



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR EL  
DESEMPEÑO DE LAS ETAPAS DE PROVEEDOR Y MANUFACTURA DE UNA  
CADENA DE SUMINISTROS.**

**Tutor Académico:**  
Jiménez B. Manuel E.

**Autor:**  
Ramos, Patricia. CI: 18253774  
Villanueva, Alejandra CI: 18411873

Bárbula, Mayo 2010



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR EL  
DESEMPEÑO DE LAS ETAPAS DE PROVEEDOR Y MANUFACTURA DE UNA  
CADENA DE SUMINISTROS.**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar  
por el título de Ingeniero Industrial.

**Tutor Académico:**  
Jiménez B. Manuel E.

**Autor:**  
Ramos, Patricia. CI: 18253774  
Villanueva, Alejandra CI: 18411873

Bárbula, Mayo 2010



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Nosotros los abajo firmantes, Miembros del Jurado, designados por el Consejo de Escuela para Evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado “CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE LAS ETAPAS DE PROVEEDOR Y MANUFACTURA DE UNA CADENA DE SUMINISTROS “, realizado por la Br. Patricia Ramos, C.I. XXXXXXXXXX y la Br. Alejandra Villanueva, C.I: 18411873, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Prof. Manuel Jiménez.  
Tutor

---

Prof. Ángel Carnevalli.  
Jurado

---

Prof. Ezequiel Gómez.  
Jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por permitir que se me abrieran tantas oportunidades en la vida.

A Manuel, el mejor tutor que se podría pedir, gracias por tu dedicación, apoyo, paciencia e insistencia. Sin ti nunca habiéríamos logrado esto.

A mis padres por siempre estar ahí y darme el apoyo y ayuda que he necesito en la vida y a lo largo de toda la carrera. Gracias por haberme guiado en el camino correcto y enseñarme que las cosas se logran con perseverancia y esfuerzo.

A mi abuela por siempre estar orgullosa de todo, hasta de lo más simple.

A mi compañera de tesis, y ahora gran amiga, no hubiera preferido hacerla con nadie más.

A mis amigas que estuvieron a lo largo de toda la carrera conmigo, aunque no hayamos llegado a esto juntas, este logro se siente por 3. Gracias por todos los años de estudio y amistad. Todo esto se lo debo a ustedes.

A ti, por darme tu apoyo y cariño todos estos años, por estar ahí cuando necesitaba un hombro donde llorar y alguien con quien hablar. Eres el mejor amigo y compañero que se puede desear.

Gracias por todas esas personas que conocí a lo largo del camino que me hicieron ser quien soy y crecer.

**Ale**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darnos el don de la vida y las herramientas para construir un mejor futuro, colocar obstáculos que nos hacen crecer, sin dejar de ser personas de bien a lo largo del camino.

A nuestro tutor Manuel el cual con paciencia y dedicación nos guió durante este importante camino, siempre creyendo más en nosotras y en los logros que somos capaces de alcanzar si nos lo proponemos, convirtiéndose en más que un profesor, ahora colega y amigo.

A toda mi familia que creen en mí y se sienten orgullosos con mis logros, pero sobre todo han entendido cuando mis estudios se convierten en prioridad y no puedo estar para ellos.

En especial a mis padres quienes creyeron en mí, me enseñaron a seguir mis instintos, a tomar mis decisiones, tener perseverancia, a no conformarme, a ser mejor cada día en todos los aspectos de mi vida, no basta con ser ingeniero sin ser persona.

La mejor hermana y amiga del mundo que a pesar de que la mayor parte del tiempo nos separan fronteras, nos entendemos, confiamos, apoyamos y estamos orgullosas de todos los logros que hemos alcanzado y los que nos quedan por vivir.

A todos aquellos que han tenido influencia en una pequeña o gran parte de mi vida, gracias a mis amigas que aprendemos juntas a ser tolerantes con los aspectos que no compartimos y me saben acompañar y apoyar en todo.

A Ale, siempre es bueno contar con nuevos amigos, en especial si nos enseñan nuevos y más ambiciosos retos, jamás me hubiera imaginado lograr esto en tan corto tiempo, gracias.

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi primo, padrino y amigo, Elias Manuel Kuri Blonval, quien me acompañó en toda mi vida y ahora nos cuida desde el cielo, siempre con buenos consejos y brindándonos alegría a nuestras vidas, sé que te sentías orgulloso de mí, siempre estarás en mi corazón.

**Patty**



## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA.....	v
LISTA DE TABLAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.2. OBJETIVOS .....	6
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.3. ALCANCE .....	6
1.4. LIMITACIONES .....	7
1.5. JUSTIFICACIÓN .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO	
2.1 MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.1 ANTECEDENTES.....	10
2.1.2 BASES TEÓRICAS.....	12
2.1.2.1 CADENA DE SUMINISTROS .....	12
2.1.2.1.1 ESLABONES DE LA CADENA DE SUMINISTROS	12
2.1.2.1.2 GESTIÓN DE CADENAS DE	
SUMINISITROS .....	13
2.1.2.2 SISTEMA .....	14
2.1.2.3 MODELO .....	16
2.1.2.4 SIMULACIÓN.....	16
2.1.2.5 ETAPAS DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN....	17



2.1.2.6	ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN MODELO DE SIMULACIÓN.....	18
2.2	MARCO METODOLÓGICO .....	20
2.2.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
2.2.2	FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
CAPITULO III: EL SISTEMA		
3.1	PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	23
3.2	TIEMPOS DE PROCESAMIENTO.....	24
3.3	TIEMPOS DE PUESTA A PUNTO.....	25
3.4	MATERIA PRIMA.....	27
3.5	PROVEEDORES.....	28
3.6	DEMANDA .....	28
3.6.1	CLIENTES .....	28
3.6.2	FECHAS DE ENTREGA .....	29
3.6.3	PRECIO DE VENTA .....	29
3.7	COSTOS DE INTERES.....	30
CAPITULO IV: EL MODELO		
4.1	SIMULADOR UTILIZADO .....	33
4.2	ACTIVIDADES A SIMULAR .....	34
4.3	SUPUESTOS A CONSIDERAR .....	35
4.4	VARIABLES A CONSIDERAR .....	35
4.5	DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO .....	36
4.6	CONSTRUCCION DEL MODELO EN ARENA.....	38
4.6.1	LLEGADA DE LOS CLIENTES.....	38
4.6.2	MATERIA PRIMA Y PROVEEDORES.....	41
4.6.3	MANUFACTURA .....	43
4.6.3.1	MAQUINA 1 .....	45
4.6.3.2	MAQUINA 2 .....	48





4.6.3.3 MAQUINA 3 .....	49
4.6.4 ALMACEN DE PRODUCTO TERMINADO.....	49
4.7 VERIFICACION DEL MODELO .....	52
4.8 DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE CALENTAMIENTO.....	53

## CAPITULO V: EXPERIMENTACIÓN

5.1 EXPERIMENTO 1: DETERMINACIÓN DE LA MEJOR CONFIGURACIÓN POLÍTICA DE MATERIA PRIMA– SECUENCIACIÓN DE PRODUCCIÓN .....	56
5.1.1 ESCENARIO 1.....	57
5.1.2 ESCENARIO 2.....	58
5.1.3 ESCENARIO 3.....	60
5.2 EXPERIMENTO 2: DETERMINACIÓN DE FECHAS DE ENTREGA.....	63
5.3 EXPERIMENTO 3: EVALUAR EL IMPACTO QUE TENDRIA EN EL NIVEL DE SERVICIO MEJORAS EN LOS RECURSOS CUELLO DE BOTELLA .....	65
5.3.1 ESCENARIO 1.....	66
5.3.2 ESCENARIO 2.....	68
5.4 EXPERIMENTO 4: EVALUAR EL IMPACTO QUE TENDRIA EN EL NIVEL DE SERVICIO MEJORAR LOS TIEMPOS DE RESPUESTA DE LOS PROVEEDORES.....	70
5.4.1 ESCENARIO 1.....	71
5.4.2 ESCENARIO 2.....	73
5.5 EXPERIMENTO 5: IMPACTO EN LOS INDICADORES DE NIVEL DE SERVICIO Y LEAD TIME POR VARIACIONES EN LA DEMANDA.....	75
CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES .....	81
BIBLIOGRAFÍA .....	82





## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Horario de Trabajo. ....	23
Tabla 2. Tiempo de procesamiento de una unidad de producto $i$ en la maquina $j$ (min). ....	25
Tabla 3. Media de los tiempos de puesta a punto en la maquina 1 (min). ...	26
Tabla 4. Media de los tiempos de puesta a punto en la maquina 2 (min). ...	26
Tabla 5. Media de los tiempos de puesta a punto en la maquina 3 (min). ...	26
Tabla 6. Políticas de Inventario (unid).....	27
Tabla 7. Tiempo de entrega de cada proveedor (días). ....	28
Tabla 8. Demanda por cada tipo de cliente (unid).....	29
Tabla 9. Fecha de entrega para cada tipo de cliente (días). ....	29
Tabla 10. Precio de venta para cada producto (Bs/unid). ....	29
Tabla 11. Costo de posesión para cada insumo (Bs/unid*año).....	30
Tabla 12. Costo por día de adelanto para cada producto (Bs/unid*día).....	30
Tabla 13. Costo de ordenamiento para cada proveedor (Bs/Orden).....	31
Tabla 14. Costo por día de retraso para cada cliente (Bs/Orden*día).....	31
Tabla 15. Mejores 5 políticas para el primer escenario del experimento 1. .	57
Tabla 16. Valores de indicadores para el primer escenario del experimento 1.....	58
Tabla 17. Valores de indicadores para el segundo escenario del experimento 1.....	58



Tabla 18. Estimación de los parámetros para la primera prueba de hipótesis del experimento 1.....	59
Tabla 19. Mejores 15 políticas para el tercer escenario del experimento 1.	60
Tabla 20. Valores de indicadores para el tercer escenario del experimento 1. ....	61
Tabla 21. Estimación de los parámetros para la segunda prueba de hipótesis del experimento 1.....	61
Tabla 22. Estimación de los parámetros para la tercera prueba de hipótesis del experimento 1.....	62
Tabla 23. Mejor política de inventario para el experimento 1.....	63
Tabla 24. Política de inventario para el experimento 2 .....	63
Tabla 25. Resultados de las fechas de entrega para el experimento 2.....	64
Tabla 26. Niveles de Servicio obtenidos para diferentes fechas de entrega.	64
Tabla 27. Fechas de entrega para el experimento 3.....	65
Tabla 28. Política de inventario para el experimento 3. ....	65
Tabla 29. Valores de indicadores para la situación actual del experimento 3. ....	66
Tabla 30. Valores de indicadores para el primer escenario del experimento 3. ....	67
Tabla 31. Estimación de los parámetros para la primera prueba de hipótesis del experimento 3.....	68
Tabla 32. Valores de indicadores para el segundo escenario del experimento 3. ....	69





---

---

Tabla 33. Estimación de los parámetros para segunda prueba de hipótesis del experimento 3.....	69
Tabla 34. Valores de indicadores para el primer escenario del experimento 4. ....	72
Tabla 35. Estimación de los parámetros para primera prueba de hipótesis del experimento 4. ....	72
Tabla 36. Cambios en los tiempos de entrega de los proveedores para segundo escenario del experimento 4.....	73
Tabla 37. Valores de indicadores para el segundo escenario del experimento 4. ....	74
Tabla 38. Estimación de parámetros para la segunda prueba de hipótesis del experimento 4. ....	74
Tabla 39. Resultados del experimento 5.....	76
Tabla 40. Porcentaje de utilización y unidades en cola para las máquinas para una variación del 20 % de la demanda. ....	77



---

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ruta de trabajo para el Producto A.....	24
Figura 2. Ruta de trabajo para el Producto B.....	24
Figura 3. Ruta de trabajo para el Producto C.....	24
Figura 4. Ruta de trabajo para el Producto D.....	24
Figura 5. Lista de materiales de cada producto. ....	27
Figura 6. Diagrama de flujo del modelo parte 1. ....	36
Figura 7. Diagrama de flujo del modelo parte 2. ....	37
Figura 8. Diagrama del modelo en ARENA parte 1.....	39
Figura 9. Diagrama del modelo en ARENA parte 2.....	40
Figura 10. Diagrama de la llegada de los clientes.....	41
Figura 11. Submodelos 16, 17, 18 y 19. ....	42
Figura 12. Diagrama de los proveedores .....	42
Figura 13. Diagrama del Submodelo 11.....	43
Figura 14. Diagrama de estaciones. ....	44
Figura 15. Diagrama del Submodelo 2.....	44
Figura 16. Diagrama Máquina 1.....	45
Figura 17. Diagrama del Submodelo 20.....	46
Figura 18. Diagrama del Submodelo 7.....	47
Figura 19. Diagrama Máquina 2.....	48
Figura 20. Diagrama Máquina 3.....	49
Figura 21. Diagrama Almacén Producto Terminado. ....	49



---

---

Figura 22. Diagrama del Submodelo 32.....	50
Figura 23. Diagrama del Submodelo 26.....	51
Figura 24. Porcentaje de utilización de cada tipo de máquina.....	66
Figura 25. Grafica de sensibilidad para el nivel de servicio. ....	76
Figura 26. Grafica de sensibilidad para el lead time. ....	77





UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



## CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE LAS ETAPAS DE PROVEEDOR Y MANUFACTURA DE UNA CADENA DE SUMINISTROS.

**TUTOR:** Ing. Manuel E. Jiménez B.

**AUTORES:** Ramos, Patricia  
Villanueva, Alejandra

### RESUMEN

La investigación se fundamenta en la construcción de un modelo de simulación que permita estudiar el desempeño de la cadena de suministros, en donde los eslabones de proveedores y manufactura se encuentran integrados, este simula esencialmente las actividades de llegada de cliente, proveedores, materia prima, procesos de manufactura, formación de colas y almacén de producto terminado. En el estudio del desempeño del sistema seleccionado, se tomaron en cuenta aspectos de suma importancia para las empresas como el cumplimiento con el cliente, tener una buena capacidad de respuesta y maximizar la ganancia, por lo tanto se utilizaron los indicadores de niveles de servicio, lead time de producción y beneficio obtenido. Para demostrar cómo sirve de apoyo la simulación a la gerencia de cadenas de suministros, se realizaron distintos experimentos, de modo que sirvan como guía para tomar las decisiones pertinentes, estos se seleccionaron tomando en cuenta aquellas decisiones más resaltantes y con mayor influencia en las empresa como lo son, fijar una política de inventario, criterio de secuenciación, fecha de entrega ofrecida al cliente, disminuir tiempos de procesamiento en las máquinas, mejorar relaciones con los proveedores y análisis de sensibilidad para cualquier variable de control. Se pudo concluir que a pesar de que la construcción del modelo es un proceso tedioso y requiere conocimientos en el programa de simulación, una vez obtenido el modelo, es una herramienta que facilita la toma de decisiones en estos sistemas tan complejos y resulta ser más fácil y practico de aplicar que otras herramientas.

**PALABRAS CLAVE:** Cadena de suministros, Simulación, Producción, Proveedores



---

---

## INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministros son sistemas complejos, conformados por diferentes etapas, esencialmente son proveedores, manufactura, distribuidores y cliente, las cuales aunque funcionan por separado, cada uno de estos eslabones se ven afectados por lo que ocurra en los otros, lo que ha originado un movimiento a nivel mundial de colaboración e interrelación entre los mismos, es así como cada organización busca la forma de mantener un flujo de información y colaboración permanente con los eslabones que forman parte de su cadena, y poder estar prevenidos de cualquier cambio que se avecine proveniente de algunos de estos.

Las cadenas de suministros que logran establecer estos vínculos, son aquellas que hoy en día se les facilita alcanzar el éxito, es por esto que se encuentran en constante búsqueda de métodos y herramientas que permitan manejar, transmitir y captar todo el flujo de información de una manera más eficiente.

Esto no es una meta fácil de alcanzar ya que como influyen una gran cantidad de detalles en todos los procesos involucrados, las decisiones a tomar por la empresa deberían de considerarlos a todos ellos.

La presente investigación es un paso adelante en la búsqueda de esta sincronización entre eslabones, ya que se estudió el desempeño de las etapas de proveedor y manufactura interrelacionadas entre sí, para esto se hizo uso de la herramienta de simulación, ya que como permite trabajar con sistemas complejos y gran cantidad de variables aleatorias, se puede desarrollar un modelo tan apegado al sistema real como sea posible, ofreciendo así una herramienta que guía a través de la toma de decisiones, ayudando a gerenciar la cadena de suministros.



El sistema a simular consiste en una planta de manufactura, la cual trabaja contra pedido, ofrece cuatro tipos de productos a cinco tipos de clientes y presenta una configuración Jobshop, está a su vez se encuentra conectada a los almacenes de producto terminado y materia prima, siendo el último la principal conexión de la planta con sus proveedores.

