

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN  
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA  
SECUENCIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE SECADO  
DE PASTA ALIMENTICIA EN UN EMPRESA ECUATORIANA DE  
CONSUMO MASIVO”**

**AUTOR:**

**KATHIA PAMELA PEREA LAYME**

Guayaquil - Ecuador

2020

# RESUMEN

Cada día y con más frecuencia se escucha sobre el término industria 4.0 que hace referencia a que el mundo está viviendo la cuarta revolución industrial.

Al enfocar el concepto de industria 4.0 se habla de una forma nueva de entender los sistemas de producción e interconectarlos buscando la automatización, a priori, se podría pensar que este cambio de máquinas automatizadas para sustituir las labores mecánicas o manuales empezó hace más de 30 años, pero el sentido de esta nueva revolución va más allá de la automatización, es una integración o un transformación digital, la implantación de asistentes inteligentes que toman decisiones óptimas para planificar cumpliendo restricciones y capacidades, herramientas de control en tiempo real y virtual que proporcionan información en segundos y permiten mejorar la eficiencia, capacidad de respuesta y autogestión de los procesos integrándolos colaborativamente a favor del humano.

Bajo esta realidad es que se aborda el propósito del presente proyecto, desarrollado en una importante empresa ecuatoriana del sector de alimenticio, donde se ha identificado una gran oportunidad en la mejora de la forma actual en que se realiza la programación semanal de producción de su línea de secado de pastas y se propone como alternativa de solución la automatización y óptima planificación mediante el diseño y aplicación de un modelo matemático de programación lineal entera mixta. Actualmente la empresa realiza la planificación de su producción semanal de manera manual, lo que origina ineficiencia en la satisfacción oportuna de la demanda, así como sobrecostos por reprocesos y sobre stock de SKUs no solicitados.

Mediante el desarrollo de esta herramienta se busca optimizar el correcto uso de los recursos de la empresa, minimizando los costos operativos de la producción, considerando la capacidad de producción, la secuencia óptima de tareas y sus restricciones para realizar la modelización.

**Palabras claves:** Optimización, modelización matemática, planificación de la producción, secuenciación, problema de programación de tareas.

# ABSTRACT

Every day we are often likely to hear the term “industry 4.0” which refers to the fact that the world is experiencing the fourth industrial revolution.

If we focus on the definition of industry 4.0, we speak of a new way of understanding production systems and interconnecting them while seeking automation, beforehand, it could be thought that the change of automated machines to replace mechanical or manual tasks began more than 30 years ago. But the meaning of this new revolution goes beyond automation, it is an integration or a digital transformation, the implementation of intelligent assistants that make optimal decisions to plan in compliance with restrictions and capabilities, real-time and virtual control tools that provide information in seconds and leads to improve the efficiency, responsiveness and self-management of the processes integrating them collaboratively for man’s benefit.

The purpose of this project is addressed under this reality and it is developed in an important Ecuadorian company in the food industry, where a great opportunity to improve the current way the weekly production schedule of the pasta drying line is carried out and the automation and optimal planning is proposed as an alternative solution through the design and application of a mixed-integer linear programming mathematical model has been identified. Currently, the company carries out the planning of its weekly production manually, which causes inefficiency in the timely satisfaction of demand, as well as cost overruns due to reprocessing and unsolicited SKUs overstock.

The aim of this project is to optimize the correct use of the company's resources through the development of this tool, minimizing the operating costs, considering the production capacity, the optimal sequence of tasks and their restrictions to carry out the modeling.

**Keywords:** Optimization, mathematical modelling, production planning, sequencing, job shop scheduling problem.

## **DEDICATORIA**

A mis padres  
este es uno más de sus logros.  
Fe, alas y buen viento siempre

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios que siempre ha construido los caminos perfectamente enlazados de mis oportunidades y ha acompañado mis decisiones.

A mi familia, porque son mi fuente de inspiración y motivación, cada uno me sigue enseñando que nunca es tarde para rediseñarse, amar y seguir adelante.

A mis amigos, esos que siempre están aún sin estar, los que me han enseñado que la lealtad no tiene nada que ver con la sangre, esos con los que sabes que puedes construir, que te apoyan, te enseñan, te aceptan como eres y te dicen la verdad, aunque duela.

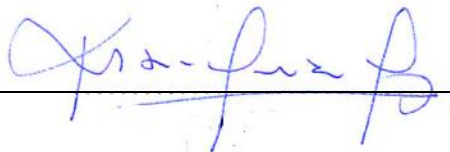
A mi centro de labores y mis compañeros, un cambio y un logro siempre esconde un rompecabezas que alguien toma el riesgo de armar.

A ti, por siempre ser más fuerte de lo que creo, por no perder nunca la fe, no rendirte y buscar ser feliz.

kppl

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Postgrados** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Kathia Pamela Perea Layme

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

M.Sc. Pedro Ramos De Santis.  
Presidente




---

M. Sc. Victor Alejandro Vega Chica  
Director



---

Kleber Barcia Villacreses, Ph.D.  
Vocal



---

Johni Bustamante Romero, Ph.D.  
Vocal

## ABREVIATURAS O SIGLAS

<b>JSSP</b>	Job Shop Scheduling Problem o Problema de programación maestra.
<b>UM</b>	Unidad de medida: gramo, kilogramo, litro, unidad, toneladas
<b>UN</b>	Unidad
<b>un/min</b>	Unidades/min
<b>KG</b>	Kilogramos
<b>G</b>	Gramos
<b>TONS</b>	Toneladas
<b>FIFO</b>	First in first out
<b>MP</b>	Materia Prima.
<b>ME</b>	Material de Empaque.
<b>PT</b>	Producto Terminado.
<b>JIT</b>	Just in Time / Justo a tiempo.
<b>KPI</b>	Key Performance Indicators / Indicadores Clave de Desempeño.
<b>PA</b>	Planificación Agregada.
<b>SKU</b>	Stock Keeping Unit / Número de Referencia.
<b>BOM</b>	Bill of Material / Explosión de Materiales.
<b>CRP</b>	Capacity Resource Planning / Planificación de Recursos de Capacidad.
<b>MRP</b>	Material Requirements Planning / Planificación de requerimientos de material.
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning / Planeamiento de Recursos Empresariales.
<b>SAP</b>	Systeme Anwendungen und Produkte / Sistemas, aplicaciones y productos.
<b>OP</b>	Orden de Producción.



# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 Desafíos que enfrentan las empresas en el mercado ecuatoriano.....	1
1.1.2 El papel de la planificación de la producción en la industria.....	2
1.1.3 Las técnicas de planificación de la producción y control .....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	8
1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	9
1.4.1 Objetivo general .....	9
1.4.2 Objetivos específicos .....	10
1.5. ALCANCE .....	10
1.6. METODOLOGÍA .....	11
1.6.1. Flujograma de desarrollo del proyecto .....	13
1.7 ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN .....	14
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>15</b>
2.1. BASES TEORICAS.....	15
2.1.1. Procesos.....	15
2.1.2. La función planeación y control de la producción.....	16
2.1.3. Flujo general de las actividades de planificación y control.....	17
2.1.4. Planificación de requerimientos de capacidad.....	20
2.1.5. Programación de la producción.....	20
2.1.5.1. Asignación de cargas.....	21
2.1.5.2. Secuenciación de pedidos .....	21
2.1.5.3. Programación detallada.....	22
2.1.6. Scheduling.....	22
2.1.7. Job Shop Scheduling (JSS).....	26
2.2. ESTADO DEL ARTE .....	26
2.2.1. OPTIMIZACIÓN DE MAKESPAN MEDIANTE UN MODELO MATEMÁTICO MIP JSSP .....	27
2.2.2. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA TEXTIL .....	28
2.2.3. ESTUDIO DE CASO CARPINTERÍA DE ALUMINIO.....	29
2.2.4. LA TEORÍA DE RESTRICCIONES Y SU EFECTO EN LA GESTIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD .....	29

2.2.5.	OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE MANUFACTURA .....	30
2.2.6.	OPTIMIZACIÓN DE PLANES SEMANALES DE PRODUCCIÓN .....	31
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>32</b>
3.1.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	32
3.1.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	34
3.1.2.	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	35
3.1.3.	NECESIDAD DE SECUENCIACIÓN .....	37
3.1.4.	COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	38
3.1.5.	PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	39
3.1.6.	PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	40
3.2.	INDICADORES DE EFICIENCIA .....	42
3.2.1.	CUMPLIMIENTO DE PLAN DE PRODUCCIÓN .....	42
3.2.2.	DEMANDA INSATISFECHA.....	44
3.3.	FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO .....	45
3.3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES DEL MODELO.....	45
3.3.2.	ESTRUCTURA DEL MODELO.....	45
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>50</b>
4.1.	RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO .....	50
4.1.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO .....	50
4.1.2.	VALIDACIÓN DE LA EFECTIVIDAD .....	51
<b>CAPÍTULO 5</b>	.....	<b>59</b>
5.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
<b>6.REFERENCIAS</b>	.....	<b>61</b>
<b>7.ANEXOS</b>	.....	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <b>Gráfico de Gantt</b> . Fuente: Wilson, 2003.....	4
Figura 1.2 <b>Ejemplo del proceso productivo de pasta</b> . Fuente: Pavan, 2014.....	5
Figura 1.3 <b>Diagrama de Flujo</b> Fuente: Perea Layme, Kathia P., 2020 .....	13
Figura 2.1 <b>Grafica de un Proceso</b> Fuente: Sánchez, 2010 .....	15
Figura 2.2. <b>Secuencia de Actividades</b> Fuente: Alvarado E., 2007.....	16
Figura 2.3. <b>Entorno de Planeación de la Producción</b> Fuente: Chapman, 2006.....	17
Figura 2.4 <b>Matriz Producto - Proceso</b> Fuente: Laviós,2013. ....	23
Figura 3.1 <b>Presencia Regional de Marcas de Pastas</b> Fuente:Cortez,2017 .....	33
Figura 3.2 <b>Comparativo de Procesos de Producción</b> Fuente: Perea, 2020 .....	35
Figura 3.3 <b>Etapas del Proceso de Planificación</b> Fuente: Gomez, 2015 .....	40
Figura 3.4 <b>Plan de Producción Semanal Actual</b> Fuente: Datos de la Empresa, 2020. ....	41
Figura 3.5 <b>Cumplimiento de Programa de Producción</b> Fuente: Perea, 2020.....	43
Figura 4.1 <b>Extracto de Modelización Matematica</b> Fuente: Perea,2020 .....	50
Figura 4.2 <b>Propuesta de Nuevo Plan de Producción Semanal</b> Fuente: Perea,2020 .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 <b>Capacidades de Líneas de Producción</b> , Fuente. Perea,2020.....	35
Tabla 3-2 <b>Principales Tipos de Formatos</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	37
Tabla 3-3 <b>Secuenciación de Formatos</b> . Fuente: Perea, 2020 .....	38
Tabla 3-4 <b>Desempeño de Programación de Producción</b> . Fuente: Perea, 2020.....	43
Tabla 3-5 <b>Valor de la Demanda Insatisfecha</b> , Fuente: Perea, 2020.....	44
Tabla 4-1 <b>Simulación de Escenario de Semana 2</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	52
Tabla 4-2 <b>Simulación de Escenario de Semana 6</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	52
Tabla 4-3 <b>Simulación de Escenario de Semana 3</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	52
Tabla 4-4 <b>Simulación de Escenario de Semana 9</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	53
Tabla 4-5 <b>Simulación de Escenario de Semana 13</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	53

Tabla 4-6 <b>Simulación de Escenario de Semana 16</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	53
Tabla 4-7 <b>Simulación de Escenario de Semana 17</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	54
Tabla 4-8 <b>Simulación de Escenario de Semana 20</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	54
Tabla 4-9 <b>Simulación de Escenario de Semana 21</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	54
Tabla 4-10 <b>Simulación de Escenario de Semana 25</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	55
Tabla 4-11 <b>Simulación de Escenario de Semana 27</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	55
Tabla 4-12 <b>Simulación de Escenario de Semana 29</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	55
Tabla 4-13 <b>Simulación de Escenario de Semana 33</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	56
Tabla 4-14 <b>Simulación de Escenario de Semana 34</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	56
Tabla 4-15 <b>Simulación de Escenario de Semana 12</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	56
Tabla 4-16 <b>Simulación de Escenario de Semana 10</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	57
Tabla 4-17 <b>Resumen de simulaciones eficacia y eficiencia</b> , Fuente: Perea, 2020.....	57
Tabla 4-18 <b>Resumen de Resultados</b> , Fuente: Perea, 2020 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

# CAPÍTULO 1

## 1.1. ANTECEDENTES

### 1.1.1 Desafíos que enfrentan las empresas en el mercado ecuatoriano

La industria ecuatoriana enfrenta día a día numerosos desafíos. El mercado ecuatoriano es un ambiente altamente competitivo y es primordial para sobrevivir que las empresas adopten diferentes prácticas para mejorar sus procesos productivos (Thoben, Wiesner, & Wuest, 2017).

Los gobiernos de turno no han sido el mejor aliado del sector empresarial ecuatoriano, los recortes que tiene año a año el presupuesto del Estado sumado a fuentes de ingreso que por lo general son de carácter impositivo, la política de restricción a las importaciones, las constantes confrontaciones con el sector empresarial, esta y muchas otras razones complican las actividades de negocios de las empresas ecuatorianas (Araujo & Tapia, 2015).

Una de esas complicaciones se refiere a los costos de producción. Según los empresarios, los costos de producción del mercado ecuatoriano son altos, debido a muchos factores, entre los que se puede citar:

- El encarecimiento del dólar.
- Los bajos precios del barril de petróleo.
- El encarecimiento de los costos energéticos.
- El encarecimiento de la mano de obra debido a reformas laborales.
- El encarecimiento de la materia prima y los bienes de capital por el aumento de las tasas arancelarias.
- El incremento en los costos logísticos.

Todos estos factores contribuyen a la contracción económica del país, se encarecen los costos de producción y por tanto incrementan el costo de los bienes producidos, lo cual se refleja tanto en el mercado---- local como en el internacional, lo que impide la generación de competitividad de las empresas ecuatorianas en el mediano y largo plazo (Enriquez, 2017).

Es por tanto muy importante que las empresas optimicen el uso de los recursos que con mucho esfuerzo se han adquirido a través de los años, de allí que la planificación de la producción es un procedimiento necesario que produce muchos beneficios a las empresas.

### **1.1.2 El papel de la planificación de la producción en la industria**

Como lo indica Vargas, 2016, para cualquier industria o empresa, las ventas son el pulmón que permite a las empresas respirar y alcanzar el logro de los objetivos. Sin embargo, una venta no se logra por sí sola. Es decir, si el área comercial no tuviese un soporte detrás, sería imposible cumplir con los objetivos económicos. El área de producción abastece lo que ventas necesita, además, dentro de una empresa manufacturera, un área no puede vivir sin la otra. De nada sirve traer pedidos de nuevos clientes o reposiciones, si es que no se cuenta con un área de producción que fabrique lo que necesita el cliente: en la calidad requerida y los plazos requeridos, es aquí donde entra como engranaje la Planeación y Control de la Producción que hace la función del corazón de la gestión del área de producción, pues con ella, se consigue responder tres preguntas importantes dentro de Producción: qué producir, cuándo (periodos) producir y cuánto se debe producir.

La **importancia de la planificación de la producción** radica en que esta puede asegurar la correcta cantidad de materiales necesarios al igual que garantizar la sintonía entre la capacidad y la previsión de la demanda.

### 1.1.3 Técnicas de planificación de producción y control

Desde que se dio inicio a la revolución industrial, los empresarios han buscado la forma de mejorar los procesos de producción. Se estima que en su gran mayoría estos procesos están relacionados con la planificación y en este ámbito existen dos problemas principales por atender: las prioridades y la capacidad (Herrmann, 2006).

Es así que surgieron una serie de estudiosos que se dedicaron a analizar cada una de las etapas de los procesos productivos. Los resultados pueden variar de un autor a otro, pero en resumen se puede decir que las técnicas de producción y control incluyen:

- La planificación.
- El ruteo o secuencia
- La programación o calendarización.
- El despacho.
- Seguimiento y agilización.
- La inspección.

#### La planificación

Este primer elemento tiene, sin lugar a duda, un papel muy importante. El éxito de la empresa depende en gran parte de una excelente planificación y establece las bases y dispositivos de control. Por lo general las empresas cuentan con un departamento especializado en esta tarea, debido a que se trata de un elemento crítico, pues este departamento toma la decisión que marcará el futuro de la empresa. Por lo general este departamento genera programaciones, gráficos, manuales, procedimientos, entre otros. Un ejemplo de los gráficos usualmente generados es el gráfico de Gantt (Wilson, 2003), ver **Figura 1.1**, se trata de uno de los gráficos de planificación más famosos del mundo.

