de los periodos.

VT(1) 6805832	VT(2) 7350299
VT(3) 7938322	VT(4) 8573388
VT(5) 9259259	VT(6) 10000000

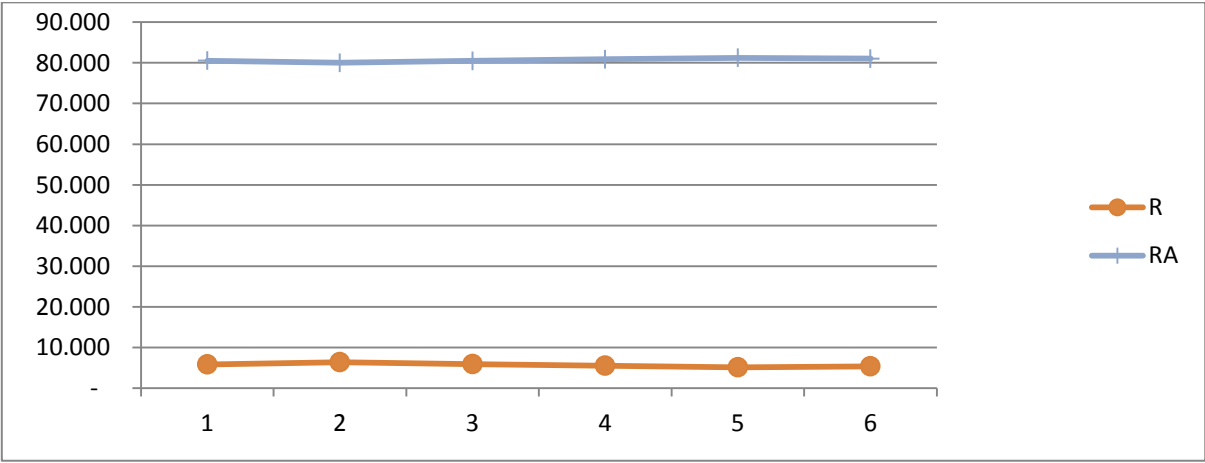
En la ilustración 10 podemos ver que las horas extras son utilizadas en mayor parte para producir unidades del nuevo producto.

Ilustración 10 Horas ex tras de familia VS horas extras del nuevo producto.



En la ilustración 11 también se puede observar que las horas regulares son utilizadas en mayor parte por nuestro nuevo producto.

Ilustración 10 Horas regulares VS horas regulares nuevo producto.



10.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para analizar la sensibilidad del modelo frente a diferentes escenarios, se tomó el caso estudio presentado y se le realizaron variaciones de 25%, 50% 125% 150%, a los parámetros más críticos, con el fin, de valorar el impacto de dichas variaciones en la función objetivo, costos y otras variables de interés.

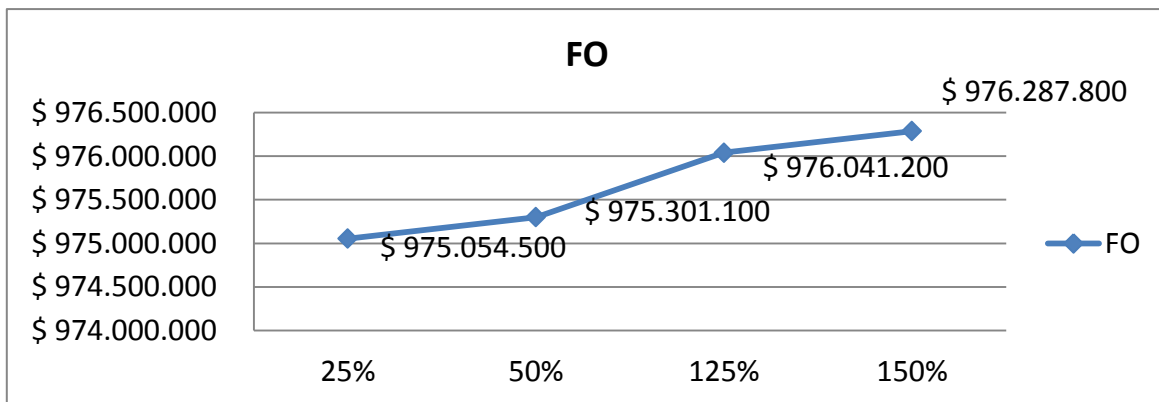
A continuación, se presenta el análisis para cada uno de los escenarios propuestos:

Caso 1: Variaciones del inventario máximo del producto A.

Para este caso, se tomó el nivel máximo de inventario el cual el modelo lo estaba utilizando para cubrir la demanda del producto A para cada uno de los periodos, se realizaron las variaciones indicadas anteriormente. Se encontró que con dichas modificaciones genera un incremento en la función objetivo (FO) tal incremento es de forma creciente en cada variación.

Para el modelo es factible mantener inventario del nuevo producto, lo cual le genera mayor utilidad en su FO, aunque el valor de la opción (VT_i) se mantiene por cada uno de los meses.

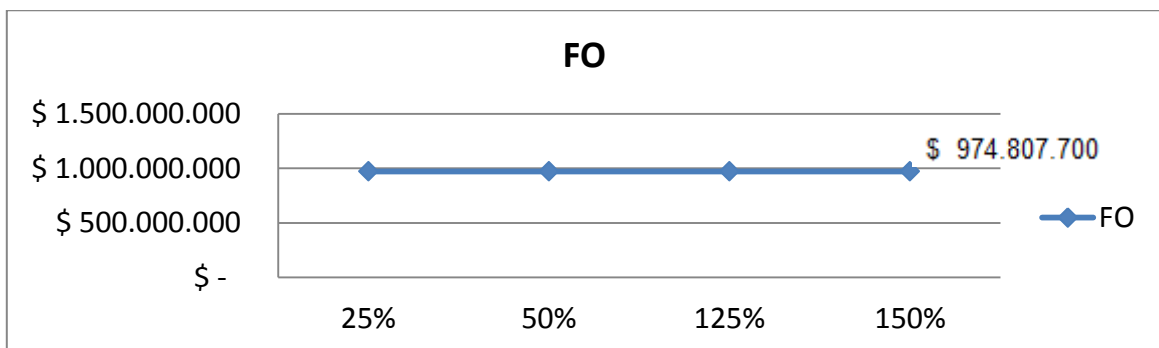
Ilustración 11 Variación del inventario del producto A.