Existen múltiples programas para simular, en este caso se utilizó el programa ARENA, el cual permitió la simulación de las actividades que conforman estas dos etapas de proveedor y manufactura, estando entre ellas las de llegada de clientes, almacén de materia prima y proveedores, procesos de manufactura y almacén de producto terminado, midiendo el desempeño de la cadena a través de indicadores de gran importancia como lo son capacidad de respuesta, cumplimiento con el cliente y beneficio obtenido.

Se realizaron una serie de experimentos con los que se busca tener un apoyo a la hora de tomar decisiones importantes y de gran influencia en la empresa, como fijar la política de inventario a utilizar, el criterio para secuenciar los productos, fechas de entregar a ofrecer a los clientes, entre otros. En cada experimento se modificaron diferentes variables en el modelo, para poder representar cada tipo de decisión a tomar.

La investigación está conformada por cinco capítulos, el Capítulo I describe el problema, los objetivos a seguir, las limitaciones y la justificación del estudio. El Capítulo II presenta el marco teórico y metodológico, en el Capítulo III se define el sistema a simular y en el Capítulo IV, se describe la construcción del modelo que representa a este sistema incluyendo actividades, variables y supuestos. En el Capítulo V, se muestran los experimentos realizados con sus resultados y análisis, para finalmente concluir acerca de estos.



---

---

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA







---

---

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente competencia a la que se están enfrentando las organizaciones hoy en día, ha tenido como consecuencia que estas se encuentren en una lucha continua para permanecer en el mercado, que se ha traducido en una nueva tendencia en la que ya no es suficiente competir individualmente entre organizaciones, sino que la rivalidad ahora es en términos de cadenas de suministros. Según Jain et al (2001), una cadena de suministros incluye la transición y transporte de materiales desde su forma bruta a través de varias estaciones de manufactura, ensamblaje y distribución del producto terminado al cliente final. Esta incluye, el flujo de información y finanzas en adición al flujo de materiales. Cada etapa de la transformación del material o de distribución puede involucrar insumos provenientes de diferentes proveedores y salidas que van a diferentes clientes intermedios.

Los eslabones de una cadena de suministros son básicamente proveedores, manufactura, distribución y clientes. Existen herramientas matemáticas que permiten el estudio y análisis de aspectos de estos eslabones por separado, más éstas no admiten el trabajo con variables aleatorias, ni sistemas complejos, restringiendo así la visualización de la cadena de suministros como un todo. Estas solo son útiles si se trata de dar respuesta a interrogantes esenciales, por ejemplo, en la etapa de manufactura se utilizan herramientas como el Algoritmo de Kauffman o el Método Húngaro para determinar una secuencia apropiada de las órdenes de producción, sin embargo estos métodos no consideran aspectos externos al brindar su solución los cuales pueden influir en la decisión a tomar, como la existencia de la materia prima para la elaboración de cierto producto, la disponibilidad de las máquinas por mantenimiento o avería, entre otros; además simplifica el problema de estudio considerando los tiempos de



puesta a punto y los de procesamientos como constantes, cuando en realidad son aleatorios.

Por esta razón, es fundamental gerenciar la cadena de suministros como un todo. Ya no es suficiente solo mejorar, integrar, estudiar, analizar y proponer mejoras en cada eslabón de la cadena de suministros por separado, sino que se tiene que estudiar como un sistema globalizado, visualizando en todo momento el impacto que tendrán determinadas propuestas de mejora en el resto de la cadena de suministros integrando el flujo de información y materiales a través de todos los eslabones.

La simulación es una herramienta por medio de la cual se puede estudiar sistemas complejos donde intervienen variables aleatorias, frecuentemente se utiliza para previsión de la demanda, control de inventario, planificación de ventas, llegada de órdenes, determinar secuenciación de máquinas y productos, evitar cuellos de botella, mejorar el uso de la capacidad, distribución y transporte a los centros de distribución, perfeccionar el uso de recursos como máquinas, personal, materiales y línea de producción, sin embargo, generalmente estos estudios no se realizan simultáneamente, sino que se han utilizado para estudiar los aspectos de manera aislada. Si se logrará construir un modelo de simulación el cual abarque todas las etapas de la cadena de suministros, se puede alcanzar el objetivo deseado de estudiar a la misma con todos sus eslabones sincronizados, facilitando la gestión y toma de decisiones referentes a esta.

Con la presente investigación se desarrolló un modelo de simulación para evaluar el desempeño de una cadena de suministros en donde se pudo visualizar de forma integrada las etapas de proveedor y manufactura de la misma, de forma tal que facilitó el estudio del impacto de decisiones tomadas en cierto eslabón en los eslabones siguientes, realizando análisis de sensibilidad y de comparación



entre escenarios, con la finalidad de detectar los mejores escenarios bajo los cuales puede operar dicha cadena de suministro.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir un modelo de simulación para evaluar el desempeño de las etapas de proveedor y manufactura de una cadena de suministros.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estudiar el comportamiento de una cadena de suministros para comprender la interrelación entre el eslabón de proveedores y manufactura.
2. Identificar las variables y restricciones de interés presentes en el sistema bajo estudio.
3. Construir un modelo de simulación que represente el sistema de interés con el cual se pueda estimar su desempeño.
4. Verificar el modelo para asegurar que no presente errores en su funcionamiento.
5. Experimentar con el modelo para estimar el desempeño del sistema en diferentes escenarios.

## **1.3 ALCANCE**

La presente investigación está orientada a desarrollar un modelo de simulación para las dos primeras etapas de una cadena de suministros, proveedor y manufactura, en el cual se pueda evaluar el desempeño de la misma, medida en términos de velocidad de respuesta y niveles de inventario. La cual se pueda



completar en un futuro con los eslabones siguientes como almacén, distribución y clientes.

#### 1.4 LIMITACIONES

Este estudio presentó las siguientes limitaciones:

- Realizar un modelo de simulación que abarque toda la cadena de suministros es un tema muy amplio y complicado de abarcar por estudiantes que no son especialistas en la materia, por lo tanto se decidió limitar el estudio de la presente investigación a las etapas de proveedores y manufactura.
- Utilizar el programa de simulación ARENA ya que es con el que cuenta la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo, debido a que obtener la licencia de este tipo de programas es muy costoso.
- La licencia está instalada en el laboratorio de la escuela, por lo que la construcción del modelo se ve sujeta al horario y disponibilidad de este.

#### 1.5 JUSTIFICACIÓN

Con este estudio, se proporciona a la población académica de la Escuela de Ingeniería Industrial una herramienta que permite tanto la visualización como el estudio y manipulación de un modelo de simulación de una cadena de suministros, en la cual se encuentran integrados los dos primeros eslabones de proveedores y manufactura.

Al crear un modelo en el que se simulen los eslabones de proveedores y manufactura integrados se podrán realizar estudios más detallados del Efecto Látigo, el cual representa cómo se ve afectado el eslabón manufactura debido a variaciones en el eslabón proveedores. A su vez, el modelo en un futuro podrá ser



utilizado por otros investigadores para completar la cadena de suministros con los eslabones siguientes.

Este estudio es importante para la Universidad de Carabobo, debido a que fortalece el espíritu investigador del estudiante universitario, fomenta el área de investigación y desarrollo de la universidad aumentando el nivel de calidad de la educación impartida por la misma.

Para las autoras, el presente estudio es importante ya que combina y aplica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, representa un importante aporte en la formación de los estudiantes como investigadores. A su vez representa el último requisito para poder optar al título de Ingenieras Industriales de la Universidad de Carabobo.





---

---

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO Y METODOLOGICO





---

---

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 ANTECEDENTES

Jain et al. **Desarrollo de modelo de simulación de alto nivel de una cadena de suministro.** (2001). Es un artículo que describe el desarrollo de un modelo de simulación para la evaluación de los procesos de negocio y de parámetros de control de inventario para la logística y distribución de una cadena de suministros. Proporciona una herramienta genérica de simulación compleja de alto nivel en vez de un modelo de simulación para una cadena de suministros dada. También describen una forma de presentar los resultados y animaciones a los clientes. Se llegó a la conclusión de que diseñar y desarrollar un modelo de simulación para un sistema tan complejo como lo es una cadena de suministros requiere análisis cuidadoso. Es un aporte para la investigación debido a que la herramienta genérica sugerida sirve como base para la construcción del modelo de simulación que se realizó para una cadena de suministros dada.

Vieira. **Ideas para modelar y simular cadenas de suministros con ARENA.** (2004) Este artículo tiene por objetivo desarrollar un sistema que ayude a profesionales de las áreas de gerencia y logística para evaluar el desempeño de una cadena de suministros a través de una simulación por computadoras. Para lograr este objetivo, presentaron las primeras ideas de cómo simular ciertos segmentos de toda la cadena de suministros. Señala la importancia del uso de la simulación para un estudio detallado del efecto látigo en una cadena de suministros y el uso de los parámetros de nivel de inventario y nivel de servicio tanto como para cada eslabón, como para la cadena como un todo. También concluyen que ni la industria ni la academia han tratado con mucha frecuencia la simulación de la cadena de suministros, probablemente debido a la complejidad



de dichos sistemas. Este estudio sirve para visualizar la estructura general de la cadena de suministros con el programa de simulación ARENA, proporcionando segmentos de un posible modelo de simulación básico de toda la cadena de suministros, diferenciándose de la investigación a realizar principalmente porque posee un bajo nivel de detalle y se pretende alcanzar un alto nivel de abstracción en el modelo a construir.

Calderón y Lario. **Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas Aplicaciones y Áreas de Desarrollo.** (2007). Estudio que consiste en la revisión de 40 artículos enfocados en la simulación de cadenas de suministro, se pudo percibir que los expertos en simulación no han presentado un estudio o un modelo que abarque toda la cadena de suministros con un buen nivel de detalle, el cual permita visualizar el desenvolvimiento de toda la cadena y así poder gestionar la misma. Los aspectos tomados en cuenta en los artículos revisados fueron los objetivos, tipos de análisis, etapas de la cadena de suministros abarcadas y procesos simulados, lo que contribuyó a tener una visión global de que aspectos son necesarios abarcar en la presente investigación.

Vierma. **Construcción de un modelo de simulación para determinar la secuencia de producción (Caso: Empresa Inversiones Selva C.A. grupo Phoenix).** (2008). Trabajo de grado de la Universidad de Carabobo Facultad de Ingeniería Industrial en el que se logró construir un modelo de simulación para determinar la secuencia de producción, haciendo uso del paquete de simulación ARENA. Después de observar el sistema, sus partes y funcionamiento y determinar las variables que determinan su comportamiento, se procedió a realizar la representación del mismo, mediante la construcción del modelo. Luego se realizó la validación del modelo y probar cuatro reglas de decisión distintas. Concluyendo que la simulación es una herramienta que facilita la toma de decisiones en sistemas complejos. Representa un apoyo acerca de la metodología a seguir en la realización de un trabajo de grado basado en la construcción de un



modelo de simulación y también respecto a la utilización del paquete de simulación ARENA como herramienta para simular el eslabón de manufactura de una cadena de suministros.

## **2.1.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.1.2.1 CADENA DE SUMINISTROS**

Jain et al (2001) señalan que una cadena de suministros incluye la transición y transporte de materiales desde su forma bruta a través de varias estaciones de manufactura, ensamblaje y distribución del producto terminado al cliente final. Esta incluye, el flujo de información y finanzas en adición al flujo de materiales. Cada etapa de la transformación del material o de distribución puede involucrar insumos provenientes de diferentes proveedores y salidas que van a diferentes clientes intermedios.

Gigola (2004) también define la cadena de suministro como el conjunto de organizaciones e individuos involucrados en el flujo de productos, servicios, dinero y la información relacionada, desde su origen (proveedores) hasta el consumidor final. Se trata de un modelo conceptual que integra todos los procesos ligados a proveedores, plantas de manufactura, centros de almacenamiento, distribuidores y detallistas con el objeto de que los bienes sean producidos y distribuidos en las cantidades adecuadas, en los lugares y en tiempos correctos, con rentabilidad para todas las entidades involucradas y cumpliendo con los niveles de servicio requeridos para satisfacer al consumidor final.

#### **2.1.2.1.1 ESLABONES DE LA CADENA DE SUMINISTROS**

La estructura tradicional de la cadena de suministros según Ching (2001) está compuesta por diferentes eslabones: fuentes, los proveedores, procesadores,



distribuidores, minoristas y consumidores, y así lo consideran la mayoría de las empresas hoy en día.

Turbam et al (2003) sostienen que una cadena de suministros consta de tres partes básicas: aguas arriba (proveedores y proveedores de los proveedores), parte interna (incluye todos los procesos de organización que transforman materiales en productos) y aguas abajo (distribución y entrega de productos a los clientes finales).

#### **2.1.2.1.2 GESTIÓN DE CADENAS DE SUMINISTROS**

Según Ballou (2001), una compañía usualmente no es capaz de controlar por completo el flujo de los productos, desde las fuentes de materia prima hasta el punto de venta. Gerenciar estos eslabones es el núcleo de gestionar una cadena de suministros y sus actividades clave están relacionadas con mantener un alto nivel de servicio, transporte eficiente, gestión de inventario, gestión de información y procesamiento de órdenes. Estas actividades de logística (de gestión o de planificación) van más allá de los límites de una sola organización.

Vieira (2004) señalan que la cadena de suministros es una complicada red conformada por flujos físicos (material-productos y de capital) y no físico (información), decisiones tomadas en una cadena de suministros por lo general tienen un impacto impredecible en otras fases de la cadena. Las relaciones entre los eslabones y sus funciones son no lineales y los resultados de una acción no puede ser estimada con precisión de antemano. Gerenciar una cadena de suministros se refiere a actividades que promuevan las interacciones funcionales, tanto dentro de una sola empresa como entre otras que conformen los distintos eslabones.



Basados en Ho (2003) se puede observar que dichas actividades incluye el acceso a los sistemas de planeación de los miembros de la cadena de suministros, compartir planes de producción, intercambio de información a través del intercambio electrónico de datos o simplemente vía internet, conociendo niveles de inventario, estandarización de procesos, pronósticos de la demanda, eventos promocionales, entre otros. Este procedimiento aumenta la complejidad en la gestión y análisis de las cadenas de suministros.

Los métodos para la gestión de la cadena de suministros deben de ser capaces de simplificar dichas complejidades, podría ser tomando una visión sistémica del funcionamiento de toda la cadena, y las decisiones que se tengan que tomar, no beneficien a una sola parte si no a la mayor cantidad de eslabones posibles.

Jain et al (2001) también apuntan que medir el beneficio y el impacto operativo de una cadena de suministros se puede capturar en términos de cambios en los siguientes indicadores de rendimiento clave:

1. Los niveles de servicio.
2. La rotación de inventario.
3. Fin de plazo de tiempo de entrega.

### **2.1.2.2 SISTEMA**

Según Shannon (1988) sistema es un conjunto de objetos o ideas que están interrelacionados entre sí como una unidad para la consecución de un fin.

Tarifa (S/F) también define al sistema como una sección de la realidad que es el foco primario de un estudio y está compuesto de componentes que interactúan con otros de acuerdo a ciertas reglas dentro de una frontera



identificada para el propósito del estudio. Un sistema puede realizar una función que no es realizable por sus componentes individuales.

Los objetos o componentes que forman parte del sistema se denominan *entidades*, estas entidades poseen propiedades denominadas *atributos*, los valores asumidos por los atributos de las entidades en un momento dado determinan el *estado* del sistema.

Law y Kelton (1991) clasifican a los sistemas de la siguiente forma:

- **Determinístico:** Si no contiene ningún elemento aleatorio. En este tipo de sistema, las variables de salidas e internas quedan perfectamente determinadas al especificar las variables de entrada, los parámetros y las variables de estado. Es decir, las relaciones funcionales entre las variables del sistema están perfectamente definidas.
- **Estocástico:** En este caso algún elemento del sistema tiene una conducta aleatoria. Entonces, para entradas conocidas no es posible asegurar los valores de salida. Cuando un sistema determinístico es alimentado con entradas estocásticas, la respuesta del sistema es también estocástica. En el mundo real, los sistemas siempre tienen elementos estocásticos ya sea por su propia naturaleza o porque son fenómenos no comprendidos actualmente. Sin embargo, se puede considerar a un sistema real con un sistema determinístico si su incertidumbre es menor que un valor aceptado.
- **Continuo:** Cuando las relaciones funcionales entre las variables del sistema sólo permiten que el estado evolucione en el tiempo en forma continua (basta que una variable evolucione continuamente). Matemáticamente, el estado cambia en infinitos puntos de tiempo.
- **Discreto:** Cuando las relaciones funcionales del sistema sólo permiten que el estado *varíe* en un conjunto finito (contable) de puntos



temporales. Las causas instantáneas de los cambios de estados se denominan eventos.

### 2.1.2.3 MODELO

Shannon (1988) define a un modelo como una representación de un objeto, sistema, o idea. Usualmente, su propósito es ayudar explicar, entender o mejorar un sistema.

Según Wainer (S/F), el objetivo de la construcción de un modelo es el desarrollo de una representación simplificada y observable del comportamiento y/o estructura del sistema real. Un modelo es simplificador, un filtro de la realidad: no la representa ni de forma exacta ni de forma completa.