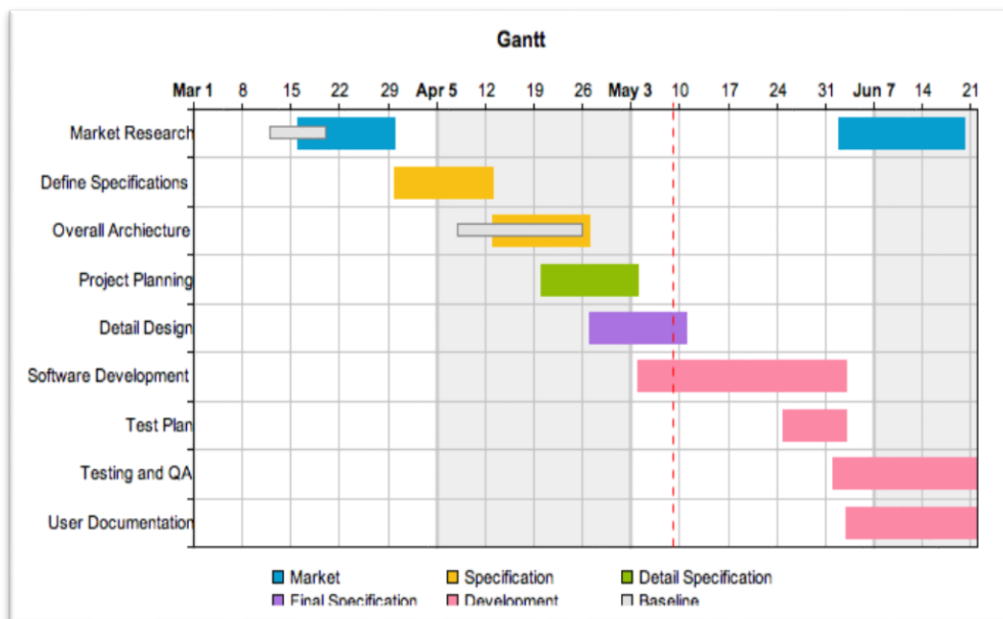


Figura 1.1 *Gráfico de Gantt*. Fuente: Wilson, 2003.

Aunque se dice que el primer diagrama de este tipo fue creado en el año 1890 por Karol Adamiecki (Marsh, 1975), un ingeniero polaco interesado en el estudio tanto de las ideas como en las técnicas de administración. Años después, a principios de los años 1900, Henry Gantt creó su propia versión, siendo esta la que se conoce y se usa hasta el día de hoy.

### El ruteo (secuenciación)

En el proceso productivo, es necesario conocer los caminos o rutas seguidas en la producción; se trata de las etapas por las cuales deben pasar los materiales y debe ser pensado en forma estratégica para el éxito de las actividades.

Se define al ruteo en el proceso productivo como la especificación de la secuencia de flujo de operaciones y procesos a seguir para producir un lote de fabricación en particular (Adulyasak, Cordeau, & Jans, 2015).

La principal preocupación de la administración es encontrar la ruta más económica por la cual deben pasar cada una de las unidades hasta llegar a su etapa final (Patil, 2014), esta ruta debe incluir, no sólo, la mejor secuencia de operaciones, sino que a su vez debe asegurar la minimización de los costos de producción, en la **Figura 1.2**. Se esquematizan la secuencia de operaciones o etapas que deben pasar si o



si las pastas alimenticias para su proceso de secado previo al envasado como producto terminado. (1) Amasado, extruido (2) Prensado y Formado (3) Pre-secado (4) Secado (5) Estabilización.

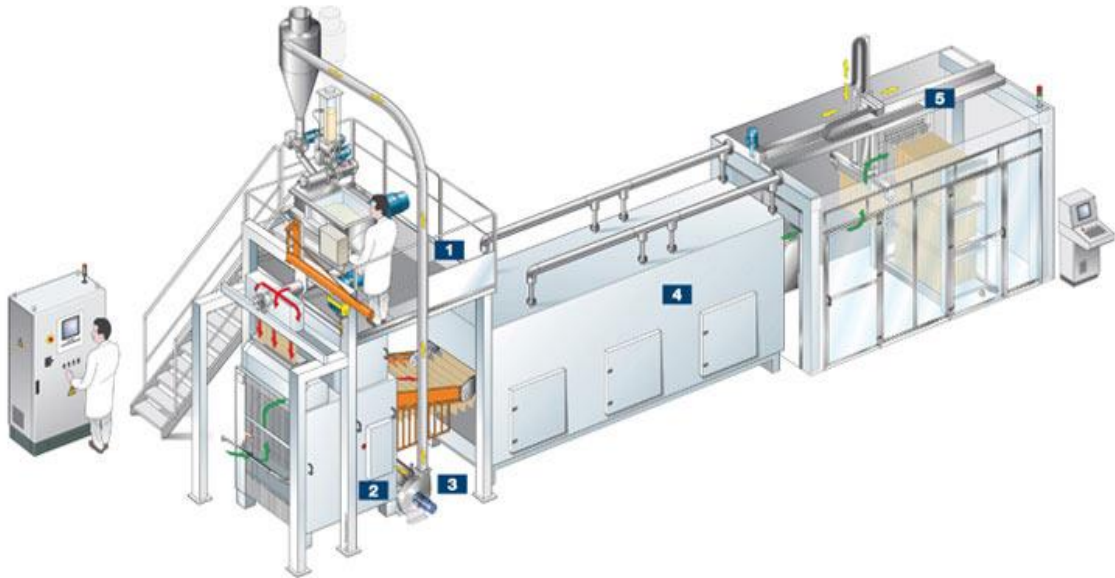


Figura 1.2 *Ejemplo del proceso productivo de pasta.* Fuente: Pavan, 2014.

### **Programación o calendarización**

En esta etapa el objetivo es la determinación del tiempo y las fechas en las cuales cada operación debe iniciar y terminar. Se incluye la programación de los materiales, máquinas y todos los demás elementos necesarios para producir un artículo. Por lo general se asume que los tiempos y fechas de producción son ya conocidos y por tanto fijos.

Programar no es otra cosa que ajustar una serie de trabajos específicos en una línea de tiempo, de tal manera que se pueda fabricar los productos y estos puedan llegar a las diferentes líneas de ensamblaje (Graves, 1981).

### **El despacho**

La función de despacho o envío en el proceso productivo se define como la concesión real de permiso para proceder de acuerdo con los planes de producción ya establecidos. Esta función básicamente se encarga de iniciar el proceso de las operaciones sobre la base de las hojas de ruta y los cuadros de horarios mencionados anteriormente.

### **Seguimiento y agilización**

Esta función se encarga de la evaluación del trabajo realizado. Evidentemente es una función enteramente de control, pues un seguimiento adecuado de los trabajos permite determinar si el programa de producción se cumple adecuadamente o no. De existir algún tipo de problema, el seguimiento puede identificar la situación y el origen del mismo, como por ejemplo el caso de los cuellos de botella, un problema típico de las líneas de producción y que se analiza desde la época de Henry Ford (Mukherjee & Chatterjee, 2012).

### **La inspección**

La inspección es una función importante de control. Se encarga de revisar los artículos y determinar si los productos cumplen las especificaciones de calidad o no. En el pasado se decía que era la etapa final del proceso de producción, en la actualidad se lleva a cabo en varios niveles del proceso de producción, de tal manera que se puedan alcanzar los estándares de calidad determinados. De detectarse alguna anomalía, entonces se toman los correctivos necesarios para evitar que este tipo de situaciones se repita. La correcta aplicación de este tipo de procesos de control minimizan la posibilidad de rechazo de la mercadería, garantizando el mantenimiento de la calidad (Stavropoulos, Chantzis, Doukas, Papacharalampopoulos, & Chryssolouris, 2013).

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El manejo de los recursos de las empresas es un tema de preocupación de todos los administradores y se ha vuelto primordial para que las empresas puedan adquirir ventajas competitivas y sostenibles. Si al aumento de la competencia le añadimos las posibles restricciones que los gobiernos de turno pueden imponer en lo referente a la importación de materia prima o equipos, es evidente entonces que los recursos de las empresas deben ser manejados con mucha cautela, pues la utilización sin control acarrea pérdidas que muchas veces son irreparables. Consideremos por ejemplo que según cifras del Banco Central del Ecuador, la adquisición de materia prima descendió un 30% hasta el año 2017 (Zumba, 2017).

La planificación y control de la producción es fundamental para las empresas, pues se desea ser capaz de satisfacer la demanda de los clientes al mismo tiempo que se desea evitar una sobreproducción de bienes y tener que incurrir en costos de almacenamiento y obsolescencia o el otro extremo que es el de no producir lo suficiente, por lo que se debe incurrir en un esfuerzo adicional para poder cumplir con las obligaciones adquiridas. Pueden existir imprevistos, pero nada puede justificar una mala planificación de la producción pues los costos son muy altos e irrecuperables (Cornelius, 2013).

En este sentido, la programación adecuada de Jobs o trabajos en procesos de manufactura constituye un importante problema que se plantea dentro de la producción en muchas empresas. El orden en que los Jobs son procesados, es de suma importancia, pues determinará algún parámetro de interés que convendrá optimizar en la medida de lo posible. Así, por ejemplo, puede verse afectado el coste total de ejecución de los trabajos, el tiempo necesario para concluirlos o el stock de productos en curso que será generado. Esto conduce de forma directa al problema de determinar cuál será el orden más adecuado para llevar a cabo los trabajos con vista a optimizar algunos de los anteriores parámetros u otros similares (Márquez, 2012).

En el caso de la empresa en estudio, se dedica a la producción de pastas alimenticias (fideos) y los problemas de planificación y programación de producción tienen repercusiones en las siguientes áreas claves:

- Pérdida de ventas al no poder satisfacer la demanda del mercado en el momento que es solicitada por el cliente.
- Sobre stock de SKUs no demandados por error en la programación de las cantidades a producir.
- Sobre costos por consumo de materiales en ordenes no planeadas, costos de almacenamiento por exceso de producción, riesgos por obsolescencia por baja rotación.

La presencia de numerosos estudios avala la planificación de la producción mediante métodos matemáticos de optimización. Para poder diseñar un óptimo modelo de planificación se utilizará el modalizador **Wolfram Mathematica** que brinda una amplia agilidad algorítmica. Posteriormente se analizarán los resultados y se realizarán los reportes y gráficos respectivos en Microsoft Excel.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Toda empresa, cualquiera sea su rol de negocio, anhela la innovación pues ella le permite, entre otras cosas, maximizar la productividad, reducir los costos operacionales, maximizar la utilidad y al mismo tiempo satisfacer los altos estándares de calidad que los clientes esperan al adquirir los productos o servicios que la empresa proporciona (Cooper & Edgett, 2008).

La competencia entre empresas hace que exista una tremenda presión para que se busquen alternativas para lograr los objetivos trazados en cuanto a productividad y existen estudios que demuestran que existe una alta correlación entre la competencia y la productividad (Backus, 2014). En el caso del problema de las líneas de producción en la industria de procesamiento de alimentos, el papel que cumple la planificación es primordial (Matopoulus, Ranitovic, & Bourlakis, 2012).

Al hacer referencia a la planificación de la producción, se toca un tema crucial para las empresas, pues para producir se utilizan recursos de todo tipo, humanos, materiales y financieros, esta realidad no es distinta para la empresa donde se va a desarrollar este trabajo de planificación de la producción.

Actualmente, existe gran presión del Área comercial en contar con abastecimiento oportuno y en las cantidades solicitadas, lo cual no se viene cumpliendo, pues el área de Producción no refleja el cumplimiento de los planes programados, existen errores en la programación de kilos por SKU lo que genera, entre algunas cosas, exceder el plan de producción de un producto no demandado, incumplimiento del

programa de productos necesarios, variaciones en los consumos de materiales programados semanalmente, rezago de producto en un estado de cuarentena o almacenamiento en proceso hasta que sea requerido por plan, riesgo de obsolescencia de producto terminado. Lo cual hace que algunas especificaciones de los productos no se cumplan y por tanto se eleva el riesgo de rechazo de lotes producidos. Una de las principales causas de estos desaciertos en la programación de producción es la alta rotación y mala asignación y entrenamiento al personal mando medio que programa las atareas, pues ante el desconocimiento y falta de un criterio técnico conlleva a que exista demanda insatisfecha y pérdida de clientes. Ciertamente la forma actual de planificar y dar seguimiento la producción semanal no es la requerida u óptima para garantizar el cumplimiento de la función principal del Área.

Este proyecto de titulación busca obtener una herramienta para programar eficientemente, en cantidad, oportunidad y calidad los programas semanales del área de producción, los beneficios a obtener se podrán validar con la aplicación del modelo matemático a la brevedad posible en la empresa, pues ayudará enormemente a determinar las cantidades óptimas a producir y envasar al menor costo, sin olvidar que la satisfacción de los clientes es primordial para toda empresa.

## **1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un modelo matemático para la planificación de la producción de bienes perecederos que indique las cantidades óptimas a producir y envasar semanalmente.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

En cuanto a los objetivos específicos que el presente proyecto de titulación persigue se puede citar:

- *Definir un plan de producción semanal que satisfaga la demanda de los clientes.*
- *Maximizar el uso de los recursos que la empresa posee y destina para la producción de los bienes.*
- *Minimizar los costos de producción tras la reducción de los reprocesos y producción innecesaria de SKUs.*
- *Producir el número óptimo de unidades considerando la capacidad de producción real disponible.*

## **1.5. ALCANCE**

El presente proyecto busca optimizar la planificación semanal de la producción y sus recursos de forma en que se minimicen los costos relacionados a desperdicios, reprocesos y se cumpla oportunamente la demanda de productos desarrollando un plan de producción semanal óptimo que considere las restricciones de lotes mínimos y secuenciación obligatoria.

Los datos tomados son una muestra de una empresa productora de pastas alimenticias cuya data histórica reúne datos del 01 de enero 2019 al 01 de agosto del 2020. De este período se recopilará información de los planes de producción, la demanda de los productos, las capacidades y las horas disponibles para la utilización de la maquinaria. Además, se establecerá la secuencia lógica de las tareas propias del proceso productivo de los SKUs.

## 1.6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se tomará como base el modelo por sus siglas en inglés. En este tipo de modelos se busca determinar la secuencia de tareas que en conjunto producirán las unidades que se van a envasar para posteriormente satisfacer la demanda del mercado ecuatoriano.

La modelización matemática se aplicará en una máquina en particular debido a que la producción actualmente es planificada manualmente y la rotación y curva de aprendizaje del personal asignado a la planificación diaria genera múltiples problemas, entre ellos un exceso de producción en SKUs no requeridos, incumplimiento de la planificación de producción, no disponibilidad oportuna de SKUs, sobretiempos de mano de obra y máquina, rezago y riesgo de obsolescencia del producto. Este modelo matemático fue utilizado en la tesis de maestría “Diseño de un modelo matemático aplicado a la secuencia y balanceo de órdenes de trabajo en una empresa productora de yogurt” (Vega, 2016).

El modelo matemático más utilizado para optimizar la planificación de la producción consta de las siguientes entradas y ecuaciones:

### CONJUNTOS

$i = 1, 2, \dots, n$	Patrones de producción por día.
$j = 1, 2, \dots, m$	Productos.
$k = \text{Lunes, Martes, ..., Sábado}$	Días de producción.

### ESCALARES Y PARÁMETROS

$A_{ijk}$  = Patrones de producción  $i$  por tipo de producto  $j$  por día  $k$ .

$P_{ijk}$  = Relación de producción entre cada patrón de producción  $i$ , tipo de producto  $j$  y día  $k$ .

$T_{ijk}$  = Costo de producción de los patrones de producción  $i$ , tipo de producto  $j$  y día  $k$ .

$B_j$  = La demanda semanal del producto  $j$ .

## VARIABLES

$X_{ijk}$  = El número de unidades a producir del producto  $j$ , en el día  $k$  según el patrón de producción  $i$ .

$h_{jk}$  = Total de unidades producidas, clasificados por tipo de producto  $j$  y por día  $k$ .

$m_j$  = Número de unidades producidas clasificadas por tipo de producto  $j$ .

## FUNCIÓN OBJETIVO

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j \sum_k X_{ijk} * T_{ijk} * A_{ijk}$$

## RESTRICCIONES

(1) Ecuación para la demanda.

$$\sum_i \sum_k X_{ijk} * A_{ijk} \geq b(j)$$

(2) Capacidad de la producción diaria.

$$\sum_i \sum_j X_{ijk} * A_{ijk} \leq \text{Capacidad}$$

(3) Ecuación de selección de patrón por producto  $j$  por día  $k$ .

$$\sum_i \sum_k X_{ijk} * A_{ijk} \leq 1$$

(4) Capacidad de producción para el envasado de los productos.

$$\sum_i \sum_k X_{ijk} * A_{ijk} \leq \text{Envasado}$$



(5) Variable binaria.

$$X_{ijk} \in \{0, 1\}$$

En lo que respecta a la demanda de los productos o **SKUs**, esta información es suministrada por la empresa. Se considerarán los niveles de inventarios, por lo que al referirnos a la demanda real en realidad estamos considerando la demanda estimada menos el nivel de inventario existente.