Caso 2: Variaciones del inventario máximo de la familia.

En la ilustración 12 muestra los resultados al modificar el nivel máximo de la familia para cada uno de los periodos se encontró que con dichas modificaciones, las cuales no generan un impacto en la Función Objetivo (FO) \$974.807.700, la FO se mantienen en el valor original lo que nos indica que por más que se incremente el nivel máximo de inventario para el modelo no es factible utilizar este incremento en el inventario.

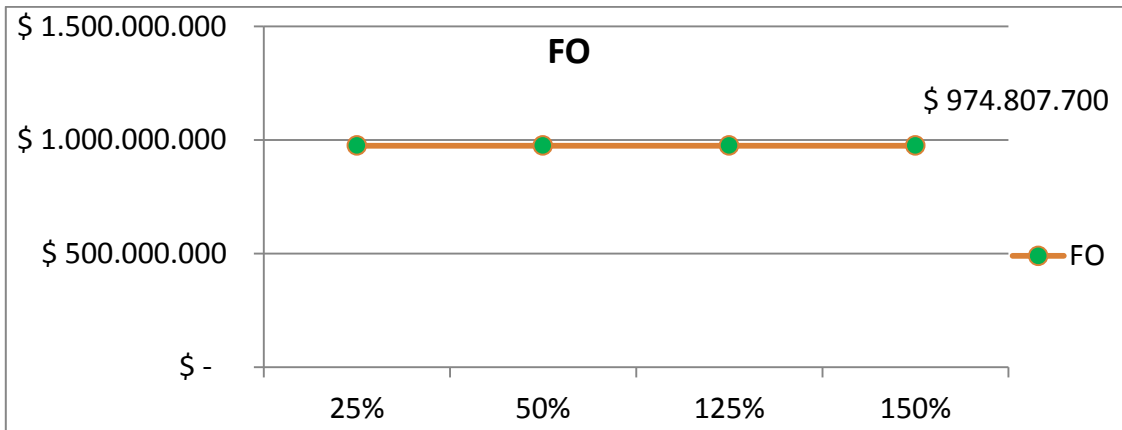
Ilustración 12 Variación de la demanda.



Caso 3: Variación del máximo de tiempo ocioso permitidas.

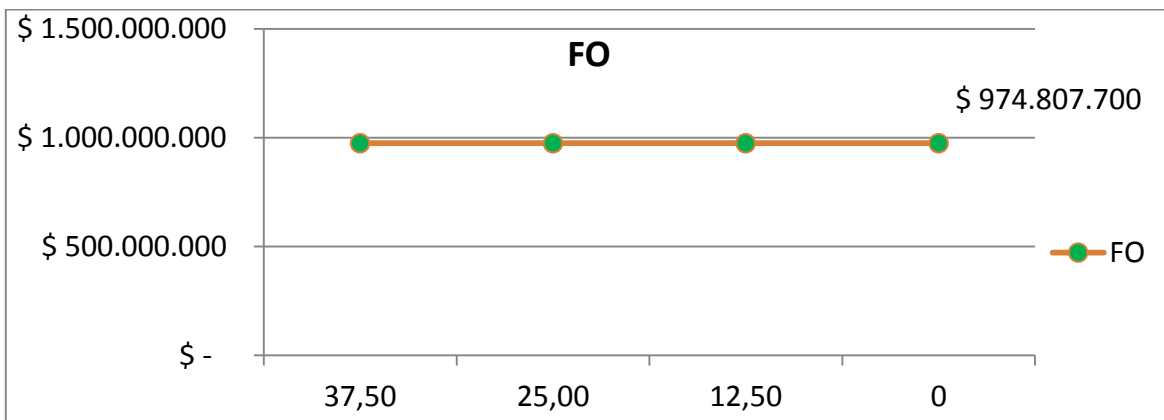
Para este caso la ilustración 13 se tomó el nivel máximo de horas de ocio, este busca tomar en cada uno de los 6 meses el nivel máximo de horas de ocio, al realizar las variaciones de la FO muestra que no presenta variación alguna en cada uno de los porcentajes.

Ilustración 13 Variación en el tiempo ocioso.



Dado que las variables planteadas con las horas de ocio muestra este incremento analizaremos el comportamiento del modelo cuando este nivel máximo se aproxima a cero (0), es igual al original, no presenta variación alguna.

Ilustración 14 Variación en el tiempo ocioso

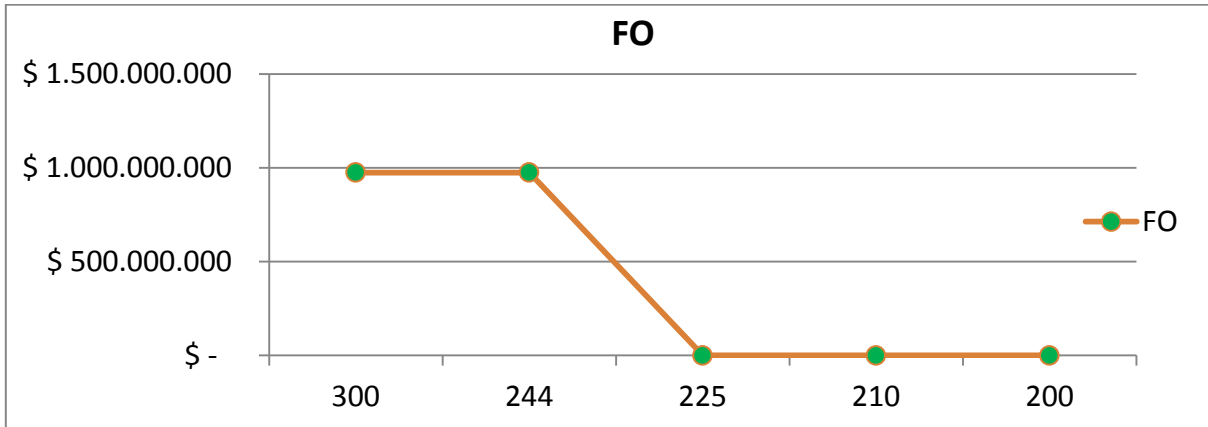


Como se puede ver para el modelo no es factible utilizar las horas ocio, durante los seis meses no utiliza este recurso.