### 2.1.2.4 SIMULACIÓN

De acuerdo a Pedgen et al (1990), simulación es el proceso de diseñar un modelo informático de un sistema real y realizar experimentos con este modelo para comprender su comportamiento o para evaluar las estrategias de sus operaciones. Es una técnica que brinda apoyo al momento de tomar decisiones, ya que proporciona una aproximación de lo que sucedería bajo ciertas condiciones que afecten al sistema, reduciendo así riesgos y costos incurridos al no tomar la decisión adecuada.

El autor Vieira (2004) menciona que entre las ventajas de simular figuran: realizar un análisis de “qué pasaría si” en donde se pueden comparar y evaluar diferentes políticas, verificar hipótesis acerca de la causa de los problemas, demostrar la realidad del funcionamiento de un sistema comparado con cómo se cree que funciona, separar la variables controlables de las no controlables y estudiar las influencias de cada una de estas en el desempeño del sistema,



análisis en poco tiempo de largos periodos de tiempo, los problemas que usualmente se resuelven de forma intuitiva pueden ser verificados formalmente.

### 2.1.2.5 ETAPAS DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN

Banks et al (1996) enumera a continuación las etapas para realizar un estudio de simulación:

1. **Formulación del problema:** En este paso debe quedar perfectamente establecido el objeto de la simulación. El cliente y el modelador deben acordar lo más detalladamente posible los siguientes factores: los resultados que se esperan del simulador, el plan de experimentación, el tiempo disponible, las variables de interés, el tipo de perturbaciones a estudiar, el tratamiento estadístico de los resultados, la complejidad de la interfaz del simulador, etc. Se debe establecer si el simulador será operado por el usuario o si el usuario sólo recibirá los resultados.
2. **Definición del sistema:** El sistema a simular debe estar perfectamente definido. El cliente y el modelador deben acordar dónde estará la frontera del sistema a estudiar y las interacciones con el medioambiente que serán consideradas.
3. **Formulación del modelo:** Esta etapa comienza con el desarrollo de un modelo simple que captura los aspectos relevantes del sistema real. Los aspectos relevantes del sistema real dependen de la formulación del problema. Este modelo simple se irá enriqueciendo como resultado de varias iteraciones.
4. **Colección de datos:** La naturaleza y cantidad de datos necesarios están determinadas por la formulación del problema y del modelo. Los datos pueden ser provistos por registros históricos, experimentos de laboratorios o mediciones realizadas en el sistema real. Los mismos deberán ser procesados adecuadamente para darles el formato exigido por el modelo.



5. **Implementación del modelo en la computadora:** El modelo es implementado utilizando algún lenguaje de computación.
6. **Verificación:** En esta etapa se comprueba que no se hayan cometidos errores durante la implementación del modelo.
7. **Validación:** En esta etapa se comprueba la exactitud del modelo desarrollado. Esto se lleva a cabo comparando las predicciones del modelo con: mediciones realizadas en el sistema real, datos históricos o datos de sistemas similares.
8. **Experimentación:** En esta etapa se realizan las simulaciones de acuerdo al diseño previo. Los resultados obtenidos son debidamente recolectados y procesados.
9. **Implementación:** Conviene acompañar al cliente en la etapa de implementación para evitar el mal manejo del simulador o el mal empleo de los resultados del mismo.

#### 2.1.2.6 ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN MODELO DE SIMULACIÓN

La terminología utilizada en los modelos de simulación esta descrita a continuación por Kelton et al (2008):

**Entidades:** Son los objetos dinámicos del modelo de simulación, por lo general son creados, se mueven alrededor del modelo durante un tiempo y después son desechados conforme se van. Sin embargo, es posible tener entidades que nunca se van sino que se mantienen circulando en el modelo.

**Atributos:** Un atributo es una característica común de todas las entidades, individualizándolas al asignarles un valor específico que puede diferir entre ellas. Por lo general el mismo atributo tendrá diferentes valores para diferentes entidades.



**Variabes:** Es información que refleja alguna característica del sistema, sin importar cuántos o de que tipos de entidades haya alrededor. Al contrario de los atributos las variables no están unidas a ninguna entidad específica, sino más bien pertenecen al sistema en su conjunto. Tienen acceso para todas las entidades y muchas se pueden cambiar por cualquier entidad.

**Recursos:** Es todo aquello que requiere una entidad para ser atendida en un proceso determinado, como máquinas, operarios, herramientas, entre otros.

**Colas:** Lugar donde esperan las entidades.

**Acumuladores estadísticos:** Para obtener las mediciones de desempeño de resultados se debe mantener la pista de algunas variables intermedias de acumuladores estadísticos conforme progresa la simulación.

**Eventos:** Es algo que sucede en un instante de tiempo (simulado) que puede cambiar el estado del sistema.

**Reloj de simulación:** El valor actual del tiempo en la simulación se mantiene en una variable llamada reloj de simulación. A diferencia del tiempo real, el reloj de simulación no se encarga de todos los valores ni fluye de manera continua; más bien va del tiempo de un evento al tiempo del siguiente evento programado.



## 2.2 MARCO METODOLÓGICO

### 2.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Tamayo (1997) señala que una investigación de tipo descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos, trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta.

El presente estudio es de tipo descriptivo ya que presenta las características expuestas anteriormente, en la cual se pretende estudiar el sistema actual de las etapas de proveedores y manufactura de una cadena de suministros, para así crear un modelo que simule su comportamiento y permita estimar el desempeño del mismo.

### 2.2.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

#### **Fase 1:** Estudio del comportamiento de una cadena de suministros

Se realizó un estudio bibliográfico de cómo se relacionan los eslabones de proveedores y manufactura en una cadena de suministros, y luego se definió el sistema a simular.

#### **Fase 2:** Identificación de las variables y restricciones de interés

Se estudiaron las variables y se identificaron cuales eran las de mayor interés para ser incluidas en el modelo de simulación del sistema seleccionado. Así mismo se determinaron las restricciones propias del sistema las cuales se consideraron en el modelo.



### **Fase 3:** Construcción del modelo de simulación

Haciendo uso del programa de simulación ARENA, se construyó el modelo de simulación que representó al sistema definido anteriormente incluyendo las variables y restricciones seleccionadas, que permitió estimar el desempeño del sistema en diferentes escenarios.

### **Fase 4:** Verificación del modelo

Se realizó la ejecución del modelo de simulación para verificar que este funcionara correctamente, libre de errores de lógica y de programación y que correspondiera con el sistema descrito.

### **Fase 5:** Experimentación con el modelo

Una vez verificado el correcto funcionamiento del modelo, se evaluaron los resultados arrojados por el modelo experimentando con diferentes escenarios, midiendo el desempeño en términos de velocidad de respuesta, niveles de inventario y nivel de servicio.



---

---

## CAPITULO III

### EL SISTEMA







## CAPITULO III: EL SISTEMA

El sistema a simular es una planta que trabaja contra pedidos, en donde se fabrican 4 tipos de productos (A, B, C y D), los clientes realizan los pedidos, los cuales varían en cuanto a cantidades demandadas de cada producto, las ordenes son procesadas para luego ser producidas tomando en cuenta la disponibilidad de materia prima para la elaboración de cada producto de cada orden y estas no son entregadas al cliente hasta estar completadas en su totalidad.

### 3.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN

El área de manufactura cuenta con 3 tipos de máquinas (M1, M2 y M3), dos máquinas 1, una máquina 2, y dos máquinas 3. Cada máquina cuenta con un operario que la supervise, y durante el horario de descanso de los mismos las máquinas se detienen. La jornada laboral está dividida en 3 turnos de ocho horas en donde se cuenta con media hora para comer, este horario se muestra a continuación:

Turnos / Recursos	Máquina 1		Máquina 2		Máquina 3	
	Jornada	Descanso	Jornada	Descanso	Jornada	Descanso
Turno 1	6 am – 2 pm	10 am – 10:30 am	6 am – 2 pm	10:30 am - 11 am	6 am – 2 pm	11 am – 11:30 am
Turno 2	2 pm – 10 pm	6 pm – 6:30 pm	2 pm – 10 pm	6:30 pm – 7 pm	2 pm – 10 pm	7 pm – 7:30 pm
Turno 3	10 pm – 6 am	2 am – 2:30 am	10 pm – 6 am	2:30 am – 3 am	10 pm – 6 am	3 am – 3:30 am

Tabla 1. Horario de Trabajo.

La planta trabaja bajo un sistema de producción Job Shop, es decir los productos para manufacturarse no visitan las máquinas en un mismo orden, porque cada producto requiere de un proceso de producción diferente. A esto se le llama ruta de trabajo, las cuales se muestran a continuación para cada tipo de producto que elabora la empresa:



Figura 1. Ruta de trabajo para el Producto A.



Figura 2. Ruta de trabajo para el Producto B.



Figura 3. Ruta de trabajo para el Producto C.



Figura 4. Ruta de trabajo para el Producto D.

### 3.2 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO

Los tiempos de procesar una unidad en cada máquina varían dependiendo del tipo de producto a realizar, de la siguiente manera:



Distribución	Normal( $\mu, \sigma$ )		Exponencial ( $\mu$ )	Uniforme (min,max)	
Productos/Maquinas	M1		M2	M3	
PA	3	0.2	0.5	2	6
PB	2	0.5	1	-	
PC	3.5	0.25	-	3	5
PD	-		0.75	2	6

Tabla 2. Tiempo de procesamiento de una unidad de producto  $i$  en la máquina  $j$  (min).

### 3.3 TIEMPOS DE PUESTA A PUNTO

Cada producto requiere de condiciones de fabricación distintas para una misma máquina, por lo que se requiere hacer cambios en estas especificaciones a la hora de empezar a producir un producto diferente al que se estaba haciendo en una máquina determinada. Estos cambios requieren de un tiempo el cual se conoce como tiempo de puesta a punto. Para este proceso de producción, estos tiempos son variables aleatorias con distribución exponencial cuya media varía dependiendo de la máquina en que se realice el cambio, el producto que se estaba produciendo y el que se va a empezar a producir, especificándose en las siguientes tablas, entendiéndose que el tiempo considerado es el de pasar del producto en la fila  $i$  al producto en la columna  $j$ :

	PA	PB	PC	PD
PA	-	6	3	7
PB	4	-	7	4
PC	6	5	-	6
PD	3	8	9	-

Tabla 3. Media de los tiempos de puesta a punto en la máquina 1 (min).

	PA	PB	PC	PD
PA	-	8	6	9
PB	5	-	4	3
PC	9	3	-	10
PD	4	7	8	-

Tabla 4. Media de los tiempos de puesta a punto en la máquina 2 (min).

	PA	PB	PC	PD
PA	-	4	5	6
PB	7	-	5	4
PC	3	6	-	5
PD	9	8	9	-

Tabla 5. Media de los tiempos de puesta a punto en la máquina 3 (min).

### 3.4 MATERIA PRIMA

Para la producción de los 4 productos se requiere de 4 insumos diferentes (X, Y, W y Z), estos requerimientos varían dependiendo del tipo de producto, en la siguiente figura se especifica la lista de materiales por cada insumo:

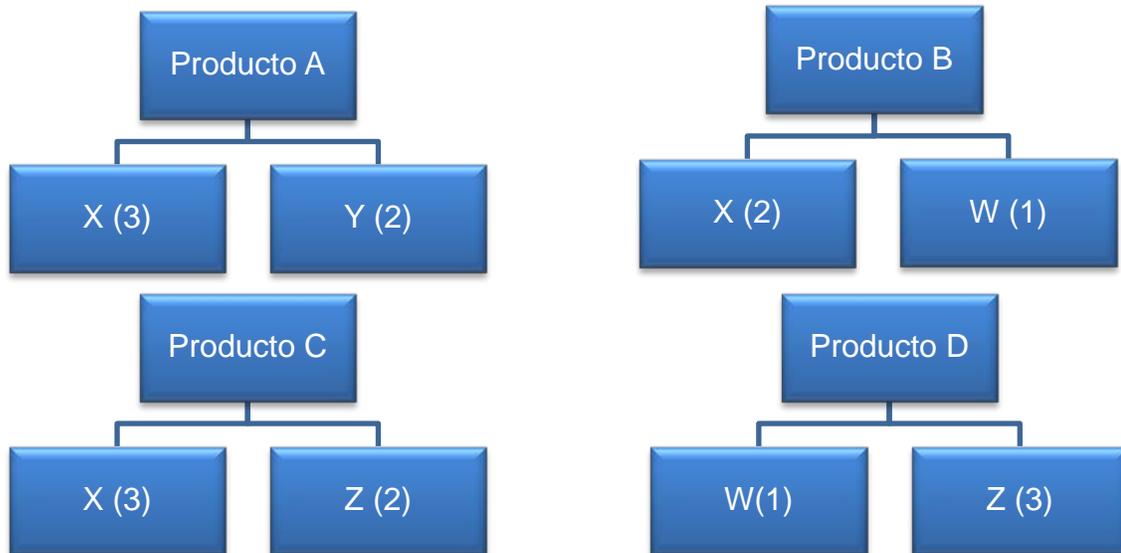


Figura 5. Lista de materiales de cada producto.

Para la procura de la materia prima se trabaja con una política (s,Q), lo que significa que cuando quedan “s” unidades en el inventario se hace una orden al proveedor por “Q” unidades. A continuación, se especifican las políticas de inventario para cada uno de los insumos:

Insumo	s (u)	Q (u)
X	6000	12000
Y	1300	3000
W	1000	2000
Z	5000	10000

Tabla 6. Políticas de Inventario (unid).



### 3.5 PROVEEDORES

Se cuenta con 4 proveedores diferentes (P1, P2, P3 y P4). El proveedor 1 suministra el insumo X, el proveedor 2 suministra Y, el proveedor 3 suministra W y el proveedor 4 suministra Z.

El tiempo en que se tarda cada proveedor en entregar un pedido son variables aleatorias con diferentes distribuciones dependiendo del proveedor, las cuales son:

Proveedor	Distribución	Parámetros
P1	Exponencial ( $\mu$ )	10
P2	Triangular (a,b,c)	4,7,12
P3	Uniforme (min,Max)	4,7
P4	Normal ( $\mu,\sigma$ )	8, 0.5

Tabla 7. Tiempo de entrega de cada proveedor (días).

### 3.6 DEMANDA

Por ser una planta que trabaja con un sistema contra pedido, la demanda viene dada por la llegada de los clientes, que realizan sus respectivas órdenes, las cuales deben ser entregadas para una fecha de entrega acordada.

#### 3.6.1 CLIENTES

La planta posee 5 tipos de clientes, divididos según las cantidades que demandan de cada producto y el nivel de participación de cada uno.

El tiempo entre llegadas de los clientes es una variable aleatoria la cual sigue una distribución exponencial con media de 8,5 horas, de los cuales 30 %



son clientes tipo 1, 20% tipo 2, 10 % tipo 3, 25 % tipo 4 y 15 % tipo 5. Los pedidos realizados por cada tipo de cliente se presentan en la siguiente tabla:

<b>Cliente/Productos</b>	<b>PA</b>	<b>PB</b>	<b>PC</b>	<b>PD</b>
<b>C1</b>	50	45	50	100
<b>C2</b>	50	-	150	-
<b>C3</b>	250	85	120	500
<b>C4</b>	80	-	55	100
<b>C5</b>	-	500	-	-

Tabla 8. Demanda por cada tipo de cliente (unidad).

### 3.6.2 FECHAS DE ENTREGA

La fecha de entrega es el tiempo que la planta promete entregar al cliente el pedido correspondiente en su totalidad. La planta tiene acordado una fecha de entrega para cada tipo de cliente, las cuales se presentan a continuación:

<b>Cliente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Fecha de Entrega</b>	10	16	17	22	14

Tabla 9. Fecha de entrega para cada tipo de cliente (días).

### 3.6.3 PRECIO DE VENTA

El precio de venta ofrecido por cada producto es el siguiente:

<b>Producto</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Precio de Venta</b>	30	20	15	50

Tabla 10. Precio de venta para cada producto (Bs./unidad).



### 3.7 COSTOS DE INTERES

El costo de mantener una unidad de cierto producto en un almacén se conoce como costo de posesión y es originado debido al mantenimiento, transporte, limpieza, etc. El almacén de materia prima de la empresa tiene un costo de posesión diferente para cada tipo de insumo, presentado a continuación:

Insumo	X	Y	W	Z
<b>Costo de Posesión</b>	18	12	9	15

Tabla 11. Costo de posesión para cada insumo (Bs/unid\*año).

Al terminar de manufacturar un lote de cierto tipo de producto, se lleva al almacén de producto terminado, en donde se mantienen los cuatro tipos de productos el tiempo necesario hasta que el cliente retire la orden realizada en su totalidad. Mientras los productos se encuentren en el almacén de producto terminado, también se incurre en costos de posesión, el cual se contabiliza cuando el lote de cada producto es terminado días antes de la fecha de entrega acordada con el cliente, a continuación se especifica el costo por día de adelanto para cada tipo de producto:

Producto	A	B	C	D
<b>Costo por día de adelanto</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.15</b>	<b>0.2</b>

Tabla 12. Costo por día de adelanto para cada producto (Bs/unid\*día)

Al emitir la orden de insumos correspondiente a cada proveedor, se incurre en un costo de ordenamiento diferente para cada uno, presentándose a continuación:



Proveedor	P1	P2	P3	P4
Costo de ordenamiento	85	70	85	70

Tabla 13. Costo de ordenamiento para cada proveedor (Bs/Orden).