Se espera que la modelización matemática minimice los costos y permita la óptima planificación semanal de la producción de los **SKUs** y su posterior envasado.

### 1.6.1. Flujo de desarrollo del proyecto



Figura 1.3 **Diagrama de Flujo** Fuente: Perea Layme, Kathia P., 2020

## 1.7 ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En este capítulo se ha descrito de manera simplificada el problema motivo de investigación, la justificación y objetivos; los capítulos restantes de este proyecto de titulación se revisan conceptos, se desarrolla el modelo matemático y se analiza los resultados, estos temas serán analizados en detalle en los siguientes capítulos.

El **Capítulo 2**, es el Marco Teórico, en este capítulo se describe los diferentes conceptos o bases teóricas relacionadas a los procesos de la planificación de la producción y así como los antecedentes de la investigación.

En el **Capítulo 3**, se explica la situación actual de la empresa para poder entender los problemas que se generan con el proceso actual de producción, aquí se incluyen las diferentes etapas propias del proceso de producción de los diferentes artículos, así como se define la secuencia lógica de las tareas de planificación y programación de producción que sigue el proceso actual y que por tanto deben ser consideradas por el modelo matemático. En este mismo capítulo se plantea la propuesta del modelo matemático que incluye la secuenciación de los formatos a producir dentro de la línea, se define las entradas del modelo matemático que al final entregará la planificación de la producción semanal.

En el **Capítulo 4**, se analizan los resultados obtenidos por el modelo y se comparan con lo real obtenido de la situación actual, de tal manera, que se la comparación cuantifique como la aplicación de modelo matemático mejora el proceso productivo, maximizando la productividad, minimizando los sobre costos, satisfaciendo la demanda de los clientes y produciendo únicamente lo que realmente se solicita. Al final de este capítulo se muestra un resumen de los resultados obtenidos, así como la planificación de la producción propuesta por el modelo matemático.

Finalmente, el **Capítulo 5** resume los logros alcanzados por la modelización matemática, así como recomendaciones para que la empresa pueda aplicar este modelo y otros similares en trabajos o necesidades futuras.

# CAPÍTULO 2

## 2.1. BASES TEÓRICAS

### 2.1.1. Que es un Proceso

Se puede definir un proceso como cualquier secuencia repetitiva de actividades que uno o varios recursos (Intervinientes) desarrollan para hacer llegar una Salida a un Destinatario a partir de unos recursos que se utilizan (Recursos amortizables que necesitan emplear los intervinientes) o bien se consumen (Entradas al proceso) (Velasco, 2014).

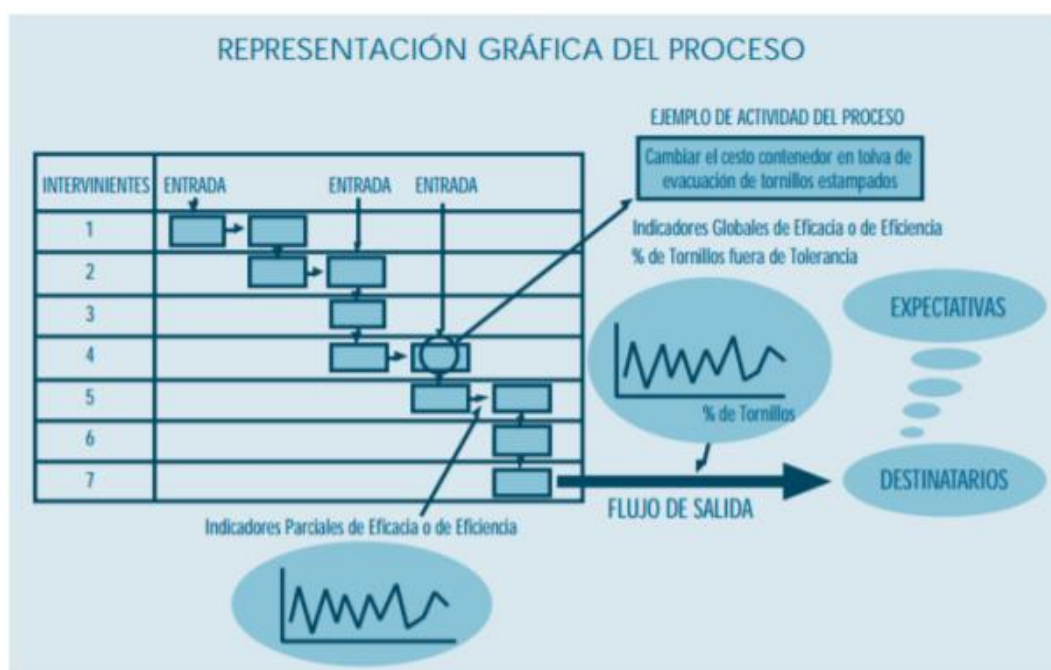


Figura 2.1 *Gráfica de un Proceso* Fuente: Sánchez, 2010

Un proceso se conforma por diversas actividades internas que en forma coordinada logran un valor apreciado para el destinatario del mismo. Las actividades internas de cualquier proceso las realizan recursos: personas, grupos o departamentos de la organización. Esta secuencia de actividades se puede esquematizar mediante un diagrama de Flujo que se muestra en la figura 2.2.

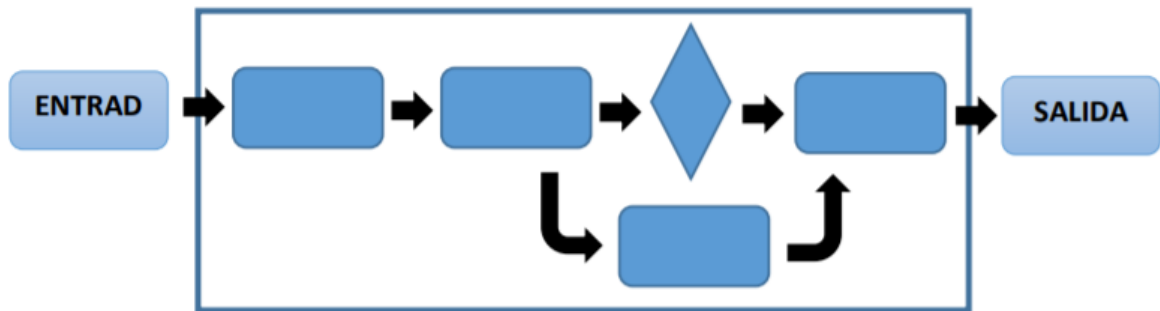


Figura 2.2. *Secuencia de Actividades de un Proceso* Fuente: Alvarado E., 2007

Serán los destinatarios de los procesos, ya sean internos o externos a la organización, los que, en función de sus expectativas con relación al mismo, los que juzgarán la validez de lo que el proceso les entrega. El proceso consume o utiliza recursos que pueden ser, entre otros, materiales, tiempo de las personas, energía, máquinas y herramientas (Alvarado E., 2007).

### 2.1.2. La función de planeación y control de la producción

Chapman indicó que la principal función de toda organización: pequeña, grande, de manufactura, de servicio, comercial, o sin fines de lucro) es la generación, a partir de ciertos procesos, de algún tipo de producto. A fin de que tales organizaciones sean efectivas y eficientes en la atención a los clientes se debe comprender y aplicar algunos principios fundamentales de planificación para la generación del producto, y también para controlar el proceso que lo origina (Chapman, 2006). La Planeación de la Producción tiene como objetivo prever y movilizar todos los recursos necesarios para la producción de un bien, o para la prestación de un servicio, en el plazo adecuado y en las cantidades correctas. Eso implica la determinación y cálculo de todos los recursos necesarios a la ejecución de las órdenes de producción (Bulfin, 1998).

La planeación de la producción presenta tres procesos básicos: planeación agregada, programa maestro de producción y planeación de los requerimientos de materiales. El proceso normal de la planeación consiste en desarrollar planes agregados con el objetivo de equilibrar la demanda con los niveles de capacidad e inventario disponibles. Por su parte el programa maestro de producción toma las demandas previstas y determina un programa de actividades de producción que se

utiliza como insumo para las planeaciones de requerimiento de materiales, que proporciona los requerimientos de las partidas de materiales y materias primas (Schroeder, 1992).

Se recurre a métodos cualitativos y cuantitativos para formular planes, programas y controles de producción (Chapman, 2006). Los métodos cualitativos comprenden el consenso entre los grupos y las razones de inventario; los métodos cuantitativos incluyen técnicas gráficas, diagramación, programación matemática, estrategias específicas de prueba y error, simulación, reglas de decisión, y un conjunto de métodos heurísticos.

La programación lineal es un método de optimización matemático que permite obtener un adecuado plan de producción que minimiza un conjunto de costos (mano de obra, materiales, inventarios, mantenimiento, producción, etc.) sujeto a restricciones de capacidad de planta y disponibilidad de recursos de producción (Chapman, 2006).

### 2.1.3. Flujo de actividades de planificación y control

Una vez que una empresa define su entorno de producción y la categoría de proceso, se comienza a planificar la producción. En este apartado, se explican los diferentes niveles de planificación para gestionar la producción en la empresa. Véase Figura 2.3.



Figura 2.3. Entorno de la Planeación de Producción Fuente: Chapman, 2006

En términos generales, partiendo de un plan muy general, el Plan Estratégico, se van desarrollando planes mucho más específicos, Plan de requisitos de materiales. A medida que el diagrama avanza de arriba abajo, el nivel de detalle se incrementa y los horizontes de tiempo disminuyen (Chapman, 2006). A continuación, se va a describir cada nivel:

- ***Planificación Estratégica***

- Es de largo plazo.
- Establece como alcanzar los objetivos y metas de acuerdo con las capacidades de la empresa y el entorno político y económico.
- Se delinearán las líneas de productos, los niveles de calidad y precio y las metas de penetración en el mercado (Chapman, 2006).

- ***Planificación Agregada de la Producción o Plan de ventas y de operaciones***

- Es de mediano plazo.
- Especifica los requisitos de producción por grupos (familias o tipos) de productos principales, ya sea en horas de trabajo necesarias o en unidades de producción por periodos mensuales.
- Existen tres métodos básicos: nivelación, caza o híbrido.
- El horizonte de planificación suele ser de 12 a 18 meses.
- Sus entradas principales son la Previsión de Ventas de Familias y el Plan de Recursos.
- Trata de encontrar la combinación de niveles de inventarios y mano de obra mensuales que minimice los costes de producción (Chapman, 2006).

- ***Programa Maestro de Producción (PMP) – Master Production Schedule (MPS)***

- Es de mediano plazo.
- El objetivo principal es balancear el suministro y la demanda periodo a periodo manteniendo un nivel deseado de servicio al cliente y una inversión en inventario adecuada.

- Su entrada fundamental es el Plan Agregado. Las unidades de productos a fabricar se obtienen a través de la desagregación.
  - El horizonte suele ser de 3 a 6 meses. Los periodos son semanas.
  - En los primeros periodos (corto plazo), el MPS se considera fijo (Chapman, 2006).
- ***Planificación de la capacidad***
    - Es de mediano plazo.
    - Esta actividad revisa el MPS para asegurar que no existan restricciones obvias de la capacidad que requieran cambios del programa.
    - Se trata de verificar que se haya asignado la capacidad suficiente a las instalaciones de producción y almacenamiento, al equipo y a la fuerza de trabajo, para proporcionar los materiales cuando se requieran (Chapman, 2006).
- ***Planificación de necesidades de materiales – Materials Requirements Planning (MRP)***
    - Es de corto plazo.
    - Su entrada principal es la salida del Plan Maestro de Producción (PMP).
    - Este sistema toma las necesidades brutas de productos finales del PMP y las transforma en necesidades netas teniendo en cuenta la disponibilidad y la recepción programada y, además, realiza la explosión de materiales para el cálculo de las necesidades netas de los componentes.
    - El MRP especifica cuándo hay que elaborar las órdenes de compra y de producción de cada parte y submontaje para terminar a tiempo los productos (Chapman, 2006).
- ***Planificación de las Necesidades de Capacidad – Capacity Requirements Planning (CRP)***
    - Es de corto plazo.
    - Su entrada principal son las órdenes planificadas provenientes del MRP.
    - Proporciona un programa detallado de cuándo hay que ejecutar cada operación en un centro de trabajo y cuánto tardará el proceso (Chapman, 2006).

#### **2.1.4. Planificación de requerimientos de capacidad**

De acuerdo a lo indicado por Villavicencio y Moran (2013), la Planificación de requerimientos de capacidad o CRP es definido como la planificación de los recursos de máquina y mano de obra necesaria para realizar una serie de trabajos en un plazo determinado. El CRP es una herramienta de gestión que permite la toma de decisiones tanto a largo, medio y corto plazo, dependiendo del horizonte de planificación que se tome.

A largo / mediano plazo el CRP aporta una visión clara sobre la capacidad productiva, permitiendo tomar decisiones tipo subcontratación de trabajos, adquisición de nuevas máquinas, ampliación de instalaciones, ampliación o disminución de mano de obra, ampliación de horas extras durante la jornada de trabajo. A corto plazo el CRP permite tomar decisiones que pueden afectar incluso al MRP, variando la necesidad en fecha de los materiales por falta o exceso de capacidad productiva (Villavicencio & Moran, 2013).

El CRP aporta una visión más clara de la capacidad de trabajo y la cantidad de trabajo que tiene una organización en un período de tiempo, de esta manera poder realizar la planificación de la carga de trabajo repartiéndola sobre la capacidad de trabajo disponible minimizando stocks y ocupando toda la capacidad productiva (Villavicencio & Moran, 2013).

#### **2.1.5. Programación de la producción**

Villavicencio y Moran (2013) indican que la programación es el último paso dentro del proceso jerárquico de planeación y control, está constituido por el programa final de operaciones, el mismo que permite definir responsabilidad a cada trabajador para poder cumplir con el MPS, el plan agregado de producción y los planes estratégicos de la organización. Es importante dentro de esta fase tomar en consideración el tipo de configuración productiva que posee el centro de producción de la organización; pues dependiendo de ésta, será la técnica o procedimiento a emplear en su programación y control. Básicamente la configuración de los talleres puede ser de dos tipos:



### **A) Talleres de configuración continua o en serie:**

Aquellos en donde las máquinas y centros de trabajo se organizan de acuerdo a la secuencia de fabricación (líneas de ensamblaje), con procesos estables y especializados en uno o pocos productos y en grandes lotes, además hay poco inventario en proceso y el tiempo de producción es corto. En ellos, las actividades de programación están encaminadas principalmente, a ajustar la tasa de producción periódicamente (Villavicencio & Moran, 2013).

### **B) Talleres de configuración por lotes:**

En los que la distribución de máquinas y centros de trabajo se organizan por funciones o departamentos con la suficiente flexibilidad para procesar diversidad de productos. Éstos pueden ser de dos tipos:

- Configurados en Flow Shop: Donde los distintos productos siguen una misma secuencia de fabricación.
- Configurados en Job Shop: Aquellos donde los productos siguen secuencias de fabricación distintas (Villavicencio & Moran, 2013).

#### **2.1.5.1. Asignación de cargas**

Se define como la asignación de tareas a cada centro de trabajo o de proceso, que permite controlar la capacidad y la asignación de actividades específicas en cada centro de trabajo. En general las técnicas más empleadas en la asignación de carga son: Gráficos Gantt, perfiles de carga o diagramas de carga, métodos optimizadores (algoritmo de Kuhn o método Húngaro) y soluciones heurísticas (método de los índices) (Villavicencio & Moran, 2013).

#### **2.1.5.2. Secuenciación de pedidos**

Consiste en determinar el orden en que serán procesados los pedidos en cada centro de trabajo, una vez establecida la existencia de capacidad. El problema de la secuenciación se hace más complejo en la medida que aumenta el número de

centros de trabajo, sin importar la cantidad de pedidos; así mismo, es importante tomar en cuenta el tipo de configuración de la organización, pues de esto depende la aplicabilidad de las diferentes técnicas (Villavicencio & Moran, 2013).

En lo referente a centros configurados en Flow Shop, las técnicas más conocidas para secuenciación de una máquina son algoritmo húngaro, algoritmo de Kauffman y los sistemas Kanban; mientras que para secuenciación de n máquinas son reglas de Johnson para N pedidos y M máquinas, algoritmo de Bera y técnicas de simulación (Villavicencio & Moran, 2013).

Los centros configurados en Job Shop, debido a la diversidad en la secuencia de operaciones, es más difícil emplear técnicas de optimización, dado que la secuencia de operaciones, se establece en función de los objetivos específicos de cada programador, a través del uso de reglas de prioridad como:

FCFS : First come / First serve (primero en llegar, primero en ser atendido).

FISFS: First In System / First Serve (primero en el sistema, primero en ser atendido).

SPT : Shortest Processing Time (menor tiempo de procesamiento).

EDD : Earliest Due date (fecha de entrega más próxima).