Caso 4 Variación del nivel máximo de empleados o recursos permitidos

En la ilustración 15 podemos ver la variaciones que sufre el modelo al ir reduciendo la capacidad de empleados.

Ilustración 15 Variación de nivel máximo de empleados.

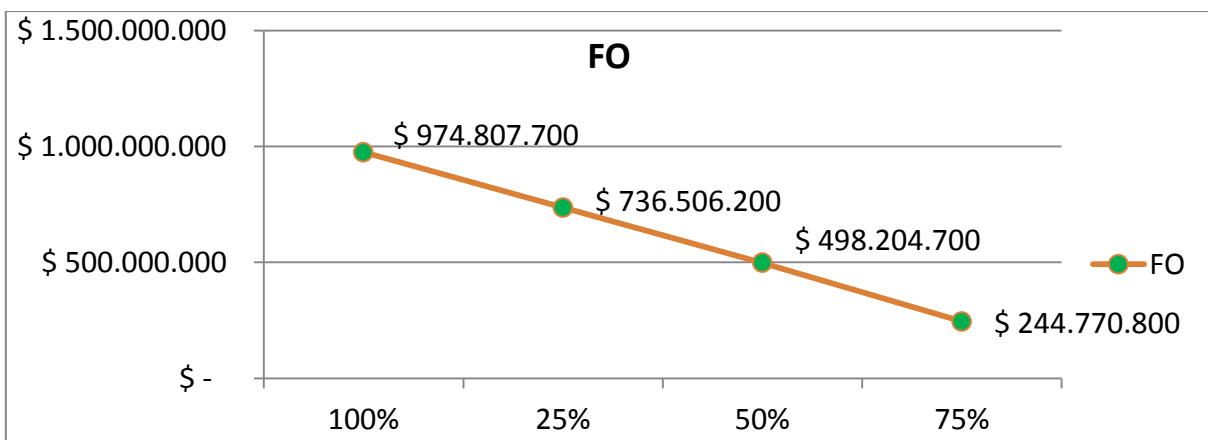


La capacidad que el modelo escogió fue de 244 trabajadores para cada uno de los meses a trabajar, al disminuir el nivel máximo de trabajadores menores de 244 el modelo da no factible.

Caso 5 Variaciones de la demanda de la familia

En la ilustración 16 podemos ver la variaciones que sufre el modelo al reduciendo la demanda planteada.

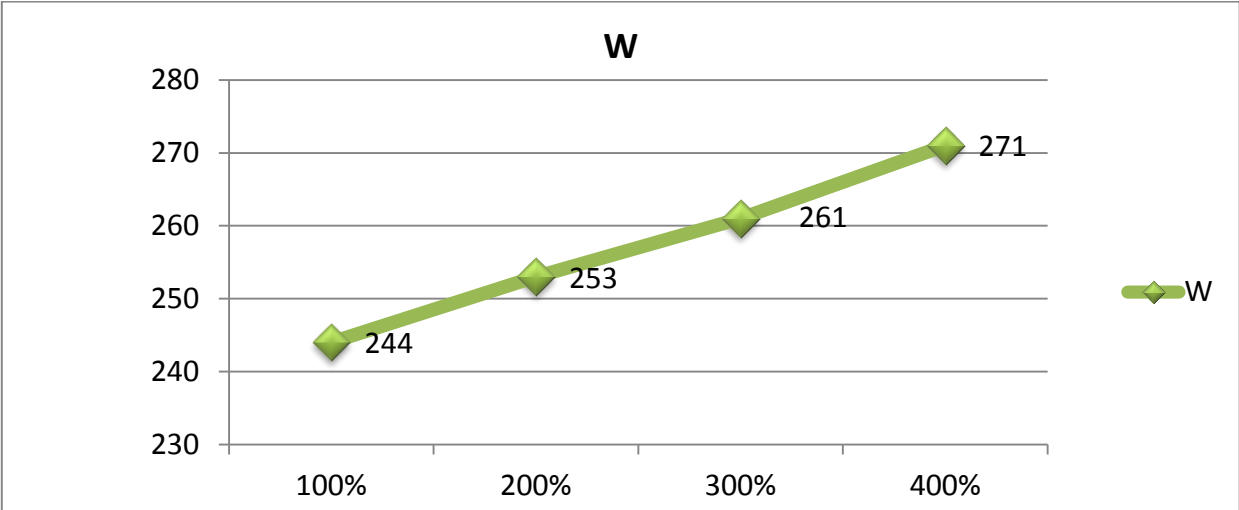
Ilustración 16 Variación de la demanda VS la Función Objetivo.



Al reducir la demanda de la familia se ve afectado directamente la función Objetivo.