Cuando la empresa no cumple con la fecha de entrega estipulada se incurre en un costo por cada día de retraso el cual varía dependiendo de la orden que se realiza, como cada tipo de cliente realiza un tipo de orden en particular, se tiene tabulado a continuación el costo por día de retraso para cada tipo de cliente:

Cliente	C1	C2	C3	C4	C5
Costo por día de retraso	200	75	360	150	170

Tabla 14. Costo por día de retraso para cada cliente (Bs/Orden\*día).





---

---

## CAPITULO IV EL MODELO





## CAPITULO IV: EL MODELO

En esta sección se referirá brevemente al paquete de simulación utilizado así como las actividades a simular, las suposiciones realizadas para la elaboración del modelo de simulación y se explicará detalladamente la construcción del mismo, incluyendo variables y restricciones, para luego verificar su correcto funcionamiento.

### 4.1 SIMULADOR UTILIZADO

En el presente estudio se hizo uso del programa de simulación ARENA debido a que es el programa de simulación que es utilizado y está a la disposición en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo, y además es un programa que tiene las siguientes características:

- Permite modelar procesos, documentar e informar.
- Tiene la opción de modificar variables, atributos, parámetros y expresiones antes y después de construido el modelo.
- Posibilita la construcción de los modelos sin la necesidad de codificar los programas, para ello provee de una serie de módulos gráficos que permiten desarrollar las descripciones de los procesos asociados a los sistemas que se modelarán.
- Simula las respuestas futuras del sistema, con el objeto de poder comprender relaciones complejas e identificar posibilidades de mejora.
- Permite visualizar las operaciones con gráficos dinámicos animados.
- El usuario puede analizar cómo funciona el sistema en la actualidad y en otros escenarios, de modo que puede elegir de forma segura la mejor alternativa.
- Permite la descripción completa de la experiencia que una entidad desarrolla en el sistema conforme fluye a través de él.



## 4.2 ACTIVIDADES A SIMULAR

- **Llegada de los Clientes:** Esta actividad considera la llegada de los 5 tipos de clientes a la empresa con las órdenes correspondientes a cada tipo, así como el nivel de participación de cada uno.
- **Materia Prima:** Simula las actividades de inventario llevadas a cabo en el almacén de materia prima, por medio de las cuales se lleva el control de las cantidades disponibles de los cuatro insumos en dicho almacén, para realizar las ordenes de los mismos a los proveedores de acuerdo a la política de inventario en vigencia.
- **Actividades de los Proveedores:** representa la realización de las órdenes de compra de los cuatro insumos a los cuatro respectivos proveedores, así como la llegada de las mismas considerando el tiempo de respuesta de cada proveedor, definido en el capítulo anterior con sus respectivas distribuciones de probabilidad.
- **Manufactura de los Productos:** Una vez procesadas las órdenes de los clientes, se tienen órdenes de producción por producto, la fabricación de cada uno es simulada tomando en cuenta, las rutas de trabajo de cada uno, los tiempos de puesta a punto en caso de que sea necesario y el tiempo de procesamiento de cada unidad de cada producto por cada máquina, determinados por distribuciones probabilísticas ya mencionadas en el capítulo anterior, también se considera si existe en el almacén de materia prima los insumos necesarios para llevar a cabo dichas órdenes.
- **Formación de Colas de Ordenes de Producción por Máquina:** Se refiere a las ordenes de producción que se encuentren en cola para ser manufacturadas, hecho que se puede originar debido a dos motivos posibles: no hay disponibilidad de la máquina que requiera un producto para empezar o continuar con su manufactura, o no hay materia prima suficiente para producir dicha orden. El criterio de secuenciación que utiliza la planta es FIFO, por lo que las colas se ordenan por orden de llegada.



- **Almacén de Producto Terminado:** Se simulan los lotes de cada producto que espera en el almacén de producto terminado, bien sea porque la orden no está completa y no se puede entregar al cliente o porque el pedido está terminado antes de la fecha de entrega prometida al cliente, por lo que este no ha sido retirado de la planta.

### 4.3 SUPUESTOS A CONSIDERAR

- Las piezas se mueven en lotes a través de la planta, es decir, un lote completo debe ser terminado en cada estación para pasar a la siguiente.
- No se toman en cuenta los tiempos de traslado entre una estación de la planta y otra.

### 4.4 VARIABLES A CONSIDERAR

- Tiempo entre llegada del cliente.
- Punto de reorden para insumo  $i$ .
- Cantidad a ordenar del insumo  $i$ .
- Porcentaje de clientes tipo  $j$ .
- Cantidades demandadas del producto  $k$  por el cliente  $j$ .
- Fecha de entrega acordada con cliente  $j$ .
- Tiempo en producir una unidad de producto  $k$  en la máquina  $l$ .
- Tiempos de puesta a punto por cada cambio de producto en la máquina  $l$ .
- Tiempo que se tarda el proveedor en entregar el insumo  $i$ .

Donde:  $i$ : X, Y, Z y W.  
 $j$ : 1, 2, 3, 4 y 5.  
 $k$ : A, B, C y D.  
 $l$ : 1, 2 y 3.

#### 4.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO

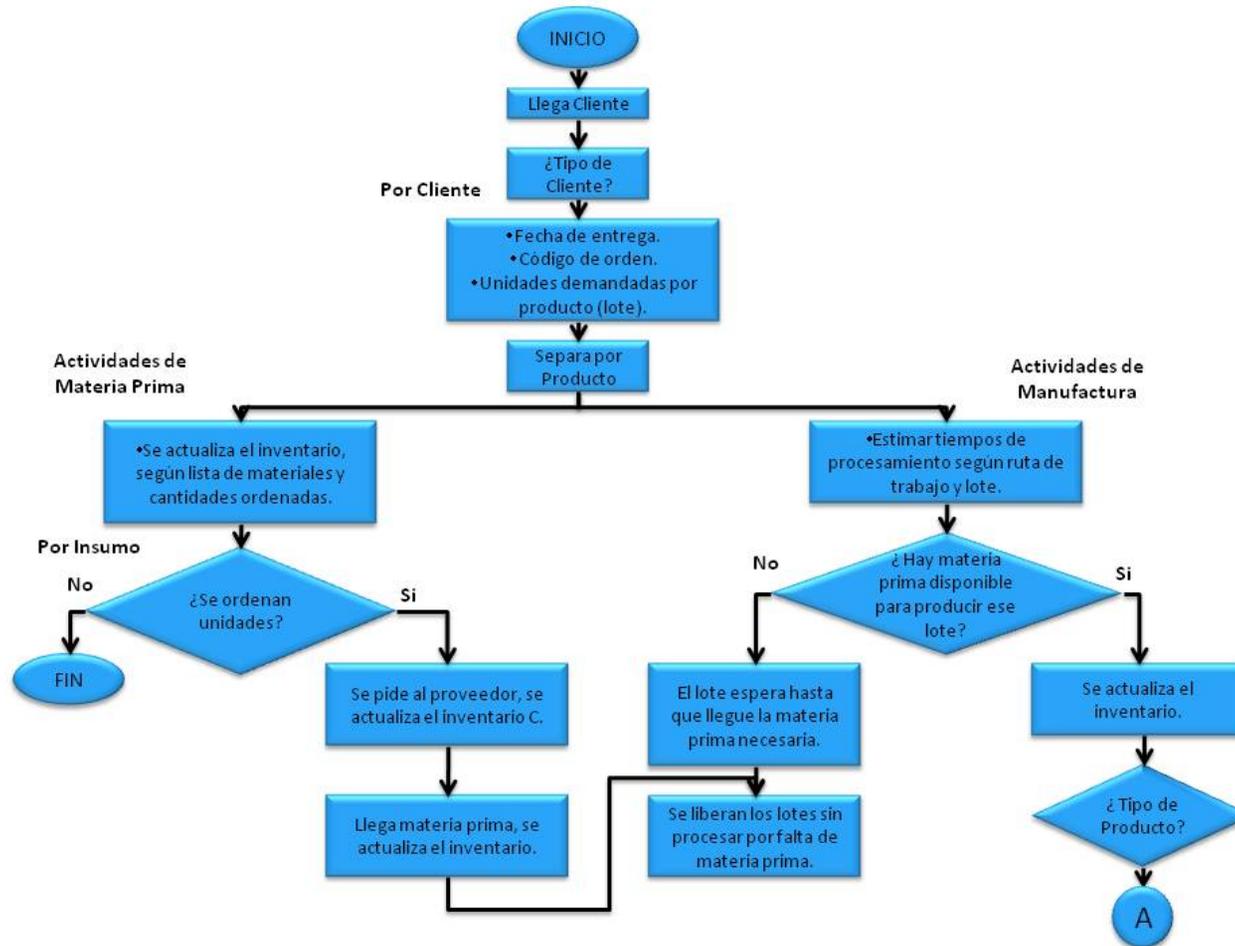


Figura 6. Diagrama de flujo del modelo parte 1.

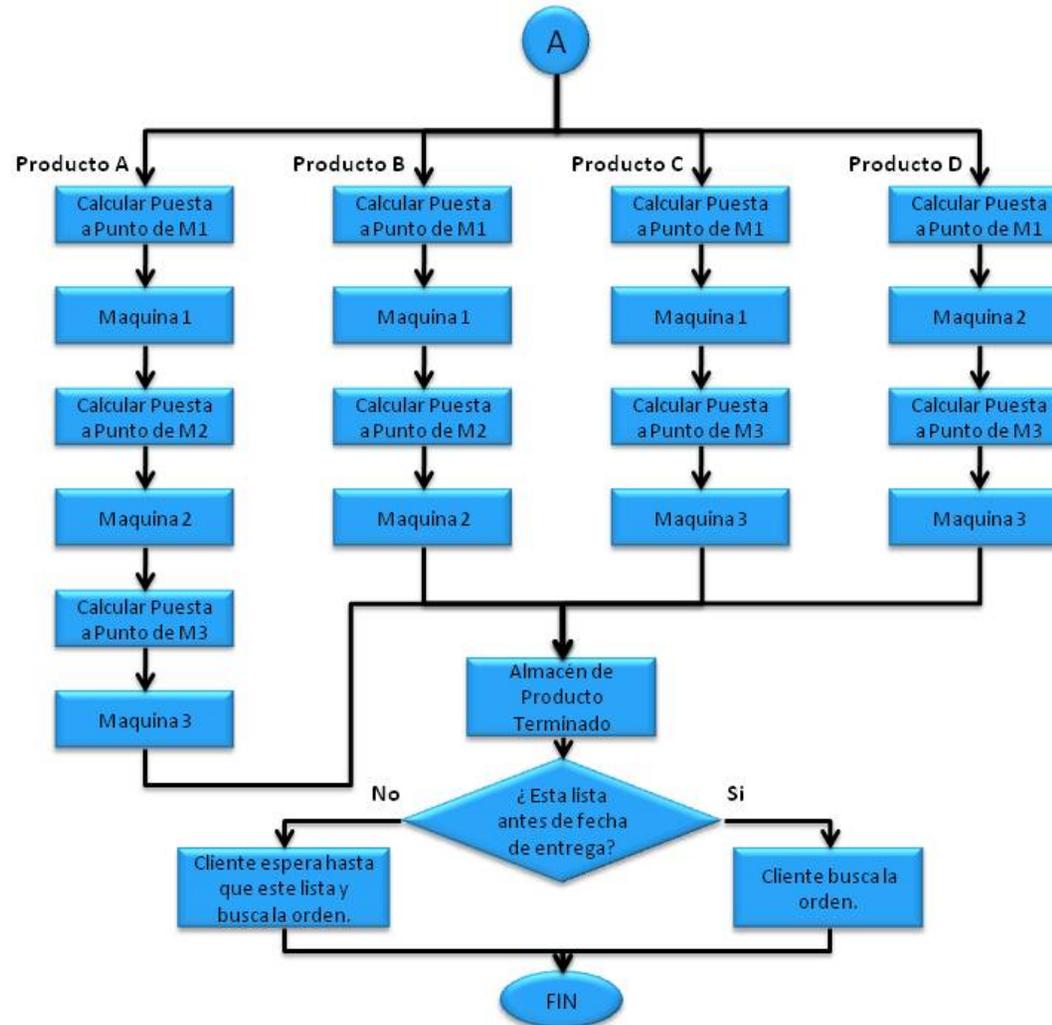


Figura 7. Diagrama de flujo del modelo parte 2.



## 4.6 CONTRUCCION DEL MODELO EN ARENA

El presente trabajo de investigación está dirigido a las etapas de manufactura y procura de materia prima, las cuales deben estar sincronizadas de modo que no se manden a producir productos para los cuales no se cuente con la materia prima necesaria, y las ordenes de materia prima a los proveedores se realicen en el momento adecuado según las políticas de inventario definidas.

El diagrama del modelo completo se observa en las figuras 8 y 9.

### 4.6.1 LLEGADA DE LOS CLIENTES

Se simula la llegada de clientes, con un tiempo entre llegadas que sigue una distribución exponencial con media 8,5 horas, esto se hace por medio de un nodo Create (Llegada Clientes), tal como se muestra en la Figura 10, registrando luego el tiempo en que llega cada uno y un número de pedido correspondiente por medio de un nodo Assign (Código de Pedido), este numero de pedido es único para cada cliente por lo que la variable llamada Pedido Número funciona como un contador que luego asignara un código diferente a cada uno. Se necesita tener el tiempo en que llega cada cliente para calcular más adelante el tiempo en que se tarda la planta en responder a ese pedido.

Por medio de un nodo Decide (Tipo Cliente), se separa a los clientes según el tipo, considerando el porcentaje de participación de cada uno. Para cada cliente se asigna en un nodo Assign (Cliente 1, Cliente 2,..., Cliente 5) los siguientes atributos: unidades demandas de cada producto, fecha de entrega y código.

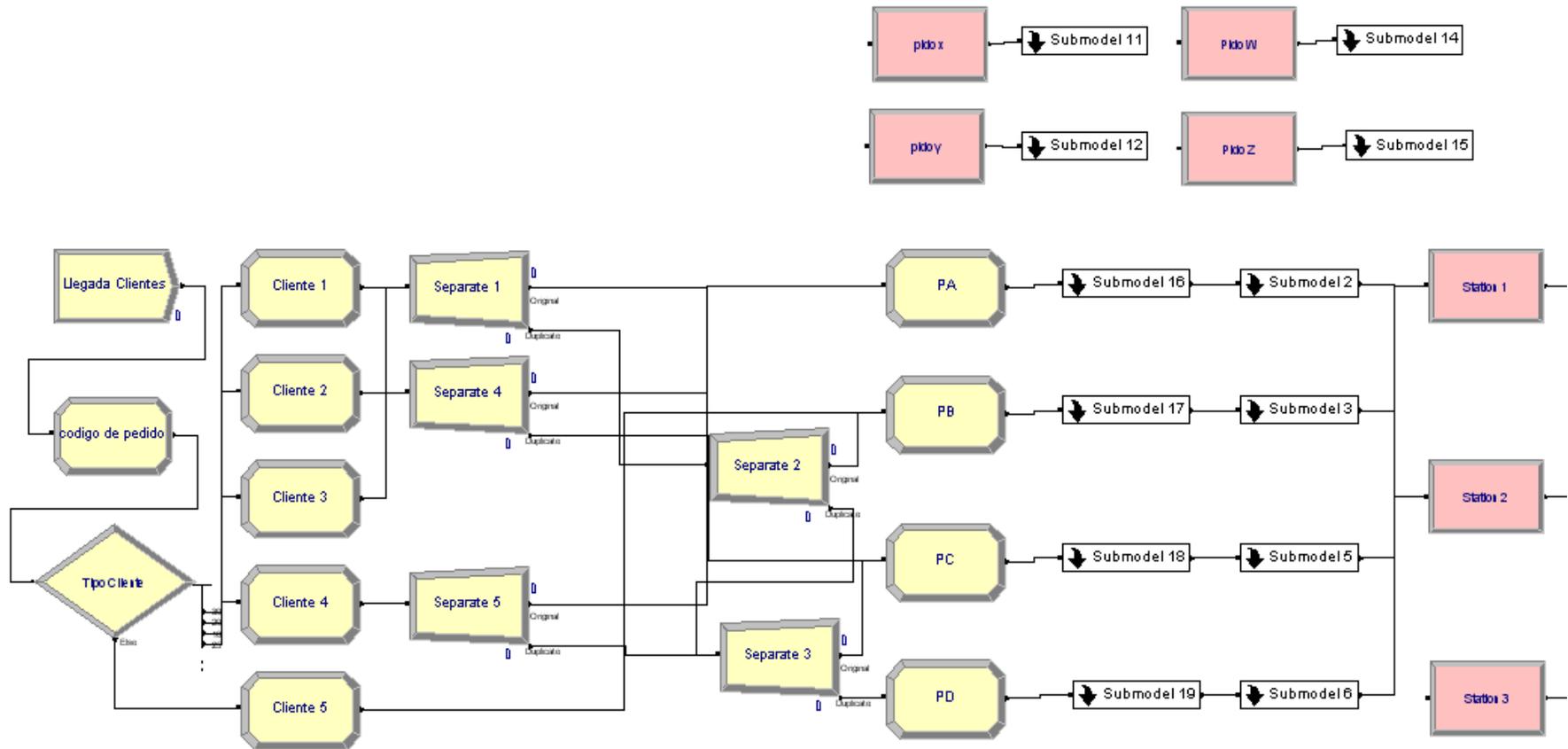


Figura 8. Diagrama del modelo en ARENA parte 1.