CR : Critical Ratio (razón crítica o ratio crítico).

### **2.1.5.3. Programación detallada.**

Determina los momentos de comienzo y fin de las actividades de cada centro de trabajo, así como las operaciones de cada pedido para la secuencia realizada. Las técnicas más utilizadas son: programación hacia adelante y hacia atrás, listas de expedición, gráficos Gantt y programación a capacidad finita (Villavicencio & Moran, 2013).

### **2.1.6. Scheduling**

Scheduling (Programación) es un proceso de toma de decisiones que se utiliza de forma regular en muchas industrias manufactureras y de servicios. Se ocupa de asignar recursos para los Jobs en determinados períodos de tiempo y su meta es

optimizar uno o más objetivos. Los recursos pueden ser máquinas en un taller, pistas en un aeropuerto, equipos en un sitio de construcción, unidades de procesamiento en un entorno informático, etc. Los Jobs pueden ser operaciones en un proceso de producción, despegues y aterrizajes en un aeropuerto, etapas en un proyecto de construcción, ejecuciones de programas informáticos, etc. Cada Job puede tener un cierto nivel de prioridad, un tiempo de inicio lo más anticipado posible y un tiempo de finalización. Los objetivos también pueden adoptar muchas formas diferentes. Un objetivo puede ser la minimización del tiempo de finalización del último Job, o la minimización del número de Jobs completados después de sus respectivos tiempos de finalización (Pinedo, 2016).

**A. Producto-Proceso y Scheduling.** En el ámbito de la fabricación se pueden encontrar casos simples como secuenciar un conjunto de tareas sobre una máquina determinada hasta situaciones más complejas como es el sistema de fabricación Job Shop. Para visualizar la complejidad, en la Figura 2.4 se muestra una Matriz Producto-Proceso, inicialmente desarrollada por Hayes & Wheelwright (1979) según se cita en Laviós (2013).

		PROCESO		PRODUCTO			
Orientación	Control	TIPO DE PROCESO Y FLUJO	VARIEDAD				
			MUY ELEVADA	BASTANTE ELEVADA	MEDIA	BAJA O MUY BAJA	
Orientación al proceso	Ciclo controlado por operario	Puestos fijos: Unidades diferenciadas	VOLUMEN				
			MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ELEVADO	
Orientación al producto	Ciclo automatizado	Funcional: Lotes	FUNCIONAL A MEDIDA (Job Shop) (1), (2)				
			FUNCIONAL POR LOTES (1), (2), (3)				
	Ciclo automatizado	Línea o cadena: Flujo unidad a unidad	PRODUCCIÓN AJUSTADA (LEAN) (1), (2), (3), (4), (5), (6)		LÍNEA O CADENA (Flow Shop) Ciclo tiempo operario (3), (4), (5), (6)		
SISTEMA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE (FMS) (2), (3), (4), (5)			LÍNEA O CADENA (Flow Shop) Automatizada/Robotizada (4), (5), (6)				
		Flujo continuo (No discreto)				FLUJO CONTINUO (4), (5), (6)	

Características de competitividad : (1)Innovación (2)flexibilidad (3)funcionabilidad (4)Calidad (5)Coste (6)Plazos

Figura 2.4 Matriz Producto - Proceso Fuente: Laviós,2013.

Según Cuatrecasas (2009) citado por Laviós (2013), en la Matriz Producto-Proceso, se define los siguientes tipos de producción:

- Producción en Flujo Continuo: En esta modalidad productiva cada máquina y equipo realizan siempre la misma operación y el objeto en proceso es suministrado por la máquina precedente. Se caracteriza por tener un gran volumen de producción con calidad y costes muy bajos. Además, la variedad de los productos es pequeña y el diseño rigurosamente normalizado. En esta configuración, el Scheduling de operaciones se limita a determinar el tiempo de funcionamiento de la línea (Laviós, 2013).
- Producción Flow Shop: Es un sistema de producción orientado a producto. Se fabrican lotes grandes de productos de poca variedad, pero técnicamente homogéneos. Los productos requieren una secuencia similar de operaciones, aunque algunos de ellos puedan necesitar alguna operación diferente. Los puestos de trabajo con sus máquinas y equipos se disponen siguiendo el flujo de operaciones que sigue el producto. En esta configuración, el Scheduling de operaciones consiste en determinar la secuencia de entrada a la cadena de producción (Laviós, 2013).
- Producción Funcional por Lotes: El producto no es a medida, los lotes son de gran volumen. La organización de la distribución del trabajo en la planta está orientada al proceso: recorridos largos y diversos para el producto, muchas actividades de manipulación y transporte, altas esperas en colas del producto y volúmenes importantes de stock. Consecuentemente, aparecen muchas actividades sin valor añadido (tiempos largos de proceso, stock, etc.). En este caso, el Scheduling de operaciones incluye la asignación de carga (si existe posibilidad de realizar el Job en más de una máquina), la secuenciación y la temporización (Laviós, 2013).
- Producción Funcional a Medida (**Job Shop**): Se producen lotes más o menos pequeños de una amplia variedad de productos de poca o nula normalización. Generalmente, la distribución de planta está orientada al proceso, es decir, los equipos se agrupan en talleres o centros de trabajo según la función que

desarrollan, son versátiles y permiten ejecutar operaciones diversas. Es habitual que exista pedidos pendientes (consecuentemente con prorroga en los plazos de entrega), gran cantidad de stocks de materiales y Jobs en curso. Este tipo de producción acarrea cuellos de botella en determinados puestos de trabajo y se acumula mucho material en las colas internas. Al igual que en el caso anterior, el Scheduling de operaciones incluye la asignación, la secuenciación y la temporización (Laviós, 2013).

Actualmente, las nuevas tendencias de gestión como Lean Manufacturing (Producción Ajustada) han hecho que se rompa el principio de la diagonal de la Figura 2.4. Los nuevos modelos, mostrados en color gris en la Figura 2.4, pretenden incluir características de competitividad como calidad, tiempo y coste, de los tipos de producción en línea; y la flexibilidad, funcionalidad y alta variación de producto, de los entornos enfocados a procesos. Brevemente se describen a continuación:

- La producción Lean, según Womack et al. (2007) citado por Laviós (2013), tiene por objeto optimizar los recursos y actividades necesarias para realizar la producción, utilizando procesos con orientación al producto. También, se busca lotes de producción pequeños y elevada variación de producto para alcanzar una mayor flexibilidad (zona izquierda de la matriz Producto-Proceso). El Scheduling de operaciones, en este caso, incluye la asignación, la secuenciación y la temporización.
- Los Sistemas de Fabricación Flexible (FMS-Flexible Manufacturing Systems), según Vollmann et al (1997) citado por Laviós (2013), son sistemas altamente automatizados y eficientes, con flexibilidad similar a los equipos poco especializados, que por sus bajos tiempos de configuración los hace adecuados para producciones de pequeños lotes, que permiten cambiar rápidamente a distintas variantes del producto. El Scheduling de operaciones, en este caso, incluye la asignación, la secuenciación y la temporización.

### **2.1.7. Job Shop Scheduling (JSS)**

El problema del Job Shop, y en general cualquier problema de scheduling, es un problema de optimización combinatoria. La función del scheduling es la asignación de recursos limitados a tareas a lo largo del tiempo y tiene como finalidad la optimización de uno o más objetivos.

Un sistema de fabricación tipo Job Shop (JS) se caracteriza por una alta variedad de productos y bajo volumen de producción, la programación de operaciones en ella (Job Shop Scheduling, JSS) puede plantearse como un problema de  $n$  Jobs y  $m$  máquinas, en donde cada Job está conformada de una secuencia ordenada de operaciones que deben ser procesadas, sin interrupción, en una de las máquinas. Se considera que en un mismo Job cada una de sus operaciones se debe procesar en máquinas diferentes, los tiempos de procesamiento están en unidades de tiempo. La minimización del Makespan, es el objetivo más utilizado encontrado en la literatura, se logra de una secuencia de procesamiento con menor tiempo posible. Teniendo en cuenta este criterio de optimización el JSS está clasificado como NP-Hard. Garey et al. 1976 citado por (De Melo, 2014).

El problema, entonces, consiste en encontrar una secuencia de operaciones en las máquinas, optimizando un indicador de rendimiento típico, como por ejemplo, el Makespan, es decir, el tiempo necesario para completar todos los Jobs (Pezzella, 2008).

## **2.2. ESTADO DEL ARTE**

La investigación en teoría de scheduling ha venido desarrollándose en los últimos 40 años y ha sido objeto de mucha literatura con técnicas que van desde reglas de “despacho” (dispatching) no refinadas, hasta algoritmos paralelos de ramificación y poda altamente sofisticados, heurísticas basadas en “cuellos de botella” (bottleneck based heuristics), y algoritmos genéticos paralelos. Además, dichas técnicas han sido formuladas desde un amplio espectro de investigadores, desde científicos de gestión, hasta expertos en producción. Diversas opiniones existen con respecto al origen del Job Shop Scheduling Problem. B. Roy y B. Sussman en 1964 fueron los primeros en proponer la representación mediante el grafo disyuntivo y Egon Balas

en 1959 fue el primero en aplicar un acercamiento enumerativo basado en este grafo. Sin embargo, existen trabajos anteriores: B. Giffler y G. L. Thompson propusieron en 1960 un algoritmo de reglas de despacho de prioridad, J. R. Jackson en 1956 generalizó el algoritmo del flow-shop de S. M. Johnson de 1954 al algoritmo del job-shop y en 1955, S. B. Akers y J. Friedman aplicaron un modelo de algebra booleana para representar secuencias de procesamiento. Estas investigaciones trataron con un problema consistente de  $n$  trabajos,  $m$  máquinas y relaciones de precedencia, por lo cual cada trabajo se procesa a través de las máquinas en un orden diferente. Aunque no está claro quién debería llevarse el crédito por haber propuesto por primera vez el Job Shop Problem, se acepta que el libro “Industrial Scheduling” editado en 1964 por Muth y Thompson, constituye la base para la mayoría de las investigaciones que siguieron. Las técnicas de resolución del Job Shop Problem se pueden dividir en dos categorías; las técnicas de optimización, que producen una solución globalmente optima, pero requiere un tiempo de computación muy alto, y las técnicas de aproximación, que proporcionan una buena solución en un tiempo aceptable (Victor Peña, 2006).

Dada las implicaciones económicas, el problema de planificación de la producción se ha tratado ampliamente a lo largo de los años. Los modelos matemáticos propuestos pueden buscar la minimización de los costos operacionales, la maximización de la productividad, de los ingresos o la maximización de la utilidad, según se disponga, o no, de los datos necesarios para modificar el modelo clásico de planificación de la producción.

A continuación, una breve reseña de trabajos de investigación que abordan el problema de la planificación de la producción.

### **2.2.1. Optimización de Makespan mediante un modelo matemático de programación lineal entera mixta JSSP**

En el paper “***Modelo matemático para la programación de la producción en compañías fabricantes de alambres y cables para la construcción***” (Escobar, Marceles Gonzales, & Quevedo, 2020) consideran el problema de programación de la producción multi-etápica y multi-producto en compañías fabricantes de alambres y cables para la construcción. La problemática radica en la minimización del

Makespan. El problema se ha solucionado con un modelo matemático de programación lineal entera mixta.

En particular, el modelo propuesto considera: (a) variables críticas de los procesos, (b) carga de máquinas, y (c) secuenciamiento de actividades a programar. La eficiencia del modelo matemático propuesto se ha probado con información real obtenida de una de las compañías más importantes en la fabricación de alambres y cables para la construcción en Colombia. El principal aporte del paper es la estructura del modelo y el desarrollo de una metodología para la planificación de la toma de decisiones en la industria de la construcción. El modelo fue probado con información real obtenida de una compañía multinacional colombiana del sector. Los resultados obtenidos demuestran la eficiencia del modelo en la solución de la problemática propuesta, así como el beneficio obtenido para la compañía al implementar dicha estrategia. En particular, se ha disminuido en 1.5 días el makespan, consecuentemente con una disminución del inventario en proceso de cerca de 215.000 USD y un costo de capital de 6.000 USD (Escobar, Marceles Gonzales, & Quevedo, 2020).

### **2.2.2. Aplicaciones en la industria textil**

En la investigación ***“Métodos eficientes de producción aplicados en una industria textil”*** (Cabrera & Saavedra, 2008), los autores argumentan que la mala administración gubernamental ha colocado gran presión sobre los hombros de los administradores, pues ellos deben encontrar la forma de ser competitivos en un ambiente donde predominan productos textiles importados a menor costo. En la tesis se aborda el tema de la planificación de la producción y se plantea un modelo matemático que considera como restricciones el salario a percibir por el personal, el costo de contratación, el costo de despido, los costos de horas normales y horas extras, el costo de adquisición de maquinaria, siendo el objetivo la minimización de los costos operativos mensuales. Los resultados indicaron que la empresa mejoró su proceso de contratación de mano de obra y al mismo tiempo se pudo realizar la planificación estratégica para los siguientes 12 meses en que tuvo lugar el estudio.



### **2.2.3. Estudio de caso Carpintería de Aluminio**

En la investigación ***“Optimización de la Producción: Estudio de caso Carpintería de Aluminio”*** (López, Castro, & Guerra, 2017), los autores indican que uno de sus objetivos era la aplicación de modelos matemáticos para que sean tomados en cuenta en la planificación empresarial de tal forma que el documento aporta información valiosa y detallada para hacer frente al plan de producción con argumentos científicos. El modelo matemático de planeación de la producción que los autores proponen considera entre sus restricciones la demanda de productos para el período de planificación, mismo que los autores tratan de forma general indicando que puede ser anual, mensual, trimestral, etc. También se incluye entre las restricciones la disponibilidad de materia prima para el período de planificación, así como la disponibilidad de recurso humano para las operaciones en el mismo período, otra restricción se refiere a la capacidad instalada de los equipos en la empresa, finalmente se considera como restricción la existencia de un fondo de salario para el pago de los obreros. El objetivo del modelo matemático de planificación de la producción que los autores plantean en su estudio también se presenta de forma general, pudiendo ser adecuado para minimizar o maximizar funciones de acuerdo con los datos con los que se dispongan, a manera de ejemplo, los autores resuelven su modelo con el objetivo de minimizar los costos operacionales. Los resultados obtenidos indican que mediante la aplicación del modelo matemático se pudo seleccionar con argumentos científicos los niveles de producción y el beneficio se vio reflejado en una disminución de costos equivalente al 6% y un incremento del 3% en la utilización de las capacidades de producción.

### **2.2.4. La teoría de restricciones y su efecto en la gestión de la productividad**

En la tesis ***“Modelo de optimización en producción basado en la teoría de las restricciones como estrategia para la gestión de la productividad. Caso de Aplicación: Cantera de agregados para la construcción Cimaco”*** (Morales, 2016), la autora del proyecto busca resolver en forma eficiente el plan de producción de la empresa Cimaco SAS, justifica este enfoque al considerar que la falta de una programación eficiente es la causa de múltiples problemas como son

los relacionados a retrasos en los pedidos, rentabilidad, exceso de inventario, entre otros. El modelo matemático planteado para la planificación de la producción de la empresa Cimaco SAS considera entre sus restricciones la capacidad de extracción de material de las terrazas o bancos de tierra, las cantidades máximas y mínimas que es posible extraer, la capacidad de procesamiento de una excavadora, cargador y zaranda, la capacidad de transporte, el inventario inicial, la calidad mínima esperada del producto, entre otras y el objetivo es la maximización de la utilidad. Los resultados obtenidos por el modelo matemático indican que se produjeron incrementos en los niveles de venta y la utilidad se incrementó en un 13%.

#### **2.2.5. Optimización de una línea de manufactura**

En la tesis ***“Optimización de la producción de una línea de manufactura mediante un modelo matemático”*** (Zamarripa, 2013), la autora se propone resolver el problema de programación y secuenciación de actividades en el área de producción, considerando los posibles cuellos de botella presentes en el momento del estudio en la empresa Rockwell Automation. El modelo matemático de planificación que la autora propone incluye como restricciones el tiempo disponible en horario normal para la fabricación de piezas, el tiempo extra disponible para la fabricación en caso de ser necesario, el tiempo disponible por día en los probadores, el material en proceso, la demanda de los productos, la cantidad máxima de piezas a ser probadas, etc. La función objetivo es la Maximización del tiempo libre ponderado entre líneas de ensamblaje, considerando tiempos de retrasos y penalizaciones por retraso. Al aplicar el modelo matemático de programación y secuencia de actividades de producción, la autora reporta que ahora existe un procedimiento científico para la asignación de las actividades, se redujo el tiempo de elaboración del plan de producción lo que trae consigo más tiempo para analizar los datos obtenidos y así tomar decisiones con base a una mejor información.