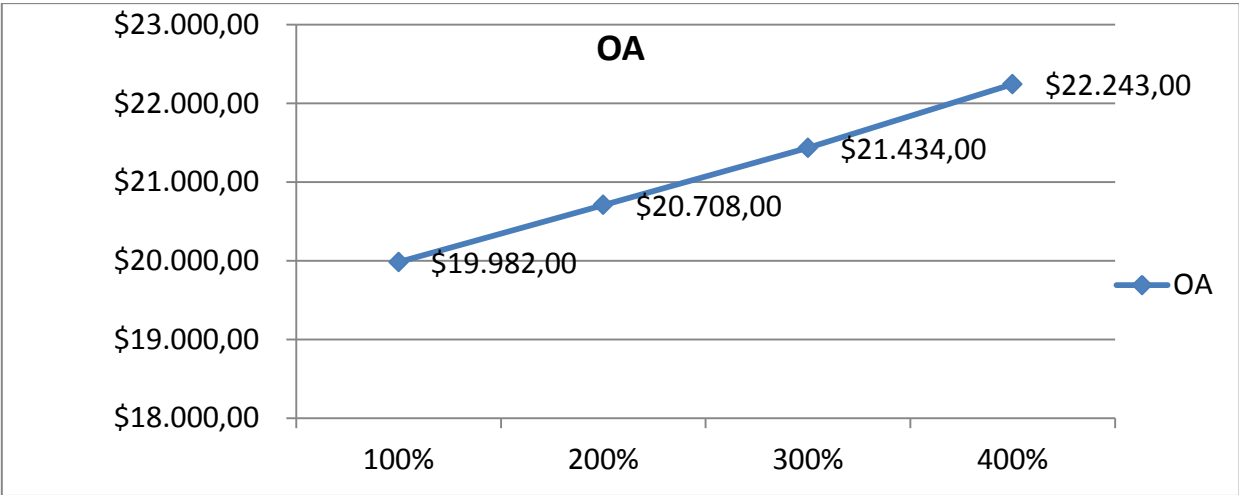
También podemos observar en la ilustración 17 que a medida que se reduce la demanda aumenta el nivel de empleados por mes.

Ilustración 17 Variación de la demanda VS Nivel de empleados.



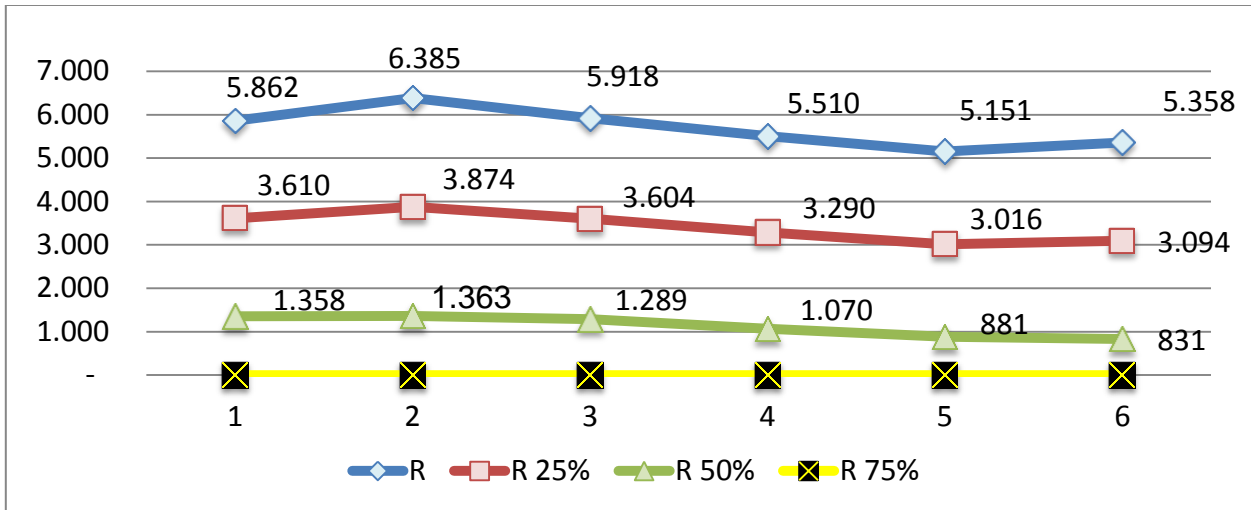
En la ilustración 18 podemos observar como las horas extras del nuevo producto A van en aumento con cada variación realizada en la demanda.

Ilustración 18 Variación de la demanda VS Horas extras del nuevo producto A.



En la ilustración 19 podemos ver la variación que sufre las horas regulares utilizadas para la familia, las cuales se van reduciendo a medida que disminuye la demanda.

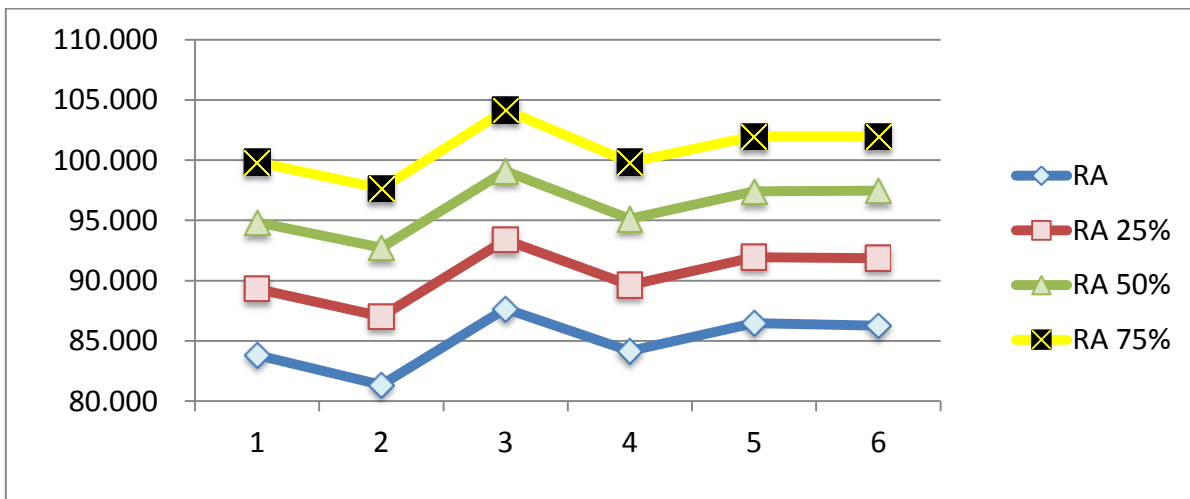
Ilustración 19 Variaciones de las horas regulares.