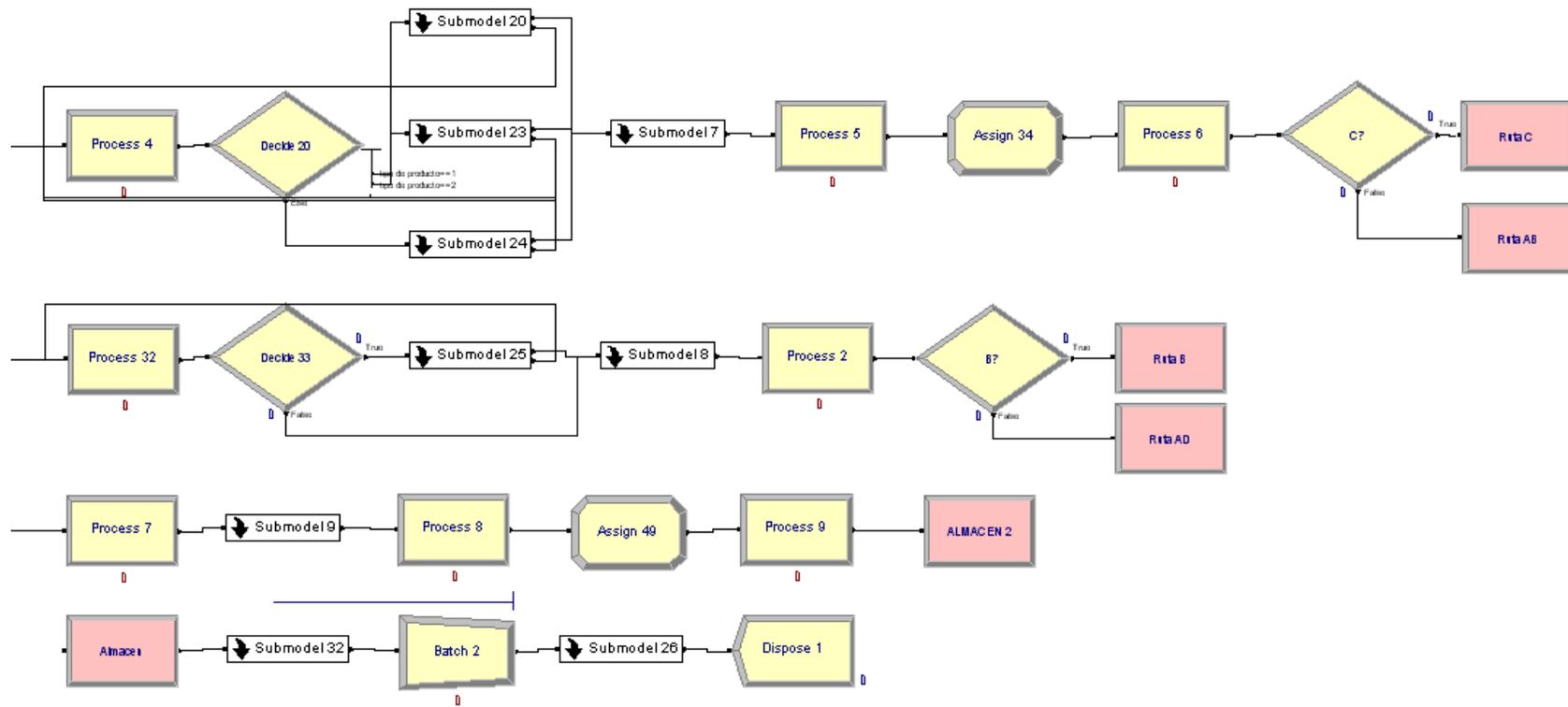


Figura 9. Diagrama del modelo en ARENA parte 2.

Haciendo uso de 5 nodos Separate (Separate 1, Separate 2,..., Separate 5), se disgregan las ordenes en los productos correspondientes a cada una, para luego, por cada producto, en un nodo Assign (PA, PB, PC, PD) restar del inventario total las cantidades de cada insumo necesario, según la lista de materiales.

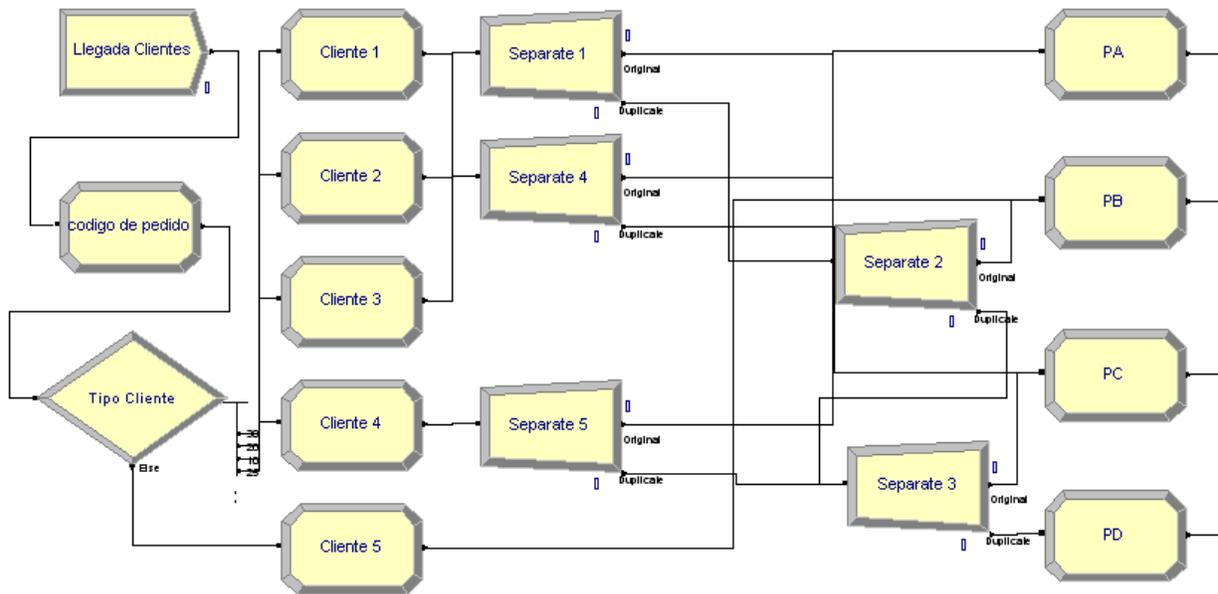


Figura 10. Diagrama de la llegada de los clientes.

#### 4.6.2 MATERIA PRIMA Y PROVEEDORES

El Submodelo 16, visible en la Figura 11, se utiliza para obtener 3 entidades para el producto A, por medio de un nodo Separate (Separate 12). Una entidad representa la orden de producción y las otras 2 funcionan para verificar el estado del inventario de cada insumo que necesite el producto. Haciendo uso de nodos Route (Route 14, Route 15) se envían las entidades a los nodos Station (Pido X, Pido Y) donde luego se dirigen a los submodelos 11 y 12 (Ver Figura 12) que hacen las funciones de cada inventario. En los submodelos 17, 18 y 19 ocurre de manera similar para los productos restantes considerando sus insumos correspondientes.

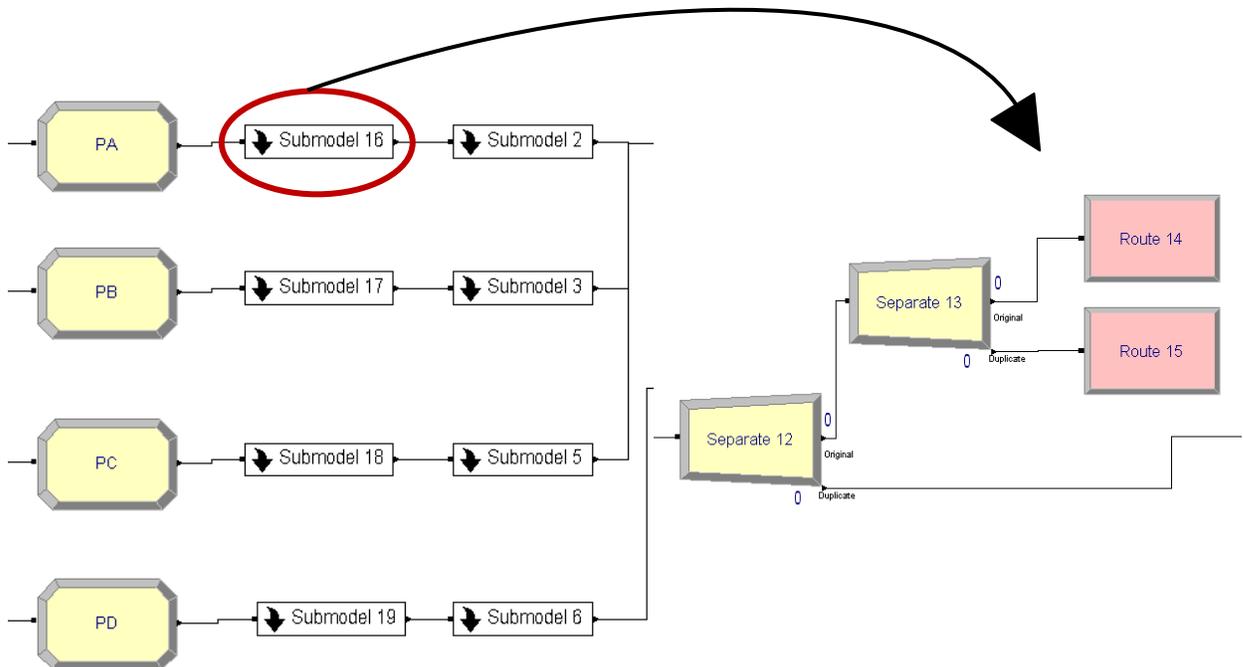


Figura 11. Submodelos 16, 17, 18 y 19.

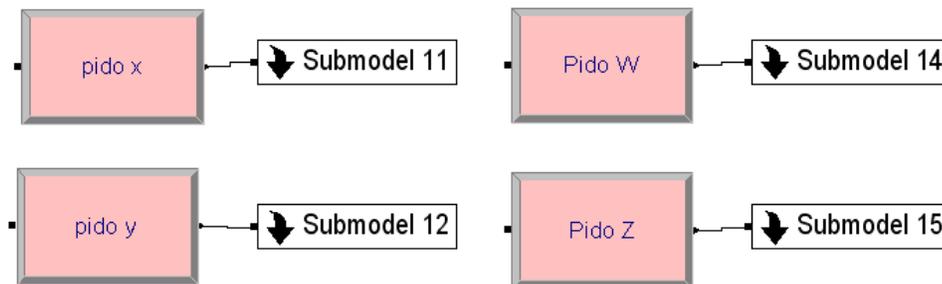


Figura 12. Diagrama de los proveedores.

En la Figura 13, se puede visualizar las operaciones de inventario para el insumo X donde se pregunta en el nodo Decide (Decide 23) si el inventario total ha alcanzado el punto de reorden, de ser así, se realiza una orden de Q unidades, representándose esto en un nodo Assign (Assign 65) al incrementar el inventario

total en esa cantidad de unidades, en este nodo también se registra la cantidad de órdenes que se han realizado del insumo en cuestión. Para simular el tiempo en sé que se tarda el proveedor en entregar el pedido se utiliza un Process (Proveedor X), alimentado con la distribución que sigue el tiempo de respuesta de este proveedor, el cual sigue una distribución exponencial con media 10 días. Al salir de este nodo, es incrementado en un nodo Assign (Assign 66), el inventario a la mano en las Q unidades mencionadas y se manda una señal por medio del nodo Signal (Signal 1), la cual significa que esa orden ya llegó. Al finalizar, las entidades son destruidas en un nodo Dispose (Dispose 2). Estos procedimientos se realizan dentro del Submodelo 11, siendo para el resto de los insumos, Y, Z y W los submodelos 12, 14 y 15 respectivamente.

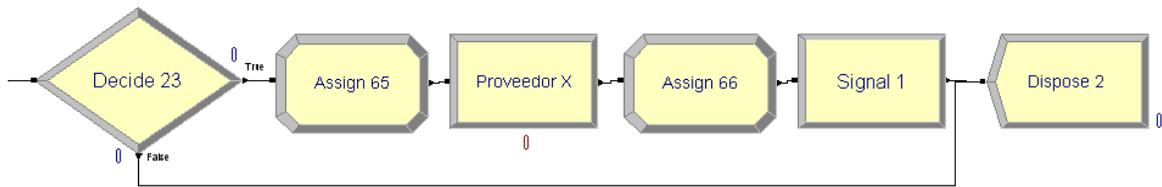


Figura 13. Diagrama del Submodelo 11.

#### 4.6.3 MANUFACTURA

En los submodelos 2, 3, 5 y 6, se calcula el tiempo de procesamiento para cada producto, A, B, C y D, considerando el tamaño de lote a realizar en cada máquina, ubicados después de los submodelos 16, 17, 18 y 19 respectivamente, como se observa en la Figura 14.

Cada producto se dirige a la primera máquina que le corresponde según su ruta de trabajo, los nodos Station (Station 1, Station 2, Station 3) son utilizados para indicar la estación que representa a cada máquina.

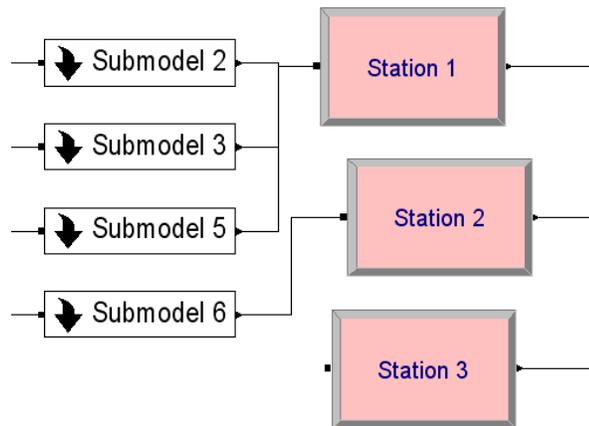


Figura 14. Diagrama de estaciones.

En la Figura 15, se muestra el Submodelo 2 el cual corresponde al Producto A, el mismo comienza con un nodo Assign (Tiempo de Servicio A) el cual acumula en los atributos Tiempo M1, Tiempo M2 y Tiempo M3 el tiempo de procesamiento de una unidad A e incrementa un contador, esto se repite hasta completar el tamaño de lote el cual se va verificando en un nodo Decide (Decide 6) que pregunta si el contador alcanzó el tamaño de lote de forma tal que los atributos Tiempo M1, Tiempo M2 y Tiempo M3 tengan el tiempo que le tomara a cada máquina manufacturar ese pedido. Al finalizar el ciclo, el contador es reiniciado en un nodo Assign (Assign 13).

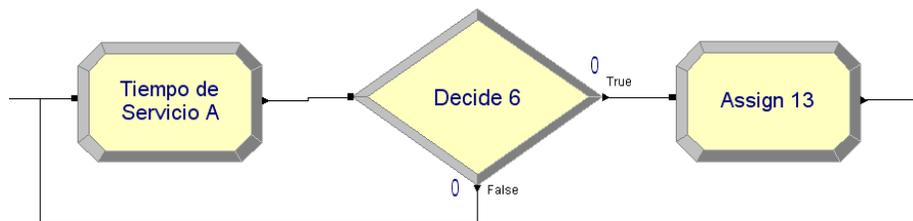


Figura 15. Diagrama del Submodelo 2.