### **2.2.6. Optimización de planes semanales de producción**

En la tesis ***“Optimización del plan semanal de producción de productos perecederos utilizando modelos matemáticos”*** (Iturralde & Varas, 2015), los autores buscan optimizar la planificación de la producción de rosquitas de cebolla, producto perecedero que es usualmente destinado a la venta en supermercados. El modelo de planificación que los autores plantean en su tesis considera entre sus restricciones la capacidad de producción, la entrada y salida de productos, el pedido mínimo de los clientes, la demanda de los productos y el lote de producción, siendo la función objetivo la minimización de los costos de producción. Entre los resultados obtenidos por la implementación del modelo matemático de planificación de la producción propuesto por los autores, podemos citar que el número de horas extras necesarias para la fabricación de los productos se redujo en un 25% y los costos de producción se optimizaron, de tal forma que decaen hasta \$288 a la semana.

En conclusión, según los estudios citados, la aplicación de modelos matemáticos a la planificación trae consigo varios beneficios, dependiendo de la información disponible y del objetivo planteado. Se espera igualmente que, al aplicar un modelo matemático de planificación adaptado a las necesidades de la empresa productora y comercializadora de pastas, se pueda mejorar la planificación de la producción considerando las capacidades de la máquina, la secuenciación y la capacidad de las máquinas de envasado.

# CAPÍTULO 3

En este capítulo se detalla la información necesaria para diseñar el modelo de optimización, se analiza la situación actual de la compañía desde enero 2019 a agosto 2020, se hace una descripción del proceso productivo que será objeto de mejora, se revisa data histórica y estadística de diversas variables que influirán en el cumplimiento de la programación de producción, como son la capacidad del proceso, eficiencia y costos de producción inherentes; se describe la forma actual en que se realizan los procesos de Planificación y Programación de la Producción y la evaluación de ciertos indicadores de eficiencia que muestran cuantitativamente el nivel de desempeño actual.

## 3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La empresa de donde se toman los datos para este proyecto de titulación tiene cerca de 50 años dedicada a la elaboración de alimentos y bebidas de consumo masivo, integra 6 plantas de producción con más de 10 categorías de productos que han forjado una alta reputación y valor de marca que los hace estar año a año dentro del **Top of Mind** de los hogares ecuatorianos, (Ranking de las marcas nacionales más recordadas en la mente del consumidor). Adicional en la categoría de fabricación y comercialización de pastas alimenticias es una de las principales competidoras dentro del segmento y posee más del 10% de participación de mercado.

Las pastas se encuentran entre los 10 alimentos básicos dentro del hogar ecuatoriano ocupando la posición 7 de 19 categorías de la canasta básica familiar; de acuerdo a los datos de © Kantar Worldpanel, empresa investigadora de mercado, durante el 2019 el mercado de pastas representó un consumo anual cercano a las 30 millones de kilos con un equivalente a \$84 millones de dólares.

El mercado ecuatoriano cuenta con por una amplia oferta de pastas alimenticias, actualmente el mercado es movido por más de 10 empresas nacionales que han decidido competir entre ellas y hacerle frente a las importadas, ofreciendo una gran variedad marcas (Sumesa, Oriental, Don Vittorio, Amancay, Toscana, Noelia, Doña Petrona, Cayambe, Paca, Lonchys).

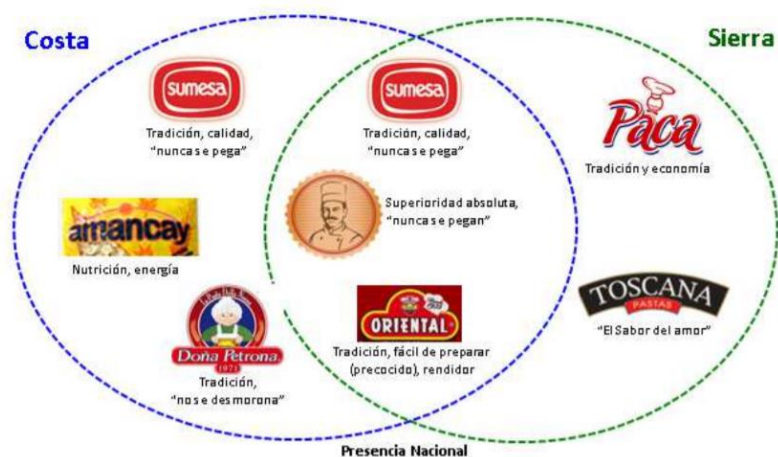


Figura 3.1 Presencia Regional de Marcas de Pastas Fuente: Cortez, 2017

Mayo del 2019 marca un hito para la empresa en estudio, en dicho mes se realiza la migración de su ERP a uno de los sistemas más robustos y de manejo global: SAP, con esta implementación la compañía buscaba planificar de manera óptima sus recursos integrando en tiempo real las diferentes operaciones de la empresa y logrando un mayor control de la producción, logística, inventarios y costos asociados a la operación. Esta migración coincidió con cambios importantes en la estructura jerárquica del área de producción, con lo que se reasignaron tareas de programación, asignación de recursos y toma de decisiones a personal de mandos medios, con la finalidad de empoderar y formar las escaleras de desarrollo profesional.

Para julio de 2019 se realizó uno de los cambios corporativos más importantes del siguiente año, un rediseño del Área Comercial y con esto la incorporación de un nuevo Director Nacional de Ventas, quien planteo desde el inicio de su gestión el

objetivo de elevar las ventas en al menos un 30% YTD. Iniciándose así un incremento paulatino y consistente de la demanda de diferentes SKUs del portafolio de la compañía. Este punto ha sido el primero de gran influencia que pone en evidencia ciertas oportunidades de mejora en la organización del área de producción.

### **3.1.1. Descripción del Proceso de producción**

Las Pastas Alimenticias (fideos) son productos obtenidos mediante un proceso continuo de secado, en el cual se debe cuidar características tecnológicas de Temperatura y Humedad fundamentales y específicas para cada uno de los diferentes formatos (figuras y tamaños).

El proceso inicia en la mezcla de materias primas (sémola de trigo durum, vitaminas y agua) que son amasadas hasta lograr la hidratación y formación de una masa homogénea que será extruida para pasar por medio de moldes que le darán la forma característica a cada una de las variedades de fideos, esta etapa es gobernada por la aplicación general de la tecnología de vacío que evita el estrés térmico y produce una pasta con un mejor rendimiento en la cocción. La etapa siguiente es el secado, que es la etapa más delicada e importante del proceso productivo pues se requiere mantener de forma controlada las variables de los diagramas de secado, es decir, constantes las condiciones termo-higrométricas del secadero para lograr transferir la humedad en exceso de una zona a la otra, lo que mantiene un proceso uniforme y permite evaporar el agua de la pasta alimenticia hasta obtener un producto seco.

Los procesos de producción de las diferentes líneas de pastas con las que cuenta la empresa son muy similares, pues siguen una secuencia de operaciones ligadas estrictamente para dar como resultado un producto terminado dentro de especificaciones y listo para su entrega al mercado. La diferencia entre las líneas está más relacionada con su capacidad de secado, los tipos de formas y figuras (formatos) que se fabrican, los tipos de envasado necesarios y el requerimiento de mano de obra asociado, esto se resume en la Figura 3.2 donde se diagrama un comparativo de 3 diferentes procesos de las líneas de producción.

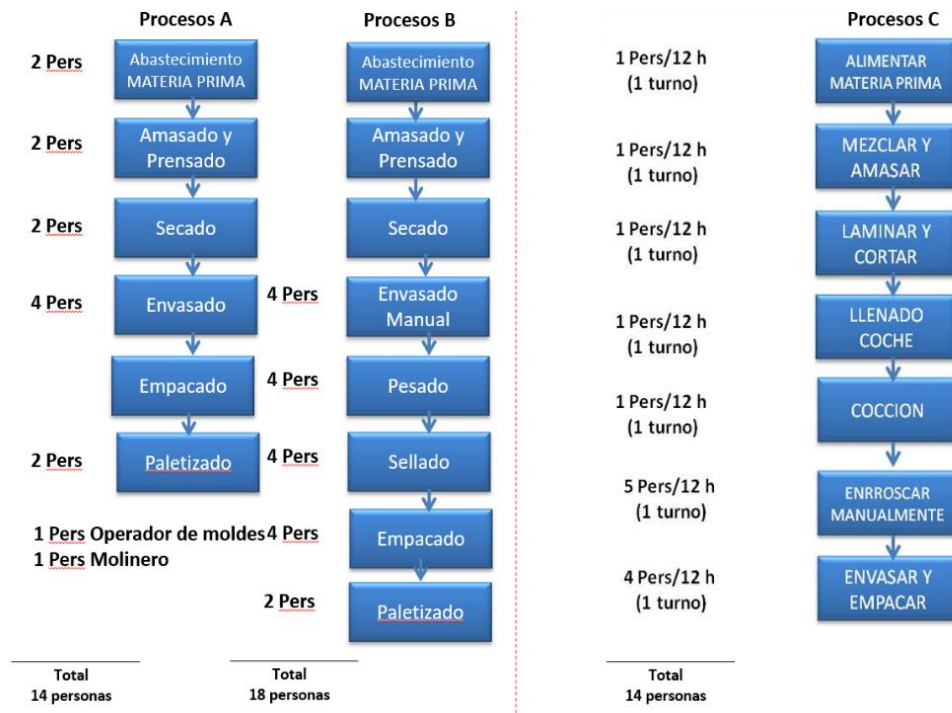


Figura 3.2 Comparativo de Procesos de Producción Fuente: Perea, 2020

### 3.1.2. Capacidad de Producción

La empresa cuenta con 6 plantas para la elaboración de sus diferentes categorías de alimentos y bebidas, la planta en estudio es la de Elaboración de Pastas Alimenticias (fideos), que es el segundo producto en importancia para la compañía en volumen de ventas y rentabilidad.

Tabla 3-1 Capacidades de Líneas de Producción, Fuente. Perea,2020

Líneas de Producción	Nro. de Máquinas	Capacidad Instalada Ton/mes	Demanda Ton/mes	Utilización %
Pasta Italiana Formatos Largos	2	1000	600	60%
Pasta Italiana Formatos Cortos	1	550	400	75%
Pasta Italiana Formatos Roscados	1	300	150	70%
Pasta China Precocida	1	300	200	75%
Pasta China Instantánea	1	600	300	60%

En esta planta de la Planta se cuenta con 7 Líneas de Secado (máquinas) para la producción de más de 30 formatos diferentes y más de 200 SKUs de producto

terminado, en la tabla 3.1 se resume la capacidad instalada de la Planta objeto de estudio del presente proyecto.

El tiempo de operación es al menos 22 días al mes con un promedio de ocupación de 68% y en el último año ha mantenido un incremento de más del 10%.

Dentro de las líneas de secado, se cuenta con gran variedad de tipos y formatos de fideo, es importante resaltar que esto involucra diferentes estándares de producción (kg/hr) por cada formato, pues de acuerdo a sus características, forma y tamaño, ellos tendrán condiciones de procesamiento distintas, lo que se relaciona con velocidades de secado mayores o menores dependiendo del tipo para lograr una extracción homogénea del agua y su estabilidad total como producto seco; en otras palabras, sobre una capacidad nominal de la línea de secado, cada formato tendrá una eficiencia específica, lo que afectará en los costos de producción y en la capacidad para producir ciertos SKUs de producto terminado.

Para este proyecto se tomarán los datos de la línea de pastas que genera el 60% de los SKUs, es decir, es la que produce la mayor cantidad de ítems, por lo que para programar su producción es necesario tomar en cuenta los distintos estándares de capacidad y eficiencia por cada formato, la demanda que se tiene que satisfacer, las horas disponibles en la semana de producción, además de otras variables y restricciones, que mermen las horas efectivas disponibles durante la semana.

Es crítico citar la diferencia entre los tipos de formatos, esto obliga a considerar siempre una secuencia para garantizar que se pueda mantener las características termo-higrométricas que comparten ciertos formatos y lograr la estabilidad durante del producto terminado durante la etapa del secado, pues de no considerarse, y los formatos se ingresaran a la máquina de secado en un orden aleatorio o solo por prioridad de demanda, el resultado sería un producto no conforme (trizado, quemado, húmedo, etc.). Adicional y aunque la demanda no lo requiera, siempre se deberá realizar el Lote Mínimo requerido por cada uno de ellos.

En la tabla 3.2 se resumen los formatos de la línea y sus características principales.



Tabla 3-2 *Principales Tipos de Formatos*, Fuente: Perea, 2020

FORMATO	CAPACIDAD INSTALADA DE LINEA	EFICIENCIA	CAPACIDAD DE SECADO	LOTE MÍNIMO	
	UM		Kg/hr	hr	kg
LAZO PEQUEÑO	1000	33%	330	4	1320
LAZO MEDIANO	1000	45%	450	4	1800
PRECORTADA	1000	95%	950	4	3800
MACARRON	1000	85%	850	8	6800
CODO	1000	80%	800	8	6400
TORNILLO	1000	85%	900	8	7200
PLUMA	1000	90%	850	4	3400
CONCHITA	1000	80%	800	8	6400
PLUMITA	1000	85%	850	8	6800
CODITO	1000	85%	850	8	6800
DEDAL	1000	85%	850	4	3400
RISONI	1000	85%	850	4	3400
DEPORTIVO	1000	85%	850	4	3400
FLAUTITA	1000	85%	850	6	5100

### 3.1.3. Necesidad de Secuenciación

Explicadas las características del proceso de secado, se hace clara la necesidad de unir en diferentes grupos la secuencia en que se deben programar los diversos formatos, estos son ordenados como Prensados y No prensados. La tabla 3.3 recoge los subgrupos en que se clasifican los formatos.

Tabla 3-3 **Secuenciación de Formatos**. Fuente: Perea, 2020

FORMATO	SECUENCIA
LAZO PEQUEÑO	1
LAZO MEDIANO	1
PRECORTADA	2
MACARRON	3
TORNILLO	3
CODO	3
PLUMA	3
DEDAL	3
PLUMITA	4
CODITO	4
CONCHITA	4
RISONI	4
DEPORTIVO	4
FLAUTITA	4

### 3.1.4. Costos de producción

Los costos de producción dentro de la empresa son calculados mediante 4 tasas definidas de la siguiente manera:

- **Materia prima**, este costo integra todos lo relacionado al abastecimiento de los materiales, su precio, transporte, gastos de nacionalización y demás relacionados con los materiales hasta que están disponibles en la Planta, adicional, cada producto (SKU) tiene asignada su tasa de materiales que van a variar tras los consumos respectivos y reales que realice el área de producción en cada orden de fabricación.
- **Material de empaque**, esta tasa tiene contabilizados al igual que la tasa anterior todos los valores relacionados con la logística de abastecimiento de los empaques primarios y secundarios, en cada producto son asignados

considerando el consumo estándar más una variación permitida por merma de este.

- **Mano de Obra Directa**, es otra tasa que es asignada por el cálculo global de todos los colaboradores que trabajan directamente en la operación de fabricación incluidos todos sus beneficios y recursos, esto genera un costo estándar por hora, el cual se asigna a cada producto de acuerdo al tiempo y la necesidad de mano de obra, que varía dependiendo de cada tipo de proceso.
- **Gastos Indirectos de fabricación**, en esta tasa están los gastos administrativos indirectos, gastos en servicios, depreciaciones, etc. que son necesarios para sostener la operación.

### 3.1.5. Planificación de la producción

Este proceso inicia con la entrega del presupuesto mensual de Ventas del Área comercial al Planificador de Producción, quien, en base a las prioridades, los inventarios existentes, stocks de seguridad, cantidades requeridas a producir, lotes mínimos y capacidad de producción, divide el presupuesto en programas de producción semanal, indicando la cantidad específica de unidades por cada SKU que se deben producir durante cada una de las semanas del mes.

Junto con el presupuesto mensual de ventas, se recibe un pronóstico de los próximos 3 meses con lo que el planificador de la producción realizara la calculo o planificación de los materiales (**MRP**) que es la demanda bruta de cada uno de los componentes de los SKU de producto terminado. Este cálculo es enviado mediante un sistema ERP (solicitudes de pedido) al área de Compras para garantizar el abastecimiento oportuno de todas las materias primas, materiales de empaque e insumos necesarios. Considerando ciertos niveles de variación pues el programa podría cambiar de acuerdo con el avance de la demanda durante el mes, lo que obliga al planificador a tener flexibilidad y poder de reacción.

Con el horizonte semanal planificado y la visibilidad de las prioridades requeridas por el Área comercial, el Planificador se reúne semanalmente todos los jueves con el Jefe/Supervisor de Producción para la revisión y aprobación de los planes.