R nos muestra las horas regulares utilizadas con la demanda inicial, R 25% muestra las horas regulares cuando la demanda reduce el 25% así consecutivamente con R 50% y R75%, con una reducción del 75% de la demanda las horas regulares son iguales a cero (0), aunque aun existiendo demanda de la familia el modelo prefiere cubrir esta por medio de la subcontratación.

En la ilustración 20 se puede ver los efectos que causa en las horas regulares del nuevo producto A

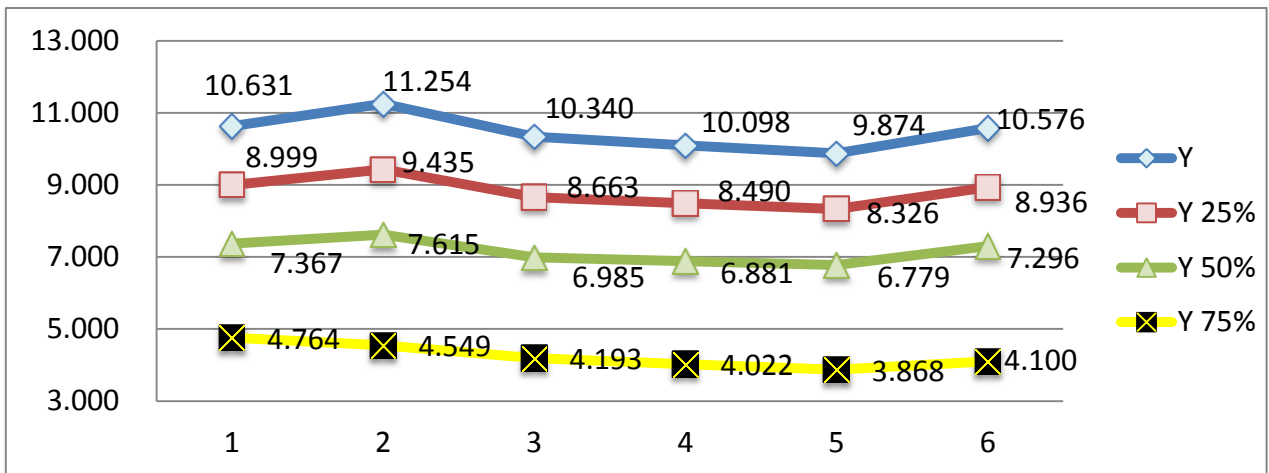
Ilustración 20 Variaciones de las horas regulares del nuevo producto A.



RA nos muestra las horas regulares utilizadas con la demanda inicial, RA 25% muestra las horas regulares cuando la demanda reduce el 25% así consecutivamente con RA 50% y RA75%, con las variación dadas ocasiona que aumenten las horas regulares.

También se notó cambios en las unidades subcontratadas ver ilustración 21, La subcontratación fue en disminución con cada variación de la demanda de la familia

Ilustración 21 Variación en la subcontratación.



Caso 6 Variación del nivel máximo de las horas regulares.

El la ilustración 22 se puede observar como el nivel de empleados se va reduciendo al aumentar el nivel máximo de horas regulares, de igual forma también se nota que el modelo cuando el nivel de horas regulas comienza a disminuir este se vuelve no factible.

Ilustración 22 Nivel de empleados.

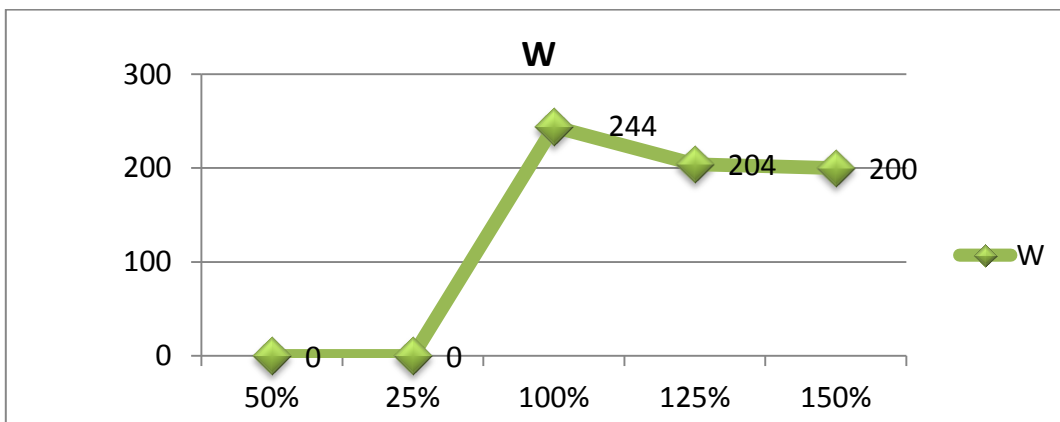
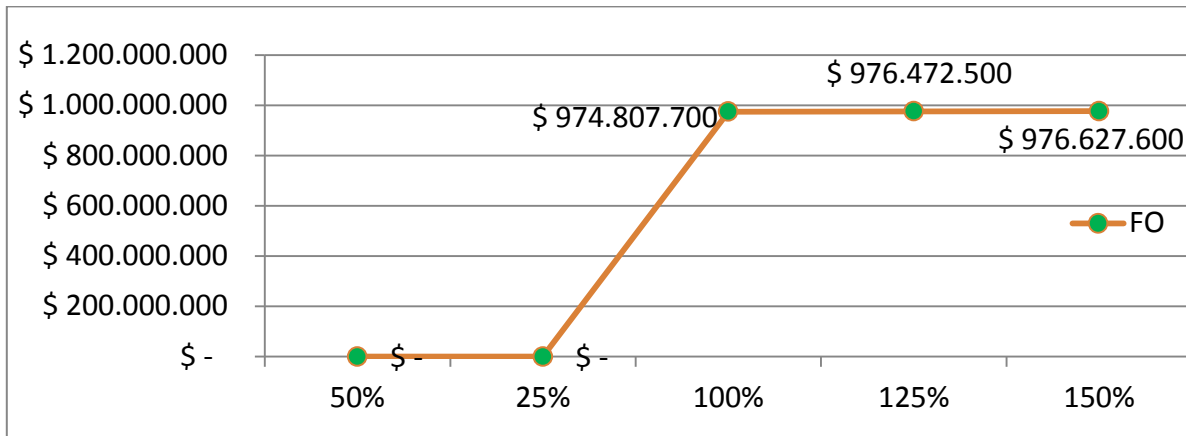


Ilustración 23 Variación de la Función Objetivo



En la ilustración 23 se presencia el aumento de la FO cuando aumentan las horas regulares de igual forma cuando se disminuyen el modelo se vuelve no factible.