### 4.6.3.1 MAQUINA 1

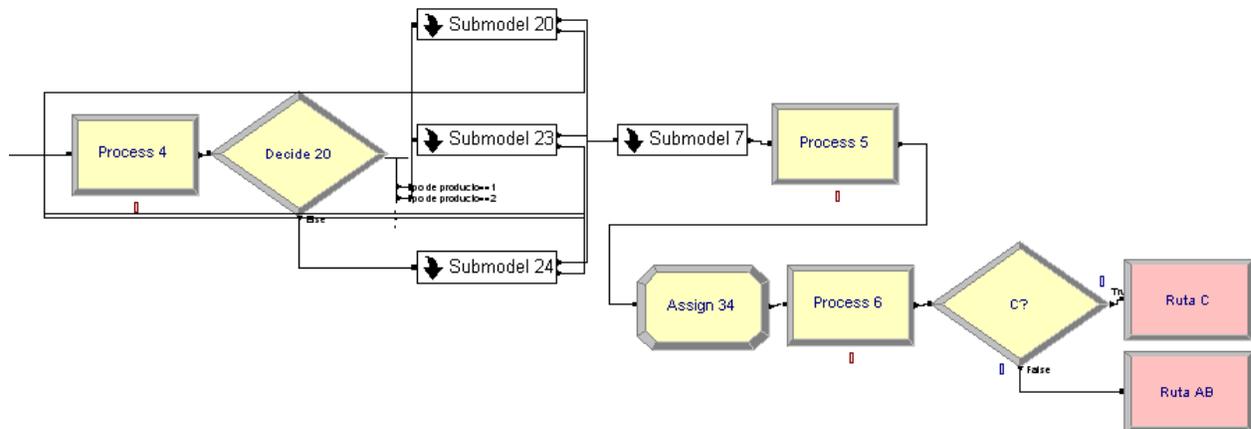


Figura 16. Diagrama Máquina 1.

Como se muestra en la Figura 16, se utiliza un nodo Process (Process 4), en el cual se genera una cola de entidades debido a que solo hay dos máquinas de este tipo y no todos los productos pueden entrar a manufacturarse cuando llegan, sin embargo el proceso de manufactura no puede comenzar hasta verificar si existe la materia prima suficiente para manufacturar el pedido. Las entidades se ordenan en la cola según este dependiendo del criterio de secuenciación que la planta este implementando.

Debido a que a esta máquina se dirigen los productos A, B y C, se utiliza un Decide (Decide 20) el cual envía a las entidades a los submodelos 20, 23 y 24 que verifican para los productos A, B y C, respectivamente, si existe la materia prima que requiere cada uno. Para el Submodelo 20 (Ver Figura 17) se parte de un nodo Decide (Decide 28) con 3 salidas, la primera es para cuando hay existencia en el almacén de las 2 materias primas necesarias, X y Y, restándosele, en un nodo Assign (Assign 76) las unidades que se utilizaran. Las otras 2 salidas son para cuando no hay suficientes unidades de alguno de los 2 insumos, utilizando los nodos Process (Process 22, Process 23), se libera a la máquina para que pueda ser utilizada por otro producto para el cual si se cuente con materia prima, esperando esta orden en los nodos Hold (Espera a Y A, Espera a X A) hasta que

se libera la señal, mencionada anteriormente visible en la Figura 13, de que llegó la materia prima solicitada. Similar ocurre para los productos B y C con la materia prima correspondiente.

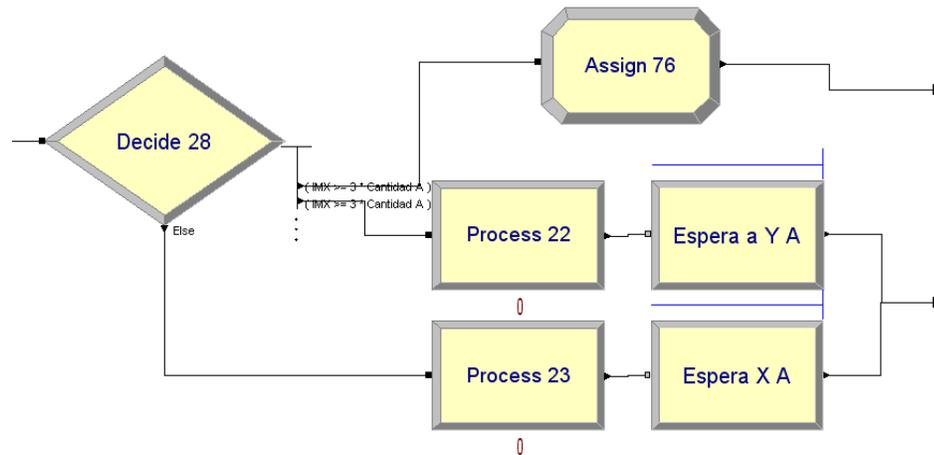


Figura 17. Diagrama del Submodelo 20.

Antes de que el lote sea procesado por la máquina, se debe calcular el tiempo de puesta a punto, valor que depende del producto que se estaba manufacturando antes y el próximo a manufacturar. Esto se hace por medio de un nodo Decide (Decide 16), el cual verifica todas las posibles combinaciones entre producto manufacturado y a manufacturar, y a cada una se le asigna el tiempo de puesta a punto que le corresponde. Estas operaciones son realizadas en el Submodelo 7, como se muestra a continuación:

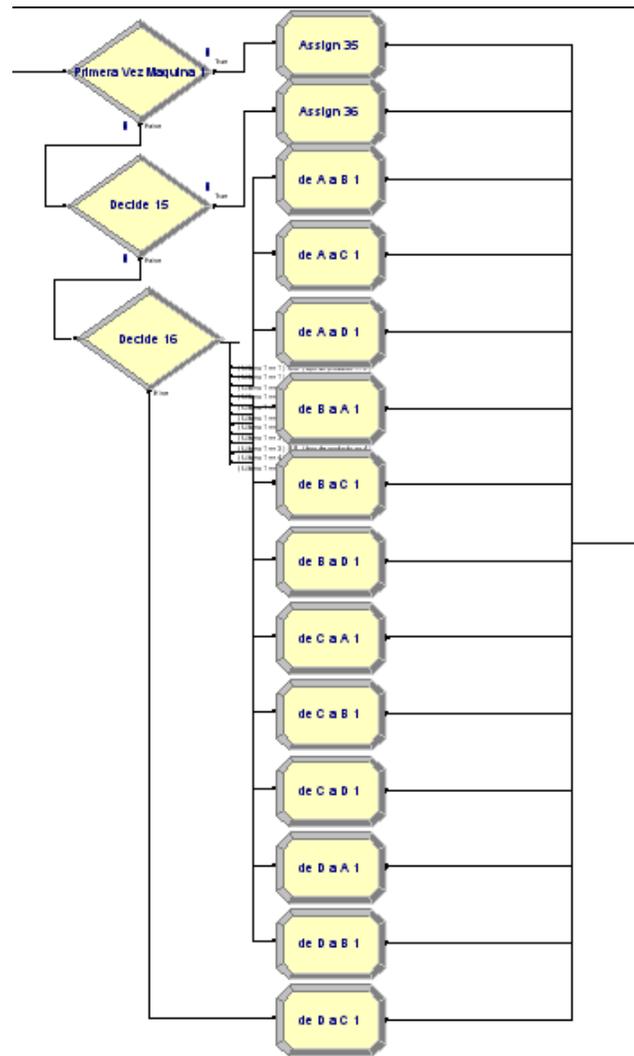


Figura 18. Diagrama del Submodelo 7.

Para simular el tiempo de mecanizado se utiliza un nodo Process (Process 5) (Ver Figura 16), alimentado con el tiempo de puesta a punto más el tiempo de procesamiento para ese lote, ya que antes de soltar a la máquina es necesario registrar con un nodo Assign (Assign 34) una variable con el último tipo de producto que se procesó, para el cálculo mencionado anteriormente del tiempo de puesta a punto. Por último un Process (Process 6), para liberar al recurso. Esta configuración fue necesaria para poder determinar el tiempo de puesta a punto que requiere una entidad justo antes de ser procesada, considerando la entidad

que acaba de ser manufacturada en la máquina a la que esta va a entrar. Al salir de la máquina se pregunta (Decide C?) que producto es y haciendo uso de los nodos Route (Ruta C y Ruta AB) las entidades se mueven a las estaciones de las máquinas que corresponde según su ruta de trabajo.

#### 4.6.3.2 MAQUINA 2

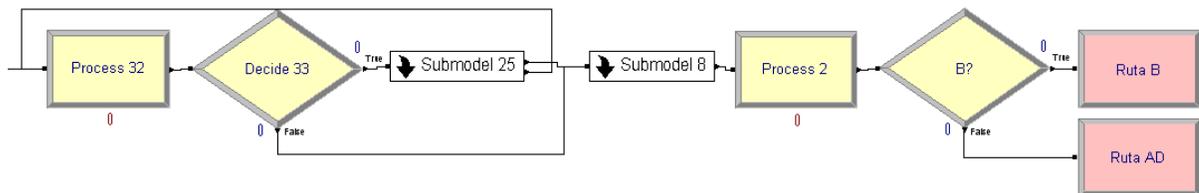


Figura 19. Diagrama Máquina 2.

Similar a la configuración utilizada en la Máquina 1, el primer nodo por el que pasan las entidades es un Process (Process 32) (Ver Figura 19). A esta máquina entran los productos tipo A y B, que ya fueron procesados por la Máquina 1, y los productos tipo D a ser procesados por primera vez, debido a que a estos aún no se ha determinado si hay suficiente materia prima en el almacén para su fabricación, deben ser separados por medio de un nodo Decide (Decide 33) el cual los envía al Submodelo 25, este funciona como los submodelos 20, 23 y 24 de la Máquina 1.

Para determinar el tiempo de puesta a punto se utiliza el Submodelo 8, después, con el Process 2, se simula el tiempo de maquinado alimentado por los mismos atributos que en la Máquina 1. Por último con el nodo Decide B? se envían a los productos A y D a la máquina 3 y B al almacén de producto terminado, haciendo uso de las rutas Ruta B y Ruta AD.

### 4.6.3.3 MAQUINA 3

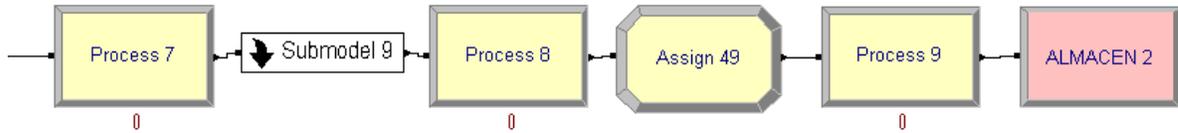


Figura 20. Diagrama Máquina 3.

Se utiliza una configuración similar a la Máquina 1, a diferencia de que no se verifica la existencia de materia prima (Ver Figura 20). El Submodelo 9 determina los tiempos de puesta a punto, el Process 8 simula la manufactura con un tiempo igual al tiempo de puesta punto más el de procesar el lote, el Assign 49 se utiliza para registrar la última entidad que salió y por último el Process 9 se usa para liberar el recurso, luego la entidad se dirige a la estación que simula el almacén de producto terminado a través de un nodo Route (Almacén 2).

### 4.6.4 ALMACEN DE PRODUCTO TERMINADO

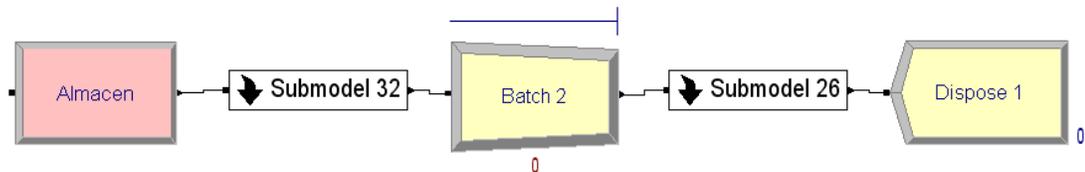


Figura 21. Diagrama Almacén Producto Terminado.

El nodo Station (Almacén), visible en la Figura 21, es a donde llegan todos los productos al ser terminados, haciendo uso de los nodos Route ya mencionados, luego con el Submodelo 32 (Ver Figura 22), por cada producto, se almacenan los lead time de producción haciendo uso de los nodos Record (LT Producto A,..., LT Producto D) y se acumulan los días de adelanto, en las

variables Días de Adelanto A,..., Días de Adelanto D, por medio de los nodos Assign (Assign 118, Assign 119, Assign 120, Assign 121), si la fecha de entrega es mayor al lead time de producción recién registrado.

El nodo Batch (Batch 2) (Ver Figura 21) se utiliza para agrupar los productos en órdenes, de modo que ningún producto pueda seguir adelante en el modelo hasta que estén completos todos los productos que corresponden a la orden y de esta manera no se entrega hasta que cada orden tenga sus respectivos lotes de productos.

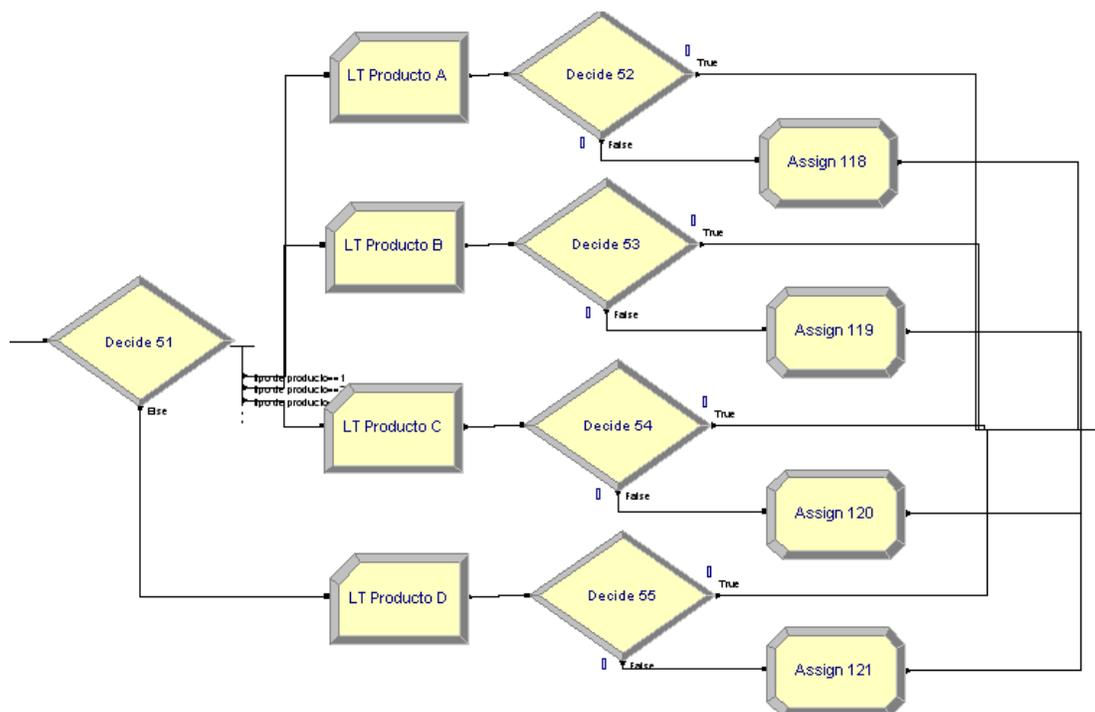


Figura 22. Diagrama del Submodelo 32.

Luego en el Submodelo 26, visible en la figura 23, se registra el lead time de producción del sistema por medio del nodo Record (LT Sistema), pero como también es importante registrar el tiempo de respuesta para cada tipo de orden, se separan con el nodo Decide (Decide 35), las ordenes según tipo de cliente y se registran en los nodo Record (LT CLIENTE 1,..., LT CLIENTE 5). También es

importante obtener la cantidad de pedidos que se entregaron a tiempo y los que no, y para estos últimos, el número de días que se retrasaron, ya que estos valores influyen en los indicadores para medir el desempeño del sistema. Se verifica si cumplieron o no con los nodos Decide (Decide 39, Decide 40, Decide 41, Decide 42, Decide 43) y en los nodos Record (Record 12,..., Record 19) se cuentan las ordenes que cumplen y las que no cumplieron con la fecha de entrega y se acumulan los días de retraso en los nodos Assign (Assign 94,..., Assign 98).

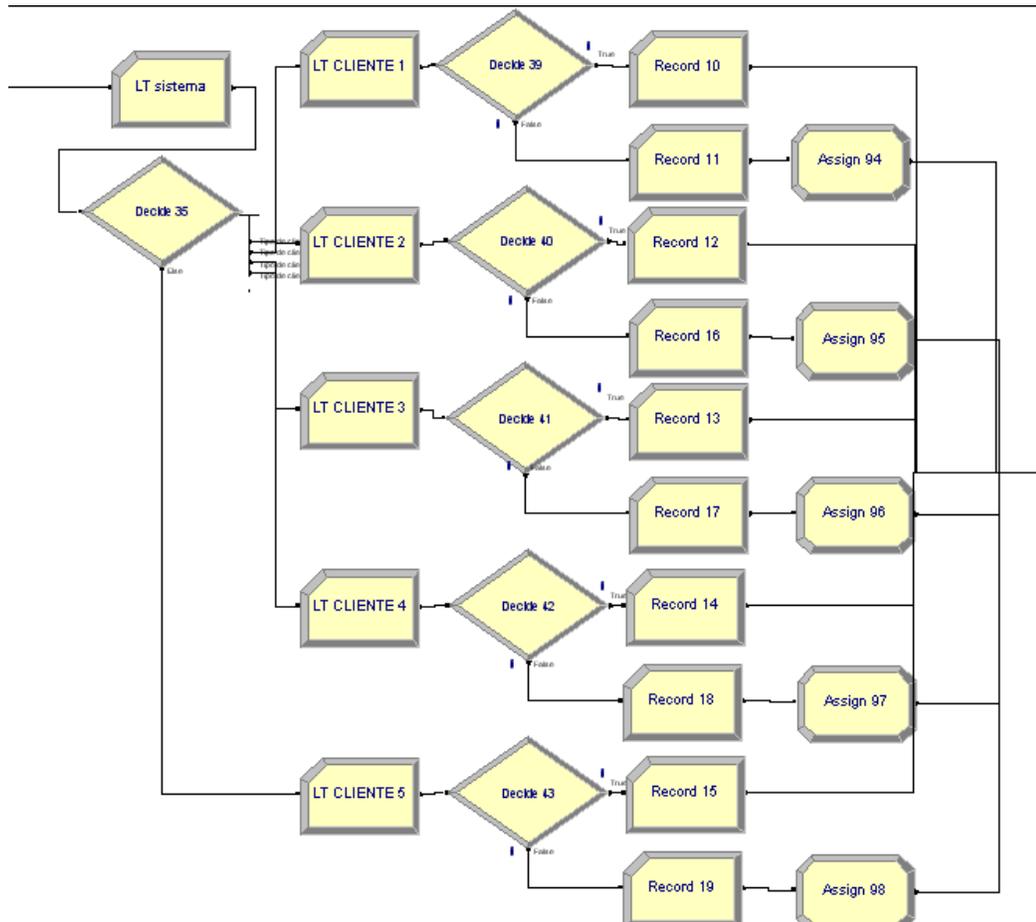


Figura 23. Diagrama del Submodelo 26.