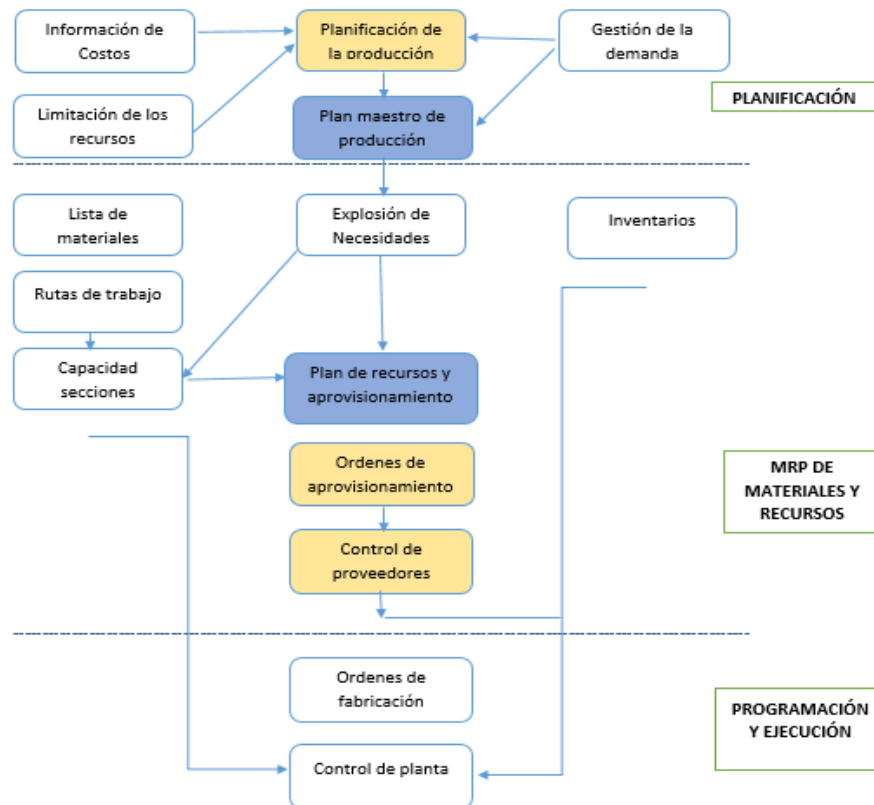


Figura 3.3 *Etapas del Proceso de Planificación* Fuente: Gómez, 2015

### 3.1.6. Programación de la producción

El Gerente de producción junto con el Jefe/Supervisor de producción, en función del plan semanal revisado con el Planificador, establecen el programa de Producción por día y turno para la semana solicitada. Esta programación se realiza de forma manual y se genera una plantilla en Excel que será comunicada a la línea de producción con las horas necesarias para cada línea de Producción.

El programa de producción contempla los tiempos de preparación de línea, las etapas de limpieza, calibración, mantenimiento, secado, envasado, empacado y cuarentena para liberación del producto final.

El programa de SECADO indica el orden de arranque de cada una de las líneas de secado, la cantidad de horas por cada marca y tipo de formato que se deben fabricar, la formulación que debe utilizar y la asignación de mano de obra requerida. El programa de ENVASADO indica la cantidad de pacas (pc) por cada SKU que se deben envasar en cada una de las presentaciones y la cantidad de mano de obra que será asignada dependiendo de la programación.

El supervisor/Jefe de Producción es quien alinea a los equipos operativos y facilitadores de materiales para la solicitud a Bodega de todos los insumos. Con la respectiva programación, los digitadores de producción son los responsables de introducir en el sistema SAP (ERP) las Ordenes de Producción para cada SKU, lo que genera una reserva de materiales a la Bodega General. Para llevar un control de la producción, los supervisores y facilitadores de dicha área recopilan la información de los “Registros de Producción y Empaque” que llenan los operarios de secado y envasado en cada turno y que detallan el producto que se ha envasado, el lote de fabricación y su cantidad, las mermas del proceso, los consumos de materiales, las paradas programadas y no programada, el personal asignado a la operación por turno, entre otros datos; esta información diaria es tomada por los Digitadores del Área, que son los encargados de ingresar en las Ordenes de Producción todos los consumos asociados, los datos de trazabilidad y las cantidades finales producidas.

#### PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL

Linea de Pastas

PASTA LARGA		
Formato	Horas de prod.	OBSERVACIONES
F08 - CABELLO	5	
F39 - LASAÑA	36	
	10 horas	
F6 SPAGUETTHI	56.5	
	<b>97.5</b>	

PASTA CORTA		
Formato	Horas de	OBSERVACIONES
F108 - MACARRON	17.5	
F134 - TORNILLO	27	
F153 - CONCHITA	11	
F188 - CODITO	11.5	
F26 - LASITO	21	
F348 - LAZO	15.5	
	<b>103.5</b>	

Figura 3.4 *Plan de Producción Semanal Actual* Fuente: Datos de la Empresa, 2020.

## **3.2. INDICADORES DE EFICIENCIA**

Al momento de iniciar el desarrollo de la presente investigación, se plantea de manera objetiva la revisión de índices de la Gestión de Producción con respecto al abastecimiento oportuno, en cantidad y calidad de lo solicitado y podemos resumir en los siguientes indicadores la eficacia del Modelo actual de Programación de la Producción.

### **3.2.1. Cumplimiento de Plan de Producción**

Este indicador permite medir si el cumplimiento de la producción ha cubierto de manera oportuna lo planificado; realizando semanalmente la medición del porcentaje de cumplimiento de la fabricación de los diferentes SKUs. Se define como indicador el porcentaje de cumplimiento (%), considerando que el objetivo es que se cumpla con el 100% de la programación, dado que la misma se realiza en base a las capacidades actuales de las líneas y la disponibilidad de recursos y mano de obra.

Analizando el comportamiento del primer semestre del 2020 se tiene un cumplimiento del 86,5% lo que representa un decremento con respecto al mismo periodo del año anterior del 4%.

El histórico del cumplimiento del programa de producción de los últimos 2 años no ha alcanzado el 90% y su tendencia a la baja ha sido relaciona significativamente con causales como: error en la programación de horas que han generado exceso o faltante de producción, también se han identificado en menor cantidad de eventos la falta de materiales y las paradas no programadas por fallas en el equipamiento.

La figura 3.5 muestra el nivel de cumplimiento del Programa de Producción del periodo enero 2019 – agosto 2020.

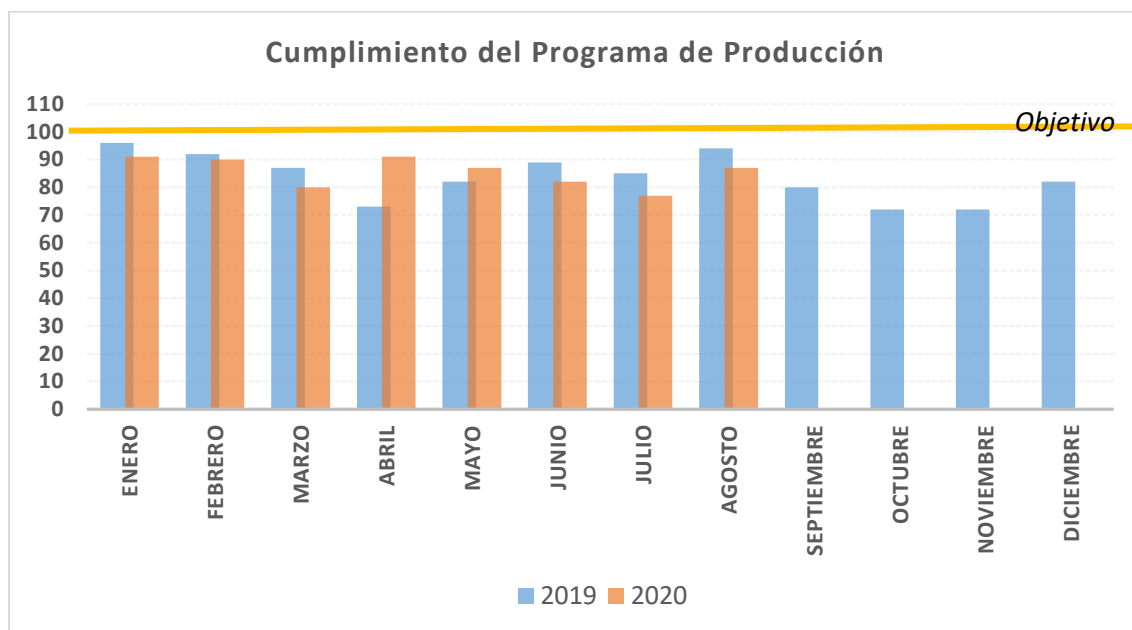


Figura 3.5 Cumplimiento de Programa de Producción Fuente: Perea, 2020

Tabla 3-4 Desempeño de Programación de Producción. Fuente: Perea, 2020

AÑO	MES	# FALLAS x EXCESO	% EXCESO	# FALLAS x FALTANTE	% PRODUCIDO
2019	ENERO	6	151	2	73
2019	FEBRERO	9	133	12	64
2019	MARZO	14	158	21	57
2019	ABRIL	9	163	20	48
2019	MAYO	10	164	15	49
2019	JUNIO	14	162	19	66
2019	JULIO	4	127	16	56
2019	AGOSTO	8	133	11	63
2019	SEPTIEMBRE	12	147	18	51
2019	OCTUBRE	25	150	38	49
2019	NOVIEMBRE	15	156	35	57
2019	DICIEMBRE	12	176	11	63
2020	ENERO	16	154	12	58
2020	FEBRERO	10	140	15	66
2020	MARZO	11	157	25	63
2020	ABRIL	16	132	7	64
2020	MAYO	14	143	13	49
2020	JUNIO	9	149	15	56
2020	JULIO	8	152	18	48
2020	AGOSTO	10	144	17	55

En la tabla 3.4 se resume el desempeño mensual de los programas de producción desde enero de 2019, en ella se visualiza el número de veces que diferentes SKUs tuvieron problemas de exceso y defecto en su fabricación. Adicional para ese periodo, se calculó que el porcentaje que se alcanzó cuando hubo exceso de producción llegó a ser en promedio 150% y que para los eventos en los que no se llegó a completar el plan solo se produjo el 57% de lo solicitado.

### 3.2.2. Demanda Insatisfecha

El incumplimiento en la atención a los clientes genera un impacto económico negativo para la empresa, por lo que el Área Comercial lleva un indicador que acumula el valor en dólares de todos los SKUs que no se entregaron oportunamente. El primer semestre del año 2020 la valorización acumulada asciende a \$1,991,509.57 que representa el 5% de los ingresos anuales de la compañía, la tabla 6 muestra la valorización mensual de la demanda insatisfecha, así como la cantidad de SKUs que no estuvieron disponibles y el número de clientes afectados.

Tabla 3-5 Valor de la Demanda Insatisfecha, Fuente: Perea, 2020

MES	Nro. SKU Insatisfechos	Nro. Eventos	Nro. Clientes	Valor de Perdida USD\$
ENERO	65	547	24	\$ 234,693.56
FEBRERO	58	578	39	\$ 384,974.85
MARZO	46	306	23	\$ 247,544.26
ABRIL	57	605	36	\$ 423,808.89
MAYO	36	259	28	\$ 344,766.30
JUNIO	39	271	37	\$ 355,721.71



### 3.3. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Detallada la situación actual de la empresa y sistema de planificación y programación de la producción, se formula un modelo de programación lineal entera mixta para el problema de programación de trabajos por cada formato de producción (Job Shop Scheduling Problem) que se va aplicar para este proyecto.

El modelo matemático es un problema MIP que ha sido resuelto mediante la aplicación de la heurística JSSP con el Software Wolfram Mathematica. Que busca optimizar la planificación semanal de producción partiendo de una demanda ya establecido por el Área de Planeación de la Demanda, cuyo horizonte es una semana.

#### 3.3.1. Consideraciones generales del modelo

Los productos serán procesados en una secuencia lógica ya determinada por la naturaleza del proceso productivo, los tiempos de inicio y finalización de cada proceso estarán secuenciados de manera que siempre se respetara el orden de secado óptimo, todos los productos son procesados en 1 sola máquina.

Se tiene definido que existe un tamaño de lote mínimo y que cada vez que la demanda sea inferior al lote mínimo, se producirá al menos dicho valor.

Se consideran los tiempos de proceso y preparación calculados para cada tamaño de lote específico por cada formato de producto.

#### 3.3.2. Estructura del modelo

##### **Índices**

*f* Formatos de Fideos.

*p* Máquinas de Secado.

*j* Producto Terminado (fideo envasado por presentación).

*q* Máquina de Envasado.

*s* Secuencia.

*d* Día.

### **Parámetros**

*ProdS (p, i)* Producción de la Máquina *p* con el formato *f*.

*ProdE (q, j)* Producción de la Máquina *q* con el ítem *j*.

*RE (f, j)* Razon envasado con respecto al formato *f* y producto terminado *j*.

*PlanDemanda(j)* Demanda con respecto al producto terminado *j*.

*CSequencion(s, d)* Costo de la secuencia *s* en el día *d*.

*Secuenciacion(f, s)* Matriz de asignacion del formato *f* en la secuencia *s*.

*HProd(f)* Producción del formato *f* por hora.

### **Variables de decisión**

*Z* Maximizar el Nivel de Producción.

*X (s, f, p, d)* Decisión de Producir el formato *f* en la Máquina *p* en el día *d* de acuerdo a la secuencia *s*.

*Y (j, q, d)* Cantidad a Envasar de producto terminado *j* en la Máquina *q* en el día *d*.

*O(s, d)* Elección de secuencia a elegir en el día *d*.

*S1(f, d)* Stock del formato *f* en el día *d*.

*S2(f, d)* Almacenamiento del formato *f* en el día *d*.

*S3(j, d)* Stock del producto terminado *j* en el día *d*.

*Diff(j)* Diferencia entre el producto terminado *j* y *PlanDemanda(j)*.

### **Función objetivo**

La función Objetivo busca maximizar la producción de la programación semanal cumpliendo siempre la demanda y penaliza el no seguir la secuencia estructurada.

$$Max z = \sum_{s=1;f=1,p=1,d=1}^{F,P,D} ProdS(p, f) * X(s, f, p, d) - \sum_{s=1,d=1}^{S,D} CSecuenciacion(s, d) * O(s, d)$$

### **Restricciones**

Esta restricción implica que puede secar cualquier formato siempre y cuando se cumpla que el formato f pertenece a la secuenciación s; es decir no puede ejecutar un formato f que no pertenezca a la secuencia s.

$$X(s, f, p, d) \leq Secuenciacion(f, s) \quad \forall s \quad \forall f \quad \forall p \quad \forall d$$

La variable binaria busca asignar a cada secuencia tener por lo menos un día asignado.

$$\sum_{d=1}^D O(s, d) \geq 1 \quad \forall s$$

La variable binaria busca asignar a cada día tener por lo menos una secuencia.

$$\sum_{s=1}^S O(s, d) \geq 1 \quad \forall d$$

Esta restricción implica que puede asignar el secado del formato f en la máquina p en el día d siempre y cuando se cumpla la secuencia s asignada para el día d.

$$X(s, f, p, d) \leq O(s, d) \quad \forall s \quad \forall f \quad \forall p \quad \forall d ;$$

La Asignación s para el formato f en la máquina p multiplicado por la hora de producción f, no puede superar a la hora asignada de 24 horas para cada día.

$$\sum_{s=1; f=1; p=1}^{S,F,P} HProd(f) * X(s, f, p, d) \leq 24 \quad \forall d$$

Esta restricción detalla el stock con respecto a lo producido del formato f en el día d.

$$\sum_{p=1}^P ProdS(p, f) * X(s, f, p, d) = S1(f, d) \quad \forall f \quad \forall d \quad \forall s$$

Esta restricción indica que luego del proceso de secado el formato f a envasar no puede superar a la cantidad que se tienen en stock del mismo.

$$\sum_{j=1, q=1}^{J, Q} RE(f, j) * ProdE(q, j) * Y(j, q, d) \leq S2(f, d) \quad \forall f \quad \forall d$$

Esta restricción indica el flujo del formato con respecto al almacenamiento que se tiene como pasta a granel para la producción del producto terminado j, en el tiempo d es igual a cero, esto se debe que se considera que no se tiene stock inicial.

$$S2(f, d) = 0 \quad \forall f \quad \forall d = 1$$

Esta restricción indica el flujo del formato con respecto al almacenamiento que se tiene como pasta a granel para la producción del producto terminado j, la misma que será igual a mi almacenamiento anterior más el nuevo ingreso de pasta a granel menos lo que se utilizó para envasar el producto j.

$$S2(f, d) = S2(f, d - 1) + S1(f, d) - \sum_{j=1}^J RE(f, j) * S3(j, d) \quad \forall f \quad \forall d > 1$$

Esta restricción detalla el stock con respecto a lo producido del ítem j en el día d.

$$\sum_{q=1}^q ProdE(q, j) * Y(j, q, d) = S3(j, d) \quad \forall j \quad \forall d$$

La restricción indica que la producción en el producto terminado debe cumplir el plan de producción.

$$\sum_{d=1}^d S3(j, d) = PlanProduccion(j) \quad \forall j$$

La restricción indica que la producción del producto terminado j debe cumplir la demanda semanal j.

$$\sum_{d=1}^d S3(j, d) = DemandaS(j) \quad \forall j$$

La restricción indica que se va hacer una Diferencia entre el producto terminado j y PlanDemanda(j) del programa semanal para evaluar el cumplimiento.

$$Diff(j) = \sum_{d=1}^d S3(j, d) - PlanProduccion(j) \quad \forall j$$

Restricción de variables lógicas.

$$X(f, p, d), Y(j, q, d), B(j, d) \in \{0,1\}$$

Restricción de variables real.

$$S1(f, d), S2(f, d), S3(j, d) \in \mathbb{N}$$

# CAPÍTULO 4

## 4.1. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO

### 4.1.1. Implementación del Modelo

El modelo matemático es un problema MIP que ha sido resuelto mediante la aplicación de la heurística JSSP con el Software Wolfram Mathematica. Que busca optimizar la planificación semanal de producción partiendo de una demanda ya establecido por el Área de Planeación de la Demanda, cuyo horizonte es una semana.