A medida que el nivel máximo de horas regulares van en aumento el modelo le asigna más horas al nuevo producto A, manteniendo las mismas horas a la familia, ver ilustración 24 y 25

Ilustración 24 Variación de las Horas regulares del nuevo producto A

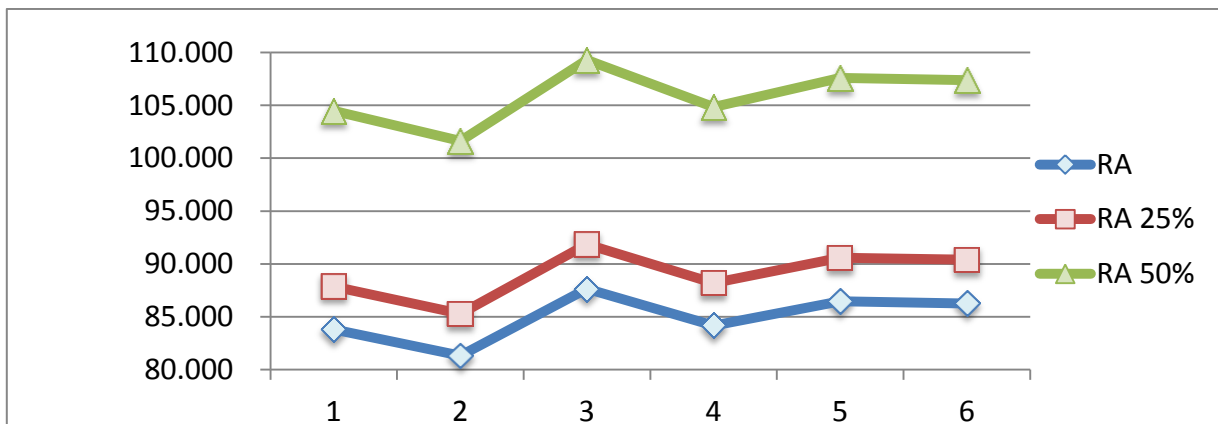
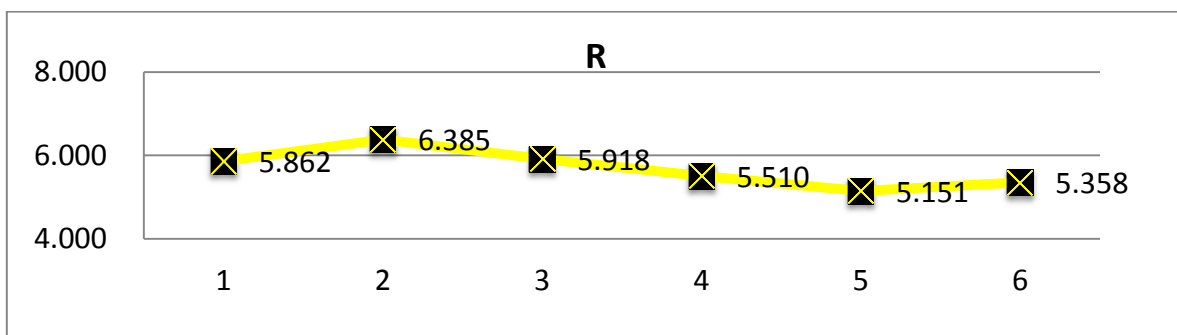


Ilustración 25 Variación horas regulares familia



5. Conclusiones

Las variables comunes de producción generalmente representan muy pocos cambios en la bibliografía, lo que ha llevado a incrementar elementos de otras áreas para hacer el problema algo más global que apunta a una dirección en términos en el que va este trabajo.

Se identificó que los elementos de flexibilidad presenta poca bibliografía específica sobre los planes de producción, sobre producción y flexibilidad, sin embargo el documento del Profesor Pablo Cesar Manyoma nos sirvió de referencia.

La función de desempeño nos permite medir el valor presente neto, midiendo el grado de flexibilidad que generado al incluir un nuevo producto a la familia. El modelo se comporta coherente con eventos planeados, se puede identificar que el modelo es sensible a variables como horas regulares, nivel de empleados, Horas extras de producto nuevo, a nivel de subcontratación de la familia

El modelo a su vez logra una integración vertical ya que la planeación agregada hace parte de un grupo de planes que generalmente se presentan de forma jerárquica, lo que hace que los resultados de este plan se utilicen como restricciones en los siguientes niveles y de esta manera las decisiones financieras incluidas repercutan en todos los niveles de detalle.

A pesar de que la falta de instrumentos de modelación en tiempos pasados fue un obstáculo para el amplio desarrollo de estudios que permitieran una integración entre las decisiones productivas y financieras, actualmente existen software computacionales capaces de resolver modelos que tienen gran número de variables y restricciones, dando soluciones optimas en lapsos de tiempo cortos. Un ejemplo es el programa Lingo versión 8 el cual fue utilizado para solucionar el modelo propuesto.

Al incluirse en el modelo como objetivo la maximización de los valores presentes flexible y no, el balance de entrada y salida de dinero toma vital importancia al tratar de maximizar las entradas y minimizar las salidas, además se obtienen resultados que no solo se expresan en términos de costos, lo que hace de la PA una herramienta útil desde el punto de vista de los administradores porque se puede evaluar el impacto que genera el plan desde la óptica financiera.