## 4.7 VERIFICACIÓN DEL MODELO

Para la verificación del modelo se hizo uso de diferentes herramientas que proporciona el programa ARENA, gracias a estas se pudo realizar un seguimiento detallado de las entidades para cerciorarse de que tanto estas como las variables se están comportando de la manera correcta.

Primero se hicieron diferenciar las entidades, a través de la herramienta del Entity Picture, asignándole un color diferente a cada tipo de cliente para poder verificar que al final del modelo las órdenes son entregadas completas y agrupadas por el tipo de cliente al que corresponden.

La misma herramienta se utilizó después para diferenciar las entidades pero entre productos. Se le hizo seguimiento a cada producto para cerciorarse de que no se manden a producir lotes de productos si no existe materia prima suficiente, que la ruta de trabajo sea correcta y que se esté calculando correctamente los tiempos de puesta punto tomando en cuenta que se considera cual fue el último producto y el próximo a entrar.

Se hizo uso de la herramienta Clock la cual permite ver el tiempo reloj en el que ocurren los eventos, para comprobar que las paradas por descanso se están haciendo en el horario que corresponde y que los tiempos de puesta a punto y procesamiento están durando lo estipulado.

A partir de animaciones que permiten ver la utilización de cada máquina, se pudo hacer el seguimiento de que estas están operando cuando corresponde y a su vez se colocó visible una Variable, para cada máquina, en las que se reflejan la cantidad de productos que hacen cola para entrar en la máquina, de modo que se pueda comprobar que si aumentando el tiempo entre llegadas se disminuyen las colas o viceversa.



Se utilizaron Variables para cada tipo de inventario y puntos de reorden para reflejar que las unidades que se están pidiendo son las correctas y que los inventarios se comportan de manera adecuada.

También se disminuyeron y aumentaron las fechas de entrega para verificar que el nivel de servicio de la planta se comporta acorde a estos cambios.

#### **4.8 DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE CALENTAMIENTO**

El sistema es sin terminación definida por lo que se requiere que se tomen en cuenta las estadísticas para cuando el sistema alcanza el estado estable. El tiempo que tarda el sistema en alcanzar su estado estable se le llama periodo de calentamiento. El programa ARENA permite establecer un periodo de calentamiento de modo que no se registran estadísticas hasta haber transcurrido todo este tiempo. Para tener una estimación de este tiempo es práctico realizar graficas de las salidas claves de la simulación y verificar el momento en que las mismas parezcan estabilizarse, en este caso se utilizaron las variables de lead time de producción por cada tipo de cliente.

Luego de observar el comportamiento de las graficas, se estimó que el sistema alcanzaba el estado estable habiendo transcurrido 15000 horas de simulación, introduciendo este valor como periodo de calentamiento en el modelo construido, y el tiempo de simulación fijado es de un año.





---

---

## CAPITULO V EXPERIMENTACIÓN







## CAPITULO V: EXPERIMENTACIÓN

Hoy en día para las empresas es de suma importancia el cumplimiento con el cliente, tener una buena capacidad de respuesta y maximizar la ganancia, es por esto que para medir el desempeño de este sistema se utilizaron los indicadores de: niveles de servicio, lead time de producción y beneficio obtenido.

El nivel de servicio se considera como un porcentaje entre la cantidad de órdenes entregadas a tiempo y el total de órdenes entregadas, y el lead time es el tiempo desde que llega una orden al sistema hasta que está completada.

La ecuación de beneficio se utilizó tomando en cuenta la ganancia obtenida por las ventas, y los costos que acarrearán las unidades en almacén de producto terminado, los pedidos entregados pasado el tiempo de entrega, realizar ordenes de insumos y mantener insumos en el almacén de materia prima, considerando los costos descritos en el capítulo III

$$\begin{aligned} \text{Beneficio} = & 30 \times CV_A + 20 CV_B + 15 \times CV_C + 50 \times CV_D - 200 \times DR_1 - 75 \times DR_2 - \\ & 360 \times DR_3 - 150 \times DR_4 - 170 \times DR_{15} - 0.2 DA_A - 0.1 \times DA_B - 0.15 \times DA_C - 0.2 \times \\ & DA_D - 85 \times (NO_X + NO_Z) - 70 \times (NO_Y + NO_{XW}) - 18 \times IP_X - 12 \times IP_Y - 9 \times \\ & IP_{XZ} - 15 \times IP_W \end{aligned}$$

Donde:

CV<sub>k</sub>: Cantidad de unidades vendidas del producto k.

DR<sub>j</sub>: Días de retraso para la orden del cliente j.

DA<sub>k</sub>: Días de adelanto para el producto k.

NO<sub>i</sub>: Numero de órdenes realizadas al proveedor del insumo i.

IP<sub>i</sub>: Inventario promedio del insumo i.



Para:

i: X, Y, Z y W.

j: 1, 2, 3, 4 y 5.

k: A, B, C y D.

Se realizaron una serie de experimentos para evaluar cómo reaccionaría el sistema ante distintas variaciones, concluir sobre estas y elegir un mejor escenario, con la finalidad de demostrar cómo se va a proceder a utilizar el modelo dependiendo de los problemas que se quieran resolver, o decisiones que se quieran tomar.

## **5.1 EXPERIMENTO 1: DETERMINACIÓN DE LA MEJOR CONFIGURACIÓN POLÍTICA DE MATERIA PRIMA–SECUENCIACIÓN DE PRODUCCIÓN**

Este experimento consiste en conseguir la mejor combinación entre política de inventario para la adquisición de los insumos y criterio de secuenciación, para esto se evaluaron 3 escenarios, en los cuales se alteraron los valores de las políticas de inventario para los insumos y los criterios de secuenciación, y se dejaron fijas las variables de fechas de entrega ofertadas, tiempos de mecanizado, tiempo de puesta a punto y tiempo de respuestas del proveedor, según lo señalado en el Capítulo III.

Para este experimento se hizo uso de un paquete para optimizar OptQuest, disponible para el programa ARENA. Esta herramienta realiza varias corridas en las cuales se prueba con diferentes configuraciones para las variables de control que se deseen, para maximizar o minimizar una función objetivo establecida, considerando restricciones si el usuario así lo indica.



Para todos los escenarios, cada vez que se ejecutó el modelo se utilizó un periodo de calentamiento de 15000 horas, el tiempo de simulación fue de un año, y se hicieron 15 replicas por combinación.

### 5.1.1 ESCENARIO 1

En el primer escenario se trabajó con el criterio de secuenciación FIFO, es decir primero que entra primero que sale, y haciendo uso del OptQuest se buscó obtener una política de inventario de materia prima que maximice el beneficio.

El OptQuest se utilizó para maximizar el beneficio sujeto a que el nivel de servicio para el sistema sea mayor a 80%. Se alimentó con las variables que rigen las políticas de inventario de cada insumo, punto de reorden (s) y cantidad a ordenar (Q), estableciendo como valores iniciales los que se indicaron en el Capítulo III. Se probaron 250 combinaciones de políticas y a continuación se presentan las cinco mejores:

Política	Beneficio (Bs/año)	s (unid)				Q (unid)			
		X	Y	W	Z	X	Y	W	Z
1	5077161.06	8200	8500	5200	6300	4900	7600	8200	3900
2	5051387.46	9500	8600	2200	6000	2400	12400	7700	6200
3	5036091,96	9500	8600	1500	5800	1100	13700	7700	5100
4	5004841,03	9600	8700	2100	6000	1000	12800	7900	5000
5	9001921,43	10000	9100	1900	5700	1000	13800	9100	5300

Tabla 15. Mejores 5 políticas para el primer escenario del experimento 1.

Fuente: OptQuest.

Se seleccionó la alternativa 1 por ser la que maximiza el beneficio, para la cual se ejecutó el modelo y se obtuvieron los siguientes resultados:



<b>Clientes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Sistema</b>
<b>Nivel de Servicio (%)</b>	84.8 ± 8	99.19 ± 1	99.46 ± 1	100 ± 0	97.38 ± 3	94.89 ± 3
<b>Lead Time (hr)</b>	157.8 ± 18	167.46 ± 20	182.1 ± 20	162.11 ± 17	165.67 ± 22	164.44 ± 19
<b>Beneficio (Bs/año)</b>	5077161.06 ± 117819					

Tabla 16. Valores de indicadores para el primer escenario del experimento 1.

Fuente: ARENA.

### 5.1.2 ESCENARIO 2

Manteniendo la política seleccionada en el escenario 1, se probó ahora como criterio de secuenciación Fecha de Entrega Más Próxima para ver si aumenta el nivel de servicio.

Los resultados obtenidos para este escenario fueron:

<b>Clientes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Sistema</b>
<b>Nivel de Servicio (%)</b>	98.01 ± 2	98.6 ± 1	98.44 ± 1	98.29 ± 1	98.58 ± 1	98.31 ± 1
<b>Lead Time (hr)</b>	70.84 ± 10	176.07 ± 16	214.84 ± 16	302.18 ± 22	139.52 ± 16	185.07 ± 15
<b>Beneficio (Bs/año)</b>	5121820.38 ± 172981					

Tabla 17. Valores de indicadores para el segundo escenario del experimento 1.

Fuente: ARENA.



Se realizó una prueba de hipótesis entre los escenarios 1 y 2 para comprobar cuál configuración resulta más conveniente en términos de Nivel de Servicio del Sistema, siendo:

$$H_0: \mu_{NSFIFO} - \mu_{NSFE} = 0$$

$$H_1: \mu_{NSFIFO} - \mu_{NSFE} \leq 0$$

$$\alpha=5\%$$

Donde:

$\mu_{NSFIFO}$ : media del nivel de servicio del sistema con criterio de secuenciación FIFO.

$\mu_{NSFE}$ : media del nivel de servicio del sistema con criterio de secuenciación Fecha de Entrega Más Próxima.

Parámetros	FIFO	Fecha Entrega
n	15	15
$\bar{x}_{NS}$	94.89	98.31
$S_{NS}$	5.4171	1.8057

Tabla 18. Estimación de los parámetros para la primera prueba de hipótesis del experimento 1.

Haciendo uso del programa STATGRAPHICS, se obtuvo como resultado un P Valor de 0.0165 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se puede resaltar que el criterio de Fecha de Entrega es mejor para esta política en términos de que proporcione un mejor nivel de servicio.



### 5.1.3 ESCENARIO 3

Este escenario se trabajó similar al escenario 1, con la diferencia de que el criterio de secuenciación utilizado fue Fecha de Entrega Más Próxima y haciendo uso del OptQuest se buscó obtener una política de inventario de materia prima que maximice el beneficio sujeto a que el nivel de servicio para el sistema sea mayor a 80%. Se utilizaron como valores iniciales la política que se obtuvo en el escenario 1.

A continuación se presentan las cinco mejores combinaciones de políticas de las 250 que se probaron:

Política	Beneficio (Bs/año)	s (unid)				Q (unid)			
		X	Y	W	Z	X	Y	W	Z
1	5294736.93	5200	4100	3400	5300	5100	5200	7900	4600
2	5098406,41	8700	8900	3900	5900	3100	4200	8300	3500
3	5088413,42	3400	4000	3400	5000	5100	5800	9000	3900
4	5081472,49	5800	6300	3300	6900	5500	5500	7900	5400
5	5026768,45	3100	7500	5900	6900	5400	5600	8800	3500

Tabla 19. Mejores 15 políticas para el tercer escenario del experimento 1.

Fuente: OptQuest.

Al igual que para el escenario 1, se escogió la primera alternativa por ser la que maximiza el beneficio y los resultados obtenidos para esta política son los siguientes:



Clientes	1	2	3	4	5	Sistema
Nivel de Servicio (%)	96.36 ± 3	95.66 ± 4	95.4 ± 4	96.56 ± 3	95.3 ± 3	95.97 ± 3
Lead Time (hr)	104.8 ± 12	233.86 ± 14	270.87 ± 15	367.57 ± 17	189 ± 15	224.97 ± 14
Beneficio (Bs/año)	5294736.93 ± 196753					

Tabla 20. Valores de indicadores para el tercer escenario del experimento 1.

Fuente: ARENA.

La segunda prueba de hipótesis consiste en comparar diferentes políticas utilizando el criterio de secuenciación Fecha de Entrega Más Próxima, comparando así los niveles de servicios del sistema obtenidos en el escenario 2 y el 3.

$$H_0: \mu_{NS2} - \mu_{NS3} = 0$$

$$H_1: \mu_{NS2} - \mu_{NS3} \geq 0$$

$$\alpha=5\%$$

Donde:

$\mu_{NS2}$ : media del nivel de servicio del sistema del escenario 2.

$\mu_{NS3}$ : media del nivel de servicio del sistema del escenario 3.

Parámetros	Escenario 2	Escenario 3
n	15	15
$\bar{x}_{NS}$	98.31	95.97
$S_{NS}$	1.8057	5.4171

Tabla 21. Estimación de parámetros para la segunda prueba de hipótesis del experimento 1.



A través del programa STATGRAPHICS, se obtuvo como resultado, un P Valor de 0.0655 lo que significa que independientemente de la política que se escoja entre estas dos, el nivel de servicio del sistema no varía significativamente como para concluir que una es mejor que la otra.

Por lo tanto, se realizó otra prueba de hipótesis, ahora para verificar si mejora el tiempo de respuesta del sistema entre los escenarios 2 y 3.

$$H_0: \mu_{LT2} - \mu_{LT3} = 0$$

$$H_1: \mu_{LT2} - \mu_{LT3} \leq 0$$

$$\alpha=5\%$$

Donde:

$\mu_{LT2}$ : media del lead time del sistema del escenario 2.

$\mu_{LT3}$ : media del lead time del sistema del escenario 3.

Parámetros	Escenario 2	Escenario 3
<b>n</b>	15	15
$\bar{x}_{LT}$	185.07	224.257
<b>S<sub>LT</sub></b>	27.0855	25.2798

Tabla 22. Estimación de parámetros para la tercera prueba de hipótesis del experimento 1.

Para esta prueba de hipótesis resultó un P Valor de  $8.11 \times 10^{-6}$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula de que los tiempos de respuesta para el sistema son iguales, pero en este caso, este tiempo es mejor para el escenario 2. Se puede decir que la política para el escenario 3, no presenta ningún impacto en el nivel de servicio, pero si desmejora el tiempo de respuesta del sistema.



Basándose en los resultados obtenidos, para el experimento 1, el mejor escenario es el número 2, el cual tiene criterio de secuenciación Fecha de Entrega Mas Próxima y política de inventario de materia prima la que se muestran a continuación:

Insumo	s (u)	Q (u)
X	8200	4900
Y	8500	7600
W	5200	8200
Z	6300	3900

Tabla 23. Mejor política de inventario para el experimento 1.

## 5.2 EXPERIMENTO 2: DETERMINACIÓN DE FECHAS DE ENTREGA

El experimento consiste en buscar la fecha de entrega que se le debe ofrecer a cada cliente, que garantice un nivel de servicio mayor o igual al 95 %. El criterio de secuenciación utilizado fue FIFO. Para el tiempo de mecanizado, puesta a punto y de respuesta del proveedor se utilizan los señalados en el Capítulo III y se utilizó como política de inventario los de la tabla siguiente:

Insumo	s (u)	Q (u)
X	3000	7000
Y	4500	6000
W	2500	7000
Z	5500	6000

Tabla 24. Política de inventario para el experimento 2

Se corrió el modelo por un año y se registraron los lead time de producción para cada tipo de cliente, estos valores se ordenan de menor a mayor, buscando el fractil 0.95 entre estos datos, resultando los siguientes valores de fechas de entrega que garantizan este nivel de servicio:



Cliente	1	2	3	4	5
Fecha de Entrega (días)	17	18	19	18	18
Nivel de Servicio (%)	95.66	96.28	98.25	97.35	96.2

Tabla 25. Resultados de las fechas de entrega para el experimento 2.