El modelo entrega una planificación de producción que satisface las siguientes restricciones: respetar la secuencia de secado establecida y de la cual depende que el producto cumpla con especificación y minimice los tiempos de cambios de formato: cumple la producción de al menos el lote mínimo, siempre que la demanda sea inferior a este último, considera que se tiene limitación de horas disponibles en la semana de producción, entre cada cambio de formato habrá un tiempo de preparación de la máquina para limpieza de molde y arranque de línea. Además, una vez que inicia un formato debe terminarse por completo su plan antes de pasar al siguiente.

La formulación y codificación de la solución proporcionada por el Software mediante la heurística JSSP se muestra en los anexos del presente documento.

 PRODUCCION\_SECADO\_11\_10\_2020\_SIMULACION\_DOS.nb \* - Wolfram Mathematica 12.1

Archivo Edición Insertar Formato Celda Gráficos Evaluación Paletas Ventana Ayuda

```
LM = {1320, 1800, 3800, 6800, 6400, 7200, 3400, 6400, 6800, 6800, 3400, 3400, 3400, 5100, 3600};
Dem = 1.30 * Dem;
Prod = {330, 450, 950, 850, 800, 900, 850, 800, 850, 850, 850, 850, 850, 900, 900};
TimeK = {4, 4, 4, 8, 8, 8, 4, 8, 8, 8, 4, 4, 4, 6, 4};
secuencia = {1, 2, 3, 4};
formatos = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15};
semana = {"L", "M", "X", "J", "V"};
secuenciao = {{1, 0, 0, 0}, {1, 0, 0, 0}, {0, 1, 0, 0}, {0, 0, 1, 0}, {0, 0, 1, 0}, {0, 0, 1, 0}, {0, 0, 1, 0}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1},
{0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}};
horas = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24};
```

Figura 4.1 Extracto de Código de modelización Matemática Fuente: Perea,2020

La demanda semanal se ingresa en kg de producto por SKU y formato requerido, una vez ingresado estos datos el software exporta a ficheros los resultados que esquematizan la planificación semanal y diaria de Producción que contiene el número de horas necesarias a producir por cada formato demandado, los kg necesarios y los cambios de formato que se deben ejecutar por día.

Con esta información se logra obtener el nuevo esquema del Programa de Producción Semanal para la línea de producción, de horas de producción por formato necesarias para cubrir la demanda, las mismas que se trasladan al formato de Excel final.

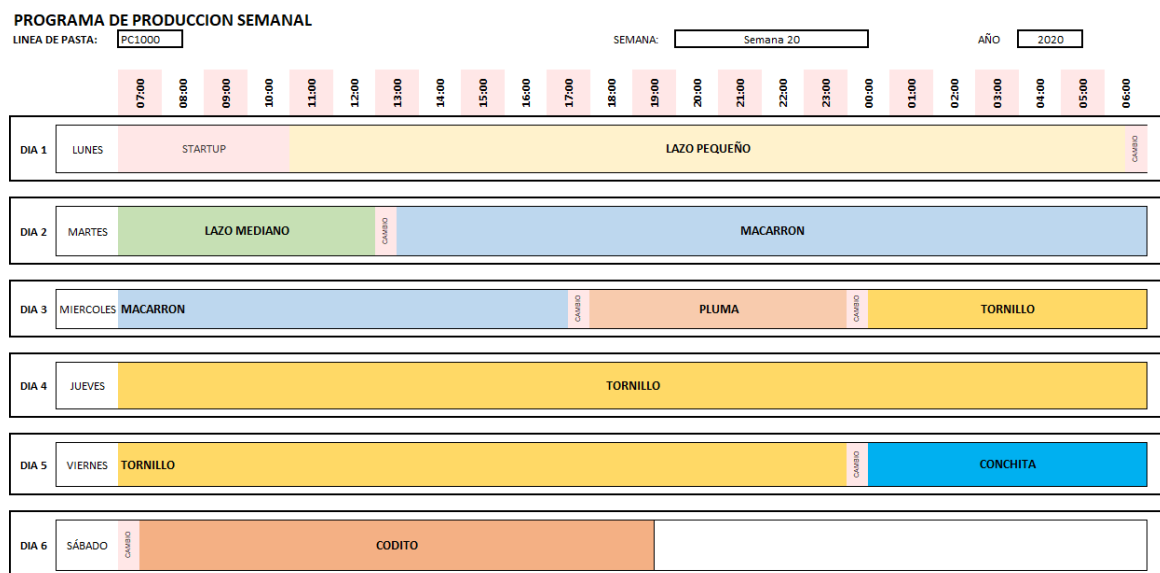


Figura 4.2 Propuesta de Nuevo Plan de Producción Semanal Fuente: Perea,2020

#### 4.1.2. Validación de los resultados

Para validar la efectividad del modelo se realizó simulaciones en Wolfram Mathematica, introduciendo la demanda solicitada de diferentes semanas de este año y obtener la cantidad sugerida a producir para realizar un comparativo entre la eficiencia o el % de cumplimiento del plan de producción, tomando la realidad producida bajo el método actual versus lo sugerido por el modelo matemático.

El modelo exporta a hoja de cálculo la programación sugerida como se visualiza en las tablas siguientes y con esta información se logra hacer la evaluación de los diferentes escenarios.

## Simulación 1

Tabla 4-1 Simulación de Escenario de Semana 2, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S2

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	0	0	0	0					
MACARRON	14400	0	0	0	0	0	14000	14400	12670	103%	91%
TORNILLO	15200	7200	0	0	0	0	22000	22400	17650	102%	80%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0		3600	0	0	3600	3600	0	100%	0%
DEDAL	3400	0	0	0	0	0	3600	3400	0	94%	0%
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	11000	0	0	0	10120	11000	9715,2	109%	96%
CONCHITA	0	0	0	0	0	0					
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>53320</b>	<b>54800</b>	<b>40035,2</b>	<b>102%</b>	<b>53%</b>

## Simulación 2

Tabla 4-2 Simulación de Escenario de Semana 6, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S6

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	7590	7590	1980	0	0	0	17000	17160	19970	101%	117%
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	14450	3400	0	0	17820	17850	18332,4	100%	103%
MACARRON	0	0	0	0	0	0					
TORNILLO	0	0	0	8800	9600	0	17750	18400	18690	104%	105%
CODO	0	0	0	0	0	0			550		550%
PLUMA	0	0	0	3600	0	0	3120	3600	3224	115%	103%
DEDAL	0	0	0	3400	0	0	3200	3400	3216	106%	101%
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	850	19550	19760	20400	21650,8	103%	110%
CONCHITA	0	0	0	0	8500	0	8500	8500	6410	100%	75%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>87150</b>	<b>89310</b>	<b>92043,2</b>	<b>104%</b>	<b>158%</b>

## Simulación 3

Tabla 4-3 Simulación de Escenario de Semana 3, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S3

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	0	0	0	0					
MACARRON	18400	8800	0	0	0	0	27000	27200	25610	101%	95%
TORNILLO	0	9600	1600	0	0	0	11000	11200	19410	102%	176%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0	0	0	0	0			3624		3624%
DEDAL	0	0	0	0	0	0			3632		3632%
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0			422,4		422.4%
CONCHITA	0	0	0	0	0	0					
RISONI	0	0	12750	0	0	0	12000	12750	11980	106%	100%
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>50000</b>	<b>51150</b>	<b>64678,4</b>	<b>103%</b>	<b>1525%</b>



## Simulación 4

Tabla 4-4 Simulación de Escenario de Semana 9, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S9

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	7590	4950	0	0	0	0	12500	12540	10620	100%	85%
PRECORTADA	0	3600	10350	900	0	0	14500	14850	14815	102%	102%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	0	10200	0	0	10000	10200	10990	102%	110%
MACARRON	0	0	0	0	0	0					
TORNILLO	0	0	0	4000	18400	18400	44960	40800	12551,2	91%	28%
CODO	0	0	0	0	0	0			5535		5535%
PLUMA	0	0	0	2500	0	0	2000	2500	2020	125%	101%
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	7500	7949,7	7500	3749,7	94%	47%
CODITO	0	0	0	0	0	0			14295,62		14296%
CONCHITA	0	0	0	0	0	0			5748,4		5748%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>91909,7</b>	<b>88390</b>	<b>80324,9</b>	<b>102%</b>	<b>2895%</b>

## Simulación 5

Tabla 4-5 Simulación de Escenario de Semana 13, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S13

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	3300	0	0	0	0	0	3000	3300	2630	110%	88%
PRECORTADA	5850	7650	0	0	0	0	13500	13500	3420	100%	25%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	5100	3400	0	0	0	8120	8500	5083,6	105%	63%
MACARRON	0	0	15200	3200	0	0	17822	18400	19593,2	103%	110%
TORNILLO	0	0	0	12000	6400	0	18250	18400	25090	101%	137%
CODO	0	0	0	0	0	0			655		6550%
PLUMA	0	0	0	2500	0	0	2000	2500	2020	125%	101%
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	3000	3000	3000	3020	100%	101%
CODITO	0	0	0	0	0	0					
CONCHITA	0	0	0	0	12750	0	11960	12750	12044,2	107%	101%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>77652</b>	<b>80350</b>	<b>73556</b>	<b>106%</b>	<b>803%</b>

## Simulación 6

Tabla 4-6 Simulación de Escenario de Semana 16, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S16

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	7590	4620	0	0	0	0	12000	12210	12450	102%	104%
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	7650	0	0	0	0	7036	7650	4900	109%	70%
MACARRON	0	0	0	0	0	0					
TORNILLO	0	0	18400	7200	0	0	25000	25600	24065	102%	96%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0	0	0	0	0			1232		1232%
DEDAL	0	0	0	0	0	0			1368		1368%
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0					
CONCHITA	0	0	0	0	0	0					
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>44036</b>	<b>45460</b>	<b>44015</b>	<b>104%</b>	<b>574%</b>

## Simulación 7

Tabla 4-7 Simulación de Escenario de Semana 17, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S17

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0			2450		2450%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	0	0	0	0			8755,6		8756%
MACARRON	8800	0	0	0	0	0	8047,56	8800	6229,96	109%	77%
TORNILLO	0	0	0	0	0	0			845		845%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	9000	0	0	0	0	0	8768	9000	8896	103%	101%
DEDAL	1700	5950	0	0	0	0	7432	7650	8488	103%	114%
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	10200	0	0	0	0	9600	10200	5665,2	106%	59%
CONCHITA	0	0	0	0	0	0					
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>33847,56</b>	<b>35650</b>	<b>41329,8</b>	<b>105%</b>	<b>1772%</b>

## Simulación 8

Tabla 4-8 Simulación de Escenario de Semana 20, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S20

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	6270	0	0	0	0	0	6000	6270	6845	105%	114%
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	3400	1700	0	0	0	0	4704	5100	5269,6	108%	112%
MACARRON	0	16800	5600	0	0	0	22234,68	22400	21570,24	101%	97%
TORNILLO	0	0	7200	18400	11200	0	36500	36800	33932	101%	93%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0	6300	0	0	0	6000	6300	6890	105%	115%
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	10200	9840	10200	10492,4	104%	107%
CONCHITA	0	0	0	0	7000	0	6840	7000	7119,2	102%	104%
RISONI	0	0	0	0	0	0			6900		6900%
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>92118,68</b>	<b>94070</b>	<b>99018,4</b>	<b>104%</b>	<b>955%</b>

## Simulación 9

Tabla 4-9 Simulación de Escenario de Semana 21, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S21

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	6270	0	0	0	0	0	6000	6270	8360	105%	139%
PRECORTADA	1800	8550	0	0	0	0	10000	10350	9420	104%	94%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	3400	5950	0	0	0	8716,8	9350	10313,2	107%	118%
MACARRON	0	0	12800	8000	0	0	20678,4	20800	24595,2	101%	119%
TORNILLO	0	0	0	10400	17600	0	28000	28000	23150	100%	83%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0					
CONCHITA	0	0	0	0	0	0					
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>73395,2</b>	<b>74770</b>	<b>75838,4</b>	<b>103%</b>	<b>111%</b>

## Simulación 10

Tabla 4-10 Simulación de Escenario de Semana 25, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S25

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	7590	1650	0	0	0	0	9000	9240	11565	103%	129%
PRECORTADA	0	8100	450	0	0	0	8500	8550	7045	101%	83%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	8500	0	0	0	8500	8500	11370	100%	134%
MACARRON	0	0	9600	3200	0	0	12500	12800	13880	102%	111%
TORNILLO	0	0	0	10400	0	0	10000	10400	10150	104%	102%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0					
CONCHITA	0	0	0	0	0	0					
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>48500</b>	<b>49490</b>	<b>54010</b>	<b>102%</b>	<b>112%</b>

## Simulación 11

Tabla 4-11 Simulación de Escenario de Semana 27, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S27

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	7590	6600	0	0	0	0	14000	14190	10620	101%	76%
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	0	0	0	0					
MACARRON	0	2400	13600	0	0	0	16000	16000	17810	100%	111%
TORNILLO	0	0	4800	12800	0	0	17000	17600	15200	104%	89%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0			680		680%
CONCHITA	0	0	0	5950	850	0	6500	6800	7360	105%	113%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>53500</b>	<b>54590</b>	<b>51670</b>	<b>102%</b>	<b>214%</b>

## Simulación 12

Tabla 4-12 Simulación de Escenario de Semana 29, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S29

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	7590	1650	0	0	0	0	9000	9240	10700	103%	119%
PRECORTADA	0	8100	900	0	0	0	9000	9000	9730	100%	108%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	0	9350	0	0	0	9000	9350	10120	104%	112%
MACARRON	0	0	0	0	0	0					
TORNILLO	0	0	8000	12000	0	0	20000	20000	16670	100%	83%
CODO	0	0	0	0	0	0					
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0					
CONCHITA	0	0	0	0	0	0					
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	5100	0	0	5000	5100	1956,14	102%	39%
							<b>52000</b>	<b>52690</b>	<b>49176,1</b>	<b>102%</b>	<b>92%</b>

## Simulación 13

Tabla 4-13 Simulación de Escenario de Semana 33, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S33

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	5280	0	0	0	0	0	5000	5280	3310	106%	66%
PRECORTADA	3150	4950	0	0	0	0	7750	8100	6950	105%	90%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	5100	0	0	0	0	5000	5100	7620	102%	152%
MACARRON	0	0	0	0	0	0					
TORNILLO	0	4800	5600	0	0	0	10170	10400	10032	102%	99%
CODO	0	0	6800	0	0	0	6750	6800	5460	101%	81%
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0					
CONCHITA	0	0	6800	1700	0	0	7750	8500	0	110%	0%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>42420</b>	<b>44180</b>	<b>33372</b>	<b>104%</b>	<b>81%</b>

## Simulación 14

Tabla 4-14 Simulación de Escenario de Semana 34, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S34

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	4620	0	0	0	0	0	4500	4620	5160	103%	115%
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	7650	3400	0	0	0	0	11000	11050	12280	100%	112%
MACARRON	0	0	0	0	0	0					
TORNILLO	0	10400	0	0	0	0	10000	10400	9180	104%	92%
CODO	0	0	0	0	0	0			1450		1450%
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	5100	1700	0	0	0	6250	6800	3045	109%	49%
CODITO	0	0	12750	0	0	0	12200	12750	14440	105%	118%
CONCHITA	0	0	0	0	0	0			4880		4880%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	5100	0	0	0	5000	5100	0	102%	0%
							<b>48950</b>	<b>50720</b>	<b>50435</b>	<b>104%</b>	<b>852%</b>

## Simulación 15

Tabla 4-15 Simulación de Escenario de Semana 12, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S12

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	7260	0	0	0	0	0	7000	7260	0	104%	0%
PRECORTADA	0	0	0	0	0	0					
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	850	5950	0	0	0	0	6784	6800	5570	100%	82%
MACARRON	0	12800	1600	0	0	0	14072	14400	13413,6	102%	95%
TORNILLO	0	0	0	0	0	0					
CODO	0	0	8500	0	0	0	8220	8500	3998	103%	49%
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	9350	6800	0	0	15800	16150	19993,6	102%	127%
CONCHITA	0	0	0	6800	0	0	6688	6800	9637,6	102%	144%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>58564</b>	<b>59910</b>	<b>52612,8</b>	<b>102%</b>	<b>83%</b>

## Simulación 16

Tabla 4-16 Simulación de Escenario de Semana 10, Fuente: Perea, 2020

SEMANA : 2020 - S10

FORMATO	PROGRAMA DE PRODUCCION SEMANAL (Kg/día)						KG/ PRODUCTO			EFICIENCIA	
	1	2	3	4	5	6	DEMANDA	SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
LAZO PEQUEÑO	5280	0	0	0	0	0	5000	5280	9120	106%	182%
PRECORTADA	3150	4950	0	0	0	0	7750	8100		105%	0%
PRECORTADA SOPAS	0	0	0	0	0	0					
LAZO MEDIANO	0	6800	0	0	0	0	5000	6800	7020	136%	140%
MACARRON	0	0	0	0	0	0					
TORNILLO	0	3600	7200	0	0	0	10170	10800	34280	106%	337%
CODO	0	0	6800	0	0	0	6750	6800	0	101%	0%
PLUMA	0	0	0	0	0	0					
DEDAL	0	0	0	0	0	0					
PLUMITA	0	0	0	0	0	0					
CODITO	0	0	0	0	0	0					
CONCHITA	0	0	5950	2550	0	0	7750	8500	9970	110%	129%
RISONI	0	0	0	0	0	0					
DEPORTIVO	0	0	0	0	0	0					
FLAUTITA	0	0	0	0	0	0					
							<b>42420</b>	<b>46280</b>	<b>60390</b>	<b>110%</b>	<b>131%</b>

El resumen de las simulaciones realizadas, midiendo eficacia y eficiencia, se muestra a continuación.