Para maximizar el valor de los ingresos en cada periodo, el modelo selecciona el nivel de ventas que capta el mayor excedente de dinero, los cuales están asociados a los precios. Para minimizar los costos directos el modelo selecciona el conjunto de variables productivas que aseguran el cumplimiento de la demanda y que a su vez minimizan el costo asociado, El modelo también nos permite conocer las veces donde el valor de la opción toma valor indicando en qué periodo es factible activarla o no. El tener un modelo que nos permita evaluar por medio de valores presente netos la inclusión o no de un nuevo producto es muy útil ya que con esta herramienta podemos tomar decisiones más acertadas.

6. Referencia Bibliográfica

ANDIA, Walter. Reflexiones Sobre el Flujo de Caja en la Evaluación de Proyectos. 2003.

CONICIT. Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Costa Rica. Martínez, Eduardo. Ciencia, tecnología y desarrollo. Caracas: Editorial Nueva Sociedad, 1994. Pp.511-522.
http://www.conicit.go.cr/glosario/ver_termino.php?term=Sistemas%20de%20manufactura.

CHASE Richard B., AQUILANO Nicholas J., y JACOBS Robert. Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios. Octava edición. México: McGraw Hill. 2000.

DANTE, Orlando; COROMINAS, Albert; LUSA; Amaia. La Planificación Agregada como Instrumento Integrador de las áreas Funcionales de la Empresa: Estado del Arte y Perspectivas, 2007. P. 4.

DOMÍNGUEZ. José Antonio; GONZÁLEZ, Santiago; JIMENEZ Antonio. Dirección de Operaciones – Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios, 1995. P. 10.

FRIEDRICH Luis Fernando. Uma Abordagem Dist ribuída no Desenvolvimento e Implementação do Software de Controle de Chão-de-Fábrica em Sistemas de Manufatura Celular.

GARCIA, Oscar León. Administración Financiera - Fundamentos y Aplicaciones. Tercera Edición, México. Editorial .1999.

GERMAINE, H. Saad. Hierarchical Production – Planning Systems: Extensions and Modifications, 1990.

GITMAN, Lawrence J. Administración Financiera Básica. Tercera Edición, México. Harla Editorial. 1996.

KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry P. Administración de Operaciones: Estrategia y Análisis. Quinta Edición. Naulcapan de Juárez, Editorial Pearson. 2000.

KIRCA, Omer; KOKSALAN, Murat. An Integrated Production and Financial Planning Model and an Application, 1993

MANYOMA Velásquez, Pablo César. Desarrollo de una metodología de valoración multiatributo para el análisis de decisiones de flexibilidad en sistemas de producción.

Lori L. Koste, Manoj K. Malhotra, Theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility, Journal of Operations Management 18 1999 75–93.

LUZ KARIME CASTAÑEDA, CLAUDIA CONTRERAS Desarrollo de un modelo de planeación agregada con consideraciones financieras, agosto 2010.

Peter Fredriksson*, Lars-Erik Gadde Flexibility and rigidity in customization and build-to-order production,

RAMOS, Mario. Introducción a los sistemas integrados de producción. Departamento de Ingeniería en maderas. Universidad del Bío Bío. Chile. 2003. <<http://zeus.dci.ubiobio.cl/~mramos/IntroCIM.htm>>.

RUSSELL Roberta S. y TAYLOR III Bernard W. Operations Management. Tercera edición. New Jersey: Prentice Hall. 2000. Y KRAJEWSKI Lee y RITZMAN Larry. Operations Management. Strategy and Analysis. Addison-Wesley. 1996.

Anexo 1

DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
S:	16.319	18.194	16.773	16.087	15.473	16.399
SA:	7.343	7.343	7.164	7.164	7.505	7.978
X:	6.372	6.940	6.433	5.989	5.599	5.823
XA:	7.993	7.164	7.978	12.655	8.143	8.631
Y:	10.631	11.254	10.340	10.098	9.874	10.576
YA:	-	-	-	-	-	-
Z:	-	-	-	-	-	-
ZA:	1.328	1.328	1.406	1.406	1.292	1.292
I:	684	684	684	684	684	684
IA:	650	650	650	650	1.123	650
B:	-	-	-	-	-	-
BA:	1.573	1.255	2.065	1.829	2.464	2.584
H:	44	-	-	-	-	-
F:	-	-	-	-	-	-
R:	5.862	6.385	5.918	5.510	5.151	5.358
RA:	83.811	81.339	87.654	84.164	86.471	86.265
U:	-	-	-	-	-	-
O:	-	-	-	-	-	-
OA:	19.982	19.982	19.982	19.982	19.982	19.982
W:	244	244	244	244	244	244

Anexo 2

MODEL:

! PLAN AGREGADO;

SETS:

PERIODOS / 1..6/;
D,S,XA,YA,RA,OA,MIA,CPA,CSA,CLA,CIA,CBA,STA,II,CF,PV,PVA,SS,SSA,MW,
MO,WM,MU,MB,MI,MS,ML,CS,CL,CI,CB,CH,CW,CR,CU,CO,CP,X,Y,Z,I,B,H,F,FF,
RR,R,U,O,W,CPROD,CPINV,CVMO, CHMO,
CTP,CPRODA,CPINVA,CHMOA,CTVA,IEA,VT,VAPOS,VANG,G;
DEMANDAJ /1..2/ : PO ;
SUB(PERIODOS,DEMANDAJ):SA,ZA,BA,DA,IA ;

ENDSETS

[MAXVPN] MAX =VPNP+VPFLEX;

@for(PERIODOS(p):CPROD(p) = CP(p)*X(p)+CS(p)*Y(p));

@for(PERIODOS(p):CPINV(p)= CL(p)*Z(p)+CI(p)*I(p)+CB(p)*B(p));