Tabla 4-17 Comparativo de Efectividad de Resultados, Fuente: Perea, 2020

SEMANA	DEMANDA (Kg)	% DE CUMPLIMIENTO DE PLANIFICACION		% DE EFICACIA	
		SUGERIDA	REAL	SUGERIDA	REAL
2	53320	102%	53%	100%	40%
3	50000	103%	1525%	100%	33%
6	87150	104%	158%	100%	63%
9	91910	102%	2895%	83%	33%
13	77652	106%	808%	88%	44%
16	44036	104%	574%	100%	40%
17	33848	105%	1772%	100%	14%
20	92119	104%	955%	100%	57%
21	73395	103%	111%	100%	20%
25	48500	102%	112%	100%	20%
27	53500	102%	214%	100%	20%
29	52000	102%	92%	100%	60%
33	42420	104%	81%	100%	33%
34	48950	104%	852%	100%	38%
12	58564	102%	83%	100%	33%
10	42420	110%	131%	83%	0%
		<b>103%</b>	<b>729%</b>	<b>98%</b>	<b>37%</b>

La tabla 4.17 permite validar la aplicación del modelo matemático a la planificación semanal de producción, para todas las semanas simuladas, se buscó los escenarios donde hubo mayor variación del cumplimiento de la planificación (por exceso/defecto) y para esas semanas se simularon los mismos escenarios de demanda en el modelo, obteniendo así una cantidad sugerida de Kg de producción por cada formato de fideo, realizando la comparación del porcentaje de cumplimiento de la planificación de producción, se obtiene que con la aplicación del modelo se cumple con la demanda el 100% de las veces con una eficiencia del 103%, con un rango de cumplimiento del 94% - 110% de la demanda solicitada, cumpliendo también con producir el mínimo lote para los formatos donde la demanda solicitada es menor a este y obteniendo como máximo un 125% de producción para estos casos; en comparación en esas mismas semanas, la producción fallo en la cantidad de entrega el 100% de las veces con rangos de cumplimiento de 0 – 180%.

# CAPÍTULO 5

## 5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los procesos de planificación y programación de producción manual o empírica incrementan el nivel de ineficiencias de los procesos, pues deben realizarse incorporando variables y restricciones fijas de acuerdo al tipo de proceso y solo variando en función de lo demandado, en este sentido la modelización matemática se hace necesaria para evitar el error humano durante el análisis previo y la programación, pues estas decisiones afectarán a los resultados de abastecimiento oportuno y estos a las ganancias económicas de la compañía.

La ineficiencia sobre el cumplimiento de los Programas de producción genera impactos económicos como demanda insatisfecha y afecta el nivel de servicio a los clientes, así como la producción en excesos acarrea sobre costos que involucran a disponibilidad de materiales, costos adicionales de almacenar, inventariar y riesgo de obsolescencia y quiebre de las políticas de frescura de las empresas.

El job shop scheduling problem es un problema clásico que trata de modelar de forma genérica aquellas situaciones en las que hay que planificar la ejecución de una serie de operaciones sobre un conjunto finito de recursos, este algoritmo sirve como base para la aplicación y diseño de la propuesta de optimización del proceso de planificación semanal de producción que entregó un modelo eficiente y cumpliendo los objetivos necesarios de satisfacer la demanda deseada.

En resumen, el enfoque de la optimización esta en la reducción de la DEMANDA INSATISFECHA

La cual en promedio representa bajo el modelo actual \$331 918,26 y con la eficiencia obtenida por con la aplicación del modelo matemático, al elevar de 80% a un mínimo de 94% del cumplimiento de la programación de producción, se recuperaría el 70% de la demanda insatisfecha, lo que significa aumentar las ventas

de la compañía en promedio aproximadamente 240 000 US\$/mes, lo que representa una utilidad de casi \$100000.00 /mes.

Al comparar la eficacia entre ambos métodos, podemos concluir que con la aplicación del método de modelización matemática se podrá cumplir oportunamente (en cantidad y tiempo) el 98% de las veces lo programado, mientras que, con el método actual, la eficacia no alcanza ni el 40%.

Con los resultados obtenidos, se recomienda a la empresa utilizar este modelo matemático u otro de mejor desempeño en el resto de sus líneas de producción, que tienen similares problemas de programación y manejan menor número de SKUs y procesos, con esto se conseguiría mejorar los indicadores de cumplimiento oportuno de la demanda, reducir sus índices de reprocesos y de utilización de recursos innecesarios.

Se recomienda a la empresa implementar esta herramienta para la evaluación de la asignación de mano de obra necesaria para cubrir la demanda.

Se recomienda a la realizar la actualización periódica de las capacidades de procesos y sus eficiencias, de manera que se tengan datos reales para evitar errores no solo en la programación de producción, sino en el consumo innecesario de materiales para un SKU que no ha sido demandados.



## 6. Referencias

- Alvarado E., O. (2007). Competitividad + Productividad vs Ineficiencia en los Procesos de Negocio.
- Bulfin, D. S. (1998). Planeación y Control de la Producción. México.
- Chapman, S. N. (2006). Planificación y control de la Producción. México.
- Cabrera, L., & Saavedra, S. (2008). Métodos eficientes de producción aplicados en una industria textil. San Francisco de Quito.
- Cornelius, H. (2013). Assigning Cost to Inefficiencies. AIB Update, (June), 11–12.
- Iturralde, R., & Varas, A. (2015). OPTIMIZACIÓN DEL PLAN SEMANAL DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS PERECEDEROS UTILIZANDO MODELOS MATEMÁTICOS. Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Retrieved from [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34064/1/20151SFMA R052801\\_2.PDF](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34064/1/20151SFMA R052801_2.PDF)
- De Melo, E. (2014). Meta-heurísticas Iterated Local Search, GRASP e Artificial Bee Colony aplicadas ao Job Shop Flexível para minimização do atraso total.
- Escobar, J., Marcelos Gonzales, J., & Quevedo, D. (2020). Modelo matemático para la programación de la producción en compañías fabricantes de alambres y cables para la construcción. Revista ESPACIOS, Vol. 41, Art. 24.
- Márquez, J. Á. (2012). Ingeniería Mecánica.
- Morales, N. (2016). Modelo de Optimización en Producción Basado en la Teoría de las Restricciones Como Estrategia para la Gestión de la Productividad. Caso de Aplicación: Cantera de Agregados para la Construcción Cimaco. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Laviós, J. J. (2013). Análisis de la Relajación Lagrangiana como Método de Programación de Talleres Flexibles en un entorno Multiagente. Tesis 196 Doctoral. Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, España.
- López, G., Castro, N., & Guerra, O. (2017). OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE PRODUCCIÓN. ESTUDIO DE CASO CARPINTERÍA DE ALUMINIO. Revista Científica De La Universidad De Cienfuegos, 9(1), 178–186.
- Pezzella, F. M. (2008). A genetic algorithm for the Flexible Job Shop Scheduling Problem.
- Pinedo. (2016). Scheduling Theory, Algorithms and Systems. New York.

- Schroeder, R. (1992). Administración de Operaciones. Mexico.
- Vázquez Romero Coral Elizabeth. (2013, octubre 15). <em>Planeación de la producción y operaciones en las empresas</em>. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/planeacion-de-la-produccion-y-operaciones-en-las-empresas/>
- Velasco, J. A. (2014). GESTION POR PROCESOS.
- Victor Peña, L. Z. (2006). Estado del Arte del Job Shop Scheduling Problem.
- Villavicencio, A., & Moran, C. (2013). Planificación de recursos para la manufactura a partir de un plan maestro de producción, aplicado a una empresa de balanceado. Guayaqui.
- Zamarripa, N. (2013). OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE MANUFACTURA MEDIANTE UN MODELO MATEMÁTICO. Universidad Autónoma de Nuevo León.

# 7. Anexos

## CODIGO WÓLFRAM MATHEMATICA

```
(*Datos*)
LM = {1320, 1800, 3800, 6800, 6400, 7200, 3400, 6400, 6800,
      6800, 3400, 3400, 3400, 5100, 3600
};
LM = {2320, 7600, 5400, 2160, 6800, 3600, 3400, 6800, 5600,
      6400, 5600, 4600, 6800, 5520, 5600};
Dem = 1.30 * Dem;
Prod = {330, 450, 950, 850, 800, 900, 850, 800, 850, 850,
        850, 850, 850, 850, 900, 900};

(*Lote*)
TimeK = {4, 4, 4, 8, 8, 8, 4, 8, 8, 8, 4, 4, 4, 6, 4};
secuencia = {1, 2, 3, 4};
formatos = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15};
semana = {"L", "M", "X", "J", "V", "S"};
secuenciao = {{1, 0, 0, 0}, {1, 0, 0, 0}, {0, 1, 0, 0},
              {0, 0, 1, 0}, {0, 0, 1, 0}, {0, 0, 1, 0}, {0, 0, 1, 0},
              {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1},
              {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 1}};
horas = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
         17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24};

(*Produccion*)
DemS2 = {{9000, 9000, 9000, 0, 0, 20000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
         {5000, 5000, 7750, 0, 6750, 10170, 0, 7750, 0, 0, 0, 0,
          0, 0, 0},
         {9000, 9000, 9000, 0, 0, 20000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
         {8000, 1176, 0, 13360, 0, 7648, 15600, 11602, 0, 24848,
          4560, 0, 0, 0, 0},
         {7000, 6784, 0, 14072, 8220, 0, 0, 6688, 0, 15800, 0, 0,
          0, 0, 0},
         {9000, 8500, 8500, 12500, 0, 10000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
         {6000, 8716, 8, 10000, 20678, 4, 0, 28000, 0, 0, 0, 0,
          0, 0, 0, 0},
         {4500, 11000, 0, 0, 0, 10000, 0, 0, 6250, 10000, 0, 0, 0, 0, 0},
         {0, 9000, 0, 0, 0, 10000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 4980, 0},
         {0, 5000, 0, 0, 11000, 0, 0, 0, 16550, 18526, 4, 0, 0, 0, 0, 0},
         {9000, 8500, 8500, 12500, 0, 10000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}};
```

```

DemS3 = {
  {0, 0, 0, 0, 14000, 22000, 0, 3600, 3600, 0, 10120, 0, 0, 0, 0},
  {0, 0, 0, 0, 27000, 11000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 12000, 0, 0},
  {17000, 0, 0, 17820, 0, 17750, 0, 3120, 3200, 0, 19760,
  8500, 0, 0, 0}, {12500, 14500, 0, 10000, 0, 44960,
  4500, 2000, 0, 7949.7, 13862.32, 5400, 0, 0, 0},
  {3000, 13500, 0, 8120, 17822, 18250, 0, 2000, 0, 3000,
  0, 11960, 0, 0, 0},
  {12000, 0, 0, 7036, 0, 25000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
  {0, 0, 0, 0, 8047.56, 0, 0, 8768, 7432, 0, 9600, 0, 0, 0, 0},
  {6000, 0, 0, 4704, 22234.68, 36500, 0, 6000, 0, 0, 9840,
  6840, 0, 0, 0},
  {6000, 10000, 0, 8716.8, 20678.4, 28000, 0, 0, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0},
  {9000, 8500, 0, 8500, 12500, 10000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
  {14000, 0, 0, 0, 16000, 17000, 0, 0, 0, 0, 0, 6500, 0, 0, 0},
  {9000, 9000, 0, 9000, 0, 20000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1992},
  {5000, 7750, 0, 5000, 0, 10170, 6750, 0, 0, 0, 0, 7750,
  0, 0, 0},
  {4500, 0, 0, 11000, 0, 10000, 0, 0, 0, 6250, 12200, 0,
  0, 0, 677.28}};

kppl = 1;
Simulacion = {};
Simulacion2 = {};
Simulacion3 = {};

While[kppl <= Length[DemS],
  Dem = DemS[[kppl]];

  Print["Simulacion,Semana:", kppl];

  Print[Dem];
  (*Print[Length[Dem]];*)
  Presentacion = {};

  PlanSecado = Table[0, {i, Length[secuencia]}, {j, Length[formatos]},
    {s, Length[semana]}, {u, Length[horas]}};
  Produccion = Table[0, {j, Length[formatos]}};
  ProduccionF = Table[0, {j, Length[formatos]}};
  ProduccionH = Table[0, {j, Length[formatos]}};
  s = 1;
  j = 1;
  i = 1;
  t = 1;
  r1 = 1;
  r2 = 1;
  t = 3;
  j = 1;
  u = 1;
  jj = 1;

```

```

While[s ≤ Length[semana],
u = 2; jj = 1;
While[u ≤ Length[horas],
(*jj=1;j=1;*) jj = 1;
While[jj ≤ Length[formatos],
Which[LM[[j]] > Dem[[j]] && Dem[[j]] > 0,
kathia = Produccion[[j]] - LM[[j]],

LM[[j]] ≤ Dem[[j]] && Dem[[j]] > 0,
kathia = Produccion[[j]] - Dem[[j]],

LM[[j]] > Dem[[j]] && Dem[[j]] = 0,
kathia = 0
];

If[kathia ≥ 0 && j < 15, j = j + 1, j = j];
(*Print["Semana:", s, "Formato:", j];*)
jj++];

i = Position[secuenciao[[j]], 1][[1]][[1]];
(*r1=
If[Sum[PlanSecado[[i]][[j]][[s]][[u]], {i, Length[secuencia]},
{s, Length[semana]}, {u, Length[horas]}] ≤ Dem[[j], 1, 0];*)
(*r2=
If[Sum[PlanSecado[[i]][[j]][[s]][[u]], {i, Length[secuencia]},
{j, Length[formatos]}, {s, Length[semana]}, {u, Length[horas]}] ≤
Dem[[j], 1, 0];*)
r1 = 1;

```

```

r2 = 1;
r3 = If[Dem[[j]] == 0, 0, 1];
PlanSecado[[i]][[j]][[s]][[u]] = Prod[[j]] * r1 * r2 * r3;
Produccion[[j]] = Sum[PlanSecado[[i]][[j]][[s]][[u]],
  {i, Length[secuencia]}, {s, Length[semana]}, {u, Length[horas]}}];
u++ ];
(*Print["Dia:",s];*)

s++;

Presentacion =
Table[Sum[PlanSecado[[i]][[j]][[s]][[u]], {i, Length[secuencia]},
  {u, Length[horas]}], {j, Length[formatos]}, {s, Length[semana]}}];
ProduccionF = Table[Produccion[[j]] - Dem[[j]],
  {j, Length[formatos]}}];
ProduccionH = Table[Produccion[[j]] / Prod[[j]],
  {j, Length[formatos]}}];

AppendTo[Simulacion, Presentacion];
AppendTo[Simulacion2, ProduccionF];

Print[Produccion];

i = 1; j = 1; s = 1; u = 1;
(*{i,Length[secuencia]}, {j,Length[formatos]}, {s,Length[semana]},
{u,Length[horas]}*)
Colores = Table[0, {s, Length[semana]}, {u, Length[horas]}}];
While[i <= Length[secuencia],



---


j = 1;
While[j <= Length[formatos],
  s = 1;

  While[s <= Length[semana],
    u = 1;
    While[u <= Length[horas],

      If[PlanSecado[[i, j, s, u]] > 0, Colores[[s, u]] = j];

      u++;
    s++;
  j++;
  i++];

AppendTo[Simulacion3, Colores];
kppl++]

```