@for(PERIODOS(p):CVMO(p)= CH(p)*H(p)+CW(p)*F(p));

@for(PERIODOS(p):CHMO(p)= CR(p)*R(p)+CO(p)*O(p));

@for(PERIODOS(p):CTP(p) = CPROD(p)+CPINV(p)+CVMO(p)+CHMO(p));

VPNP=@SUM(PERIODOS (p):(S(p)*PV(p)-CTP(p))/((1+K)^(p)));

@for(PERIODOS(p):CPRODA(p)= CPA(p)*XA(p)+CSA(p)*YA(p));

@for(PERIODOS(p):CPINVA(p)=

@SUM(DEMANDAJ(j):(CLA(p)*ZA(p,j)+CIA(p)*IA(p,j)+CBA(p)*BA(p,j))*PO(j));

@FOR (PERIODOS(p):CHMOA (p)= CR(p)*RA(p)+CO(p)*OA(p));

@FOR (PERIODOS(p):CTVA(p) = CPRODA(p)+CPINVA(p)+CHMOA(p);

@FOR (PERIODOS(p):IEA(p)=@SUM(DEMANDAJ (j): SA(p,j)*PO(j)*PVA(p));

@FOR (PERIODOS(p):VT(p)=VAPOS(p));

@FOR (PERIODOS(p):VAPOS(p)-VANG(p)= IEA(p)-CTVA(p)-STA);

@FOR (PERIODOS(p):VAPOS(p)<= M * G(p));

@FOR (PERIODOS(p):VANG(p)<= M *(1-G(p));

@FOR (PERIODOS(p):@BIN (G(p)));

VPFLEX=@SUM (PERIODOS (p):(VT(p)/((1+K)^(p)))-CF-II);

!CONDICIONAMIENTO DE CONJUNTOS;

!|= TAL QUE;

!restriccion 2;

@FOR(PERIODOS(p)| p#EQ#1:[BALANCEMO1]

W0+H(p)-F(p)=W(p));

@FOR(PERIODOS(p)| p#GT#1:[BALANCEMO1MAS]

W(p-1)+H(p)-F(p)=W(p));

@FOR(PERIODOS (p) |p#EQ#1 :[RESTRICION1]

X(p)+Y(p)+I0-I(p)= S(p));

@FOR(PERIODOS (p) |p#GT#1 :[RESTRICION1A]

X(p)+Y(p)+I(p-1)-I(p)=S(p));

@FOR(PERIODOS (p)|p#EQ#1 :[RESTRICION2]

S(p)+Z(p)+B(p)=B0+D(p));

@FOR(PERIODOS (p)|p#GT#1 :[RESTRICION2A]

S(p)+Z(p)+B(p)=B(p-1)+D(p));

@FOR(SUB (p,j)|p#EQ#1 :[RESTRICION3]

XA(p)+YA(p)+IA0-IA(p,j)=SA(p,j));

@FOR(SUB (p,j)|p#GT#1 :[RESTRICION3A]

XA(p)+YA(p)+IA(p-1,J)-IA(p,j)=SA(p,j));

@FOR(SUB (p,j)|p#EQ#1 :[RESTRICION4]

$SA(p,j)+ZA(p,j)+BA(p,j)-BA0 =DA(p,j)*G(p);$

@FOR(SUB (p,j)|p#GT#1 :[RESTRICION4A]
 $SA(p,j)+ZA(p,j)+BA(p,j)-BA(p-1,j)=DA(p,j)*G(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION5]
 $R(p)+RA(p)+U(p)= MW (p)*W(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION6]
 $O(p)+OA(p)\leq MO(p)*W(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION7]
 $t*X(p)\leq R(p)+O(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION7A]
 $ta*XA(p)\leq RA(p)+OA(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION8]
 $SS(p)\leq I(p);$

@FOR(PERIODOS(p):[RESTRICION8A]
 $I(p)\leq MI(p);$

@FOR(SUB (p,j):[RESTRICION8B]
 $SSA (p)\leq IA(p,j);$

@FOR(SUB(p,j):[RESTRICION8C]
 $IA(p,j)\leq MIA(p);$

@FOR(SUB (p,j) :[RESTRICION9]
 $B(p)+ BA(p,j)\leq MB(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION10]
 $Y(p)+ YA(p)\leq MS(p);$

@FOR(SUB (p,j):[RESTRICION11]
 $Z(p)+ ZA(p,j)\leq ML(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION12]
 $W(p)\leq WM(p);$

@FOR(PERIODOS (p):[RESTRICION13]
 $U(p)\leq MU(p);$

DATA:

$K=0.08;$

$M=10000000;$

```
II= 600000;  
CF=500000;  
STA=1000;  
DA=@OLE('PL111.XLSX', DA);  
D,PV,PO,PVA,MW,MO,WM,MU,SS,SSA,MB,MI,MIA,MS,ML,CS,CL,CI,CB,CH,CW  
,CR,CU,CO,CP,CPA,CSA,CLA,CIA,CBA,ta,t = @OLE(  
'PL111.XLSX',D,PV,PO,PVA,MW,MO,WM,MU,SS,SSA,MB,MI,MIA,MS,ML,CS,CL,  
CI,CB,CH,CW,CR,CU,CO,CP,CPA,CSA,CLA,CIA,CBA,ta,t) ;  
!OLE HACE UNA CONEXION A OTRO ARCHIVO;  
@OLE('PL111.XLSX',X,XA,YA,S,SA,Y,Z,ZA,I,IA,B,BA,H,FF,RR,RA,U,O,OA,W ) =  
X,XA,YA,S,SA,Y,Z,ZA,I,IA,B,BA,H,F,R,RA,U,O,OA,W;
```

```
W0=@OLE('PL111.XLSX', W0);  
I0=@OLE('PL111.XLSX', I0);  
B0=@OLE('PL111.XLSX', B0);  
IA0=@OLE('PL111.XLSX', IA0);  
BA0=@OLE('PL111.XLSX', BA0);
```

ENDDATA

END