Adicionalmente, se muestra una tabla para diferentes niveles de servicio que se obtienen con distintas fechas de entrega por cada cliente, lo que permite elegir la fecha de entrega para cualquier otro nivel de servicio que se desee garantizar:

Cliente 1		Cliente 2		Cliente 3		Cliente 4		Cliente 5	
Día	NS (%)								
19	99.56	20	99.78	20	98.25	19	99.34	19	98.1
18	97.38	19	99.12	19	98.25	18	97.35	18	96.2
17	95.66	18	96.28	18	94.76	17	94.53	17	92.41
16	94.5	17	94.97	17	94.32	16	92.7	16	91.6
15	91.47	16	93	16	91.26	15	89.39	15	88.89
14	89.3	15	89.74	15	88.2	14	86.4	14	85.36
13	86.27	14	86.24	14	82.53	13	82.75	13	80.49
12	82.08	13	82.75	13	79.03	12	76.61	12	75.88
11	75.86	12	77.51	12	72.95	11	69.49	11	66.94

Tabla 26. Niveles de Servicio obtenidos para diferentes fechas de entrega.



### 5.3 EXPERIMENTO 3: EVALUAR EL IMPACTO QUE TENDRIA EN EL NIVEL DE SERVICIO MEJORAS EN LOS RECURSOS CUELLO DE BOTELLA

Para este experimento se obtienen los valores de los indicadores para la situación actual, para luego compararlos con los 2 escenarios propuestos en los que se mejora el tiempo de procesamiento para la máquina cuello de botella. En la situación actual se utilizó el criterio de secuenciación de Fecha de Entrega Más Próxima y las variables de tiempo de procesamiento, de puesta a punto y de respuesta del proveedor permanecen iguales a los experimentos anteriores. Las fechas de entrega acordadas con cada cliente son las siguientes:

Cliente	1	2	3	4	5
Fecha de Entrega (días)	7	12	14	17	10

Tabla 27. Fechas de entrega para el experimento 3.

La política de inventario de materia prima para este experimento fue:

Insumo	s (u)	Q (u)
X	2500	5000
Y	4000	7000
W	4000	6000
Z	3500	5000

Tabla 28. Política de inventario para el experimento 3.

Al ejecutar el modelo con 15 replicas, un periodo de calentamiento de 15000 horas y una duración de simulación de un año se obtuvieron los siguientes resultados para los indicadores en la situación actual:

Clientes	1	2	3	4	5	Sistema
Nivel de Servicio (%)	62.19 ± 9	61.57 ± 8	59.08 ± 10	63.9 ± 9	64.91 ± 9	62.59 ± 9
Lead Time (hr)	145.52 ± 14	264.55 ± 15	317.83 ± 18	376.04 ± 19	207.37 ± 19	252.83 ± 16
Beneficio (Bs/año)	4021781.61 ± 367251					

Tabla 29. Valores de indicadores para la situación actual del experimento 3.

Fuente: ARENA.

Se determinó cual es la máquina cuello de botella estudiando los gráficos de porcentaje de utilización de cada tipo de máquina. En la Figura 24, se puede observar que la máquina cuello de botella es la número 3.



Figura 24. Porcentaje de utilización de cada tipo de máquina.

Fuente: ARENA.

### 5.3.1 ESCENARIO 1

Se decidió modificar los tiempos de procesamiento de la máquina 3 por representar esta el cuello de botella de la planta. Aplicando métodos de mejora de



procesos y estandarización de métodos de trabajo se puede disminuir la variabilidad en el tiempo de procesamiento.

En este caso, se asume que para la maquina 3 disminuyó la variabilidad, manteniendo la misma media, para el tiempo de procesamiento de las unidades de producto A y del producto D de una U (2,6) minutos a una U (3,5) minutos, eligiéndose estos productos debido a que son los que presentan mayor variabilidad para esta máquina. El resto de las variables se mantienen como en la situación actual y el modelo se ejecuta de igual forma.

Los valores obtenidos para los indicadores en este escenario fueron:

<b>Clientes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Sistema</b>
<b>Nivel de Servicio (%)</b>	68.61 ± 5	70.24 ± 5	64.73 ± 6	71.44 ± 5	71.46 ± 5	69.7 ± 5
<b>Lead Time (hr)</b>	139.48 ± 9	254.18 ± 10	312.2 ± 11	365.98 ± 10	196.04 ± 10	243.66 ± 10
<b>Beneficio (Bs/año)</b>	4379128.17 ± 236323					

Tabla 30. Valores de indicadores para el primer escenario del experimento 3.

Fuente: ARENA.

Para verificar si existe un cambio en el nivel de servicio del sistema en el escenario 1 con respecto a la situación actual, se realizó una prueba de hipótesis para comprobar cual configuración resulta más conveniente en términos de Nivel de Servicio del Sistema:



$$H_0: \mu_{NSA} - \mu_{NS1} = 0$$

$$H_1: \mu_{NSA} - \mu_{NS1} \leq 0$$

$$\alpha=5\%$$

Donde:

$\mu_{NSA}$ : media del nivel de servicio del sistema de la situación actual.

$\mu_{NS1}$ : media del nivel de servicio del sistema del escenario 1.

Parámetros	Situación Actual	Escenario 1
n	15	15
$\bar{x}_{NS}$	62.59	69.7
$S_{NS}$	16.2513	9.0285

Tabla 31. Estimación de los parámetros para la primera prueba de hipótesis del experimento 3.

Haciendo uso del programa STATGRAPHICS, se obtuvo como resultado un P Valor de 0.0764 por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

### 5.3.2 ESCENARIO 2

En el caso del escenario 2, se disminuyó la media para esta misma máquina, manteniendo la misma variabilidad, variando para las unidades del producto A y del producto D de una U (2,6) minutos a otra U (1,5) minutos, el resto del modelo permanece igual que en la situación actual y se ejecuto del mismo modo, obteniendo como resultados los siguientes:



Clientes	1	2	3	4	5	Sistema
Nivel de Servicio (%)	68.06 ± 8	66.2 ± 8	63.64 ± 9	69.4 ± 8	66.03 ± 8	67.27 ± 8
Lead Time (hr)	138.15 ± 14	255.27 ± 17	309.15 ± 17	364.24 ± 18	206.35 ± 16	244.25 ± 17
Beneficio (Bs/año)	4188433.45 ± 292502					

Tabla 32. Valores de indicadores para el segundo escenario del experimento 3.

Fuente: ARENA.

Al igual que con el escenario 1 se realizó una prueba de hipótesis para comparar el desempeño del sistema del escenario 2 con la situación actual, considerando el indicador de nivel de servicio del sistema:

$$H_0: \mu_{NSA} - \mu_{NS2} = 0$$

$$H_1: \mu_{NSA} - \mu_{NS2} \leq 0$$

$$\alpha=5\%$$

Donde:

$\mu_{NSA}$ : media del nivel de servicio del sistema de la situación actual.

$\mu_{NS1}$ : media del nivel de servicio del sistema del escenario 2.

Parámetros	Situación Actual	Escenario 2
n	15	15
$\bar{x}_{NS}$	62.59	67.27
$S_{NS}$	16.2513	14.4456

Tabla 33. Estimación de parámetros para segunda prueba de hipótesis del experimento 3.



El programa STATGRAPHICS arrojó como resultado un P Valor de 0.2058 por lo que se rechaza la hipótesis nula de que los niveles de servicio diferentes para la situación actual y el Escenario 2.

El sistema no se ve afectado en termino de niveles de servicio, al mejorar los tiempos de procesamiento de la maquina cuello de botella, bien sea disminuyendo la variabilidad o la media, por lo que aplicar métodos de mejora a este proceso no resulta efectivo para este sistema en términos de niveles de servicio.

#### **5.4 EXPERIMENTO 4: EVALUAR EL IMPACTO QUE TENDRIA EN EL NIVEL DE SERVICIO MEJORAR LOS TIEMPOS DE RESPUESTA DE LOS PROVEEDORES**

Este experimento se realizó comparando dos escenarios con una situación actual, esta situación es la misma considerada para el experimento 3 y el modelo se ejecutó del mismo modo que en este con respecto a tiempos de calentamiento, número de replicas y tiempo de simulación. Para efectos de comparación, a continuación se muestra de nuevo la tabla de indicadores obtenida para la situación actual:



Clientes	1	2	3	4	5	Sistema
Nivel de Servicio (%)	62.19 ± 9	61.57 ± 8	59.08 ± 10	63.9 ± 9	64.91 ± 9	62.59 ± 9
Lead Time (hr)	145.52 ± 14	264.55 ± 15	317.83 ± 18	376.04 ± 19	207.37 ± 19	252.83 ± 16
Beneficio (Bs/año)	4021781.61 ± 367251					

Tabla 29. Valores de indicadores para la situación actual del experimento 4.

Fuente: ARENA.

Los escenarios a comparar se realizaron modificando únicamente los valores de tiempo de entrega de proveedores de materia prima. Esto puede ocurrir cuando se genera una mejor relación con los proveedores consolidando alianzas estratégicas, lo que puede significar un flujo de información más completo, que permita a estos tomar previsiones al momento de manufacturar los insumos que la empresa solicita y prestar a estos servicios de auditorías que permitan intercambiar métodos eficientes de mejora.

#### 5.4.1 ESCENARIO 1

En este escenario sólo se modifica el tiempo de entrega del proveedor que suministra al insumo X, debido a que es el que tiene mayor duración y mayor variabilidad, es decir, es el que podría tener más influencia en la planta. Esta modificación fue de variar la distribución de probabilidad de una Exponencial con media 10 días a una Normal con parámetros ( $\mu:=10$ ;  $\sigma^2=2$ ). El modelo se ejecutó con las mismas condiciones que para todos los experimentos anteriores, obteniendo los siguientes resultados:



Clientes	1	2	3	4	5	Sistema
Nivel de Servicio (%)	90.22 ± 3	87.76 ± 4	85.25 ± 4	92.7 ± 3	89.82 ± 3	89.81 ± 6
Lead Time (hr)	116.62 ± 5	241.01 ± 6	299.03 ± 4	350.03 ± 6	191.78 ± 5	230.84 ± 4
Beneficio (Bs/año)	5128946.64 ± 115340					

Tabla 34. Valores de indicadores para el primer escenario del experimento 4.

Fuente: ARENA.

Haciendo uso del programa STATGRAPHICS, se realizó una prueba de hipótesis para verificar si existe una mejora en el nivel de servicio del sistema al cambiar de la situación actual al escenario 1, resultando:

$$H_0: \mu_{NSA} - \mu_{NS1} = 0$$

$$H_1: \mu_{NSA} - \mu_{NS1} \leq 0$$

$$\alpha=5\%$$

Donde:

$\mu_{NSA}$ : media del nivel de servicio del sistema de la situación actual.

$\mu_{NS1}$ : media del nivel de servicio del sistema del escenario 1.

Parámetros	Situación Actual	Escenario 1
n	15	15
$\bar{x}_{NS}$	68.59	89.81
$S_{NS}$	16.2513	5.4171

Tabla 35. Estimación de parámetros para primera prueba de hipótesis del experimento 4.



Se obtuvo como resultado un P Valor de  $8.29 \times 10^{-5}$  por lo que se rechaza la hipótesis nula de que el nivel de servicio permanece igual, por el contrario este indicador mejora considerablemente al disminuir la variabilidad del tiempo de respuesta del proveedor que entrega el insumo X ya que el sistema pasa de prestar un nivel de servicio de 68.59% a uno de casi 90%.

#### 5.4.2 ESCENARIO 2

Para este escenario de disminuyó el tiempo de entrega de todos los proveedores en un 20 %, como se muestra en la siguiente tabla:

Proveedor	Distribución	Parámetros (min)	
		Situación Actual	Escenario 2
P1	Exponencial ( $\mu$ )	10	8
P2	Triangular (a,b,c)	4,7,12	4, 5.6 , 10.6
P3	Uniforme (min,Max)	4,7	3.2 , 5.6
P4	Normal ( $\mu,\sigma$ )	8, 0.5	6.4 , 0.5

Tabla 36. Cambios en los tiempos de entrega de los proveedores para segundo escenario del experimento 4.

Luego de ejecutar este escenario, se obtuvieron los siguientes resultados para los indicadores:



Clientes	1	2	3	4	5	Sistema
Nivel de Servicio (%)	86.8 ± 3	85.2 ± 3	82.23 ± 5	87.74 ± 4	84.15 ± 4	85.8 ± 4
Lead Time (hr)	97.67 ± 6	209.85 ± 8	266.65 ± 9	318.7 ± 7	163.07 ± 8	201.56 ± 6
Beneficio (Bs/año)	4809750.65 ± 172970					

Tabla 37. Valores de indicadores para el segundo escenario del experimento 4.

Fuente: ARENA.

Se vuelve a realizar prueba de hipótesis, haciendo uso del programa STATGRAPHICS, esta vez para verificar si existe mejora en el indicador de nivel de servicio del sistema para el segundo escenario:

$$H_0: \mu_{NSA} - \mu_{NS2} = 0$$

$$H_1: \mu_{NSA} - \mu_{NS2} \leq 0$$

$$\alpha=5\%$$

Donde:

$\mu_{NSA}$ : media del nivel de servicio del sistema de la situación actual.

$\mu_{NS2}$ : media del nivel de servicio del sistema del escenario 2.

Parámetros	Situación Actual	Escenario 2
n	15	15
$\bar{x}_{NS}$	68.59	85.8
$S_{NS}$	16.2513	7.2228

Tabla 38. Estimación de parámetros para la segunda prueba de hipótesis del experimento 4.



El P Valor resultante fue de  $6.6517 \times 10^{-4}$  lo que permite rechazar la prueba de hipótesis de que el nivel de servicio permanece igual para el segundo escenario, y se comprueba de que al disminuir los tiempos de entrega de todos los proveedores en un 20% aproximadamente, el nivel de servicio del sistema se ve beneficiado ya que pasa de un 68.59 % a casi un 85.8 %.

## **5.5 EXPERIMENTO 5: IMPACTO EN LOS INDICADORES DE NIVEL DE SERVICIO Y LEAD TIME POR VARIACIONES EN LA DEMANDA**

En este experimento se realizó un análisis de sensibilidad, en donde se evaluó cómo se comporta el sistema ante variaciones de la demanda. Para esto se corrió el modelo con las variables de entrada establecidas en el capítulo III, que se refieren a las variables de tiempos de procesamiento, tiempos de puesta a punto, políticas de inventario de materia prima, fechas de entrega ofrecidas a los clientes, tiempos de respuesta de los proveedores, y criterio de secuenciación FIFO, para cada corrida se varió la variable de tiempo entre llegada de los clientes.

Cada corrida se ejecuto considerando el tiempo de calentamiento de 15000 horas, tiempo de simulación de un año y se realizaron 15 replicas. A continuación los resultados obtenidos para cada corrida:

Escenarios	Aumento de la demanda (%)	Tiempo entre llegada de clientes (horas)	Indicadores	
			Nivel de servicio (%)	Lead Time (horas)
1	0	8.5	88.81 ± 3	200.1 ± 17
2	10	7.73	81.87 ± 5	235.17 ± 20
3	15	7.39	71.82 ± 9	284.13 ± 34
4	20	7.08	68.97 ± 8	297.48 ± 31
5	25	6.8	29.33 ± 12	518.12 ± 89
6	30	6.54	5.52 ± 2	1797.96 ± 133

Tabla 39. Resultados del experimento 5.

Fuente: ARENA.

Los resultados se presentan graficados para cada indicador en las siguientes figuras:

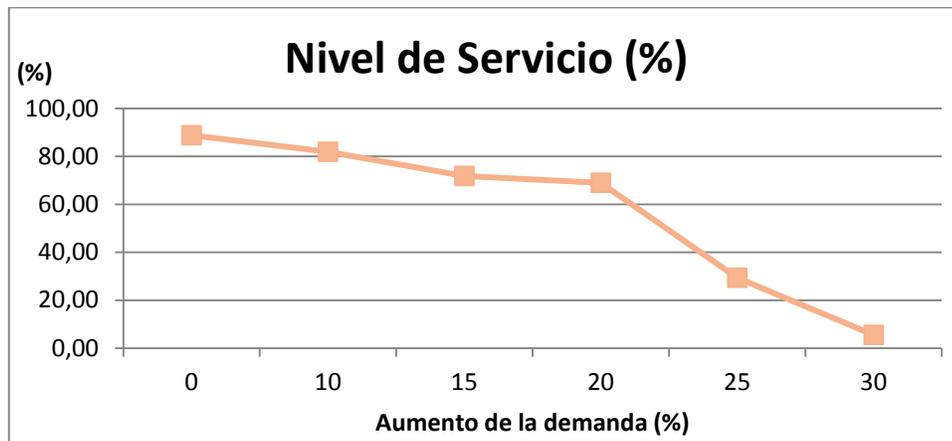


Figura 25. Grafica de sensibilidad para el nivel de servicio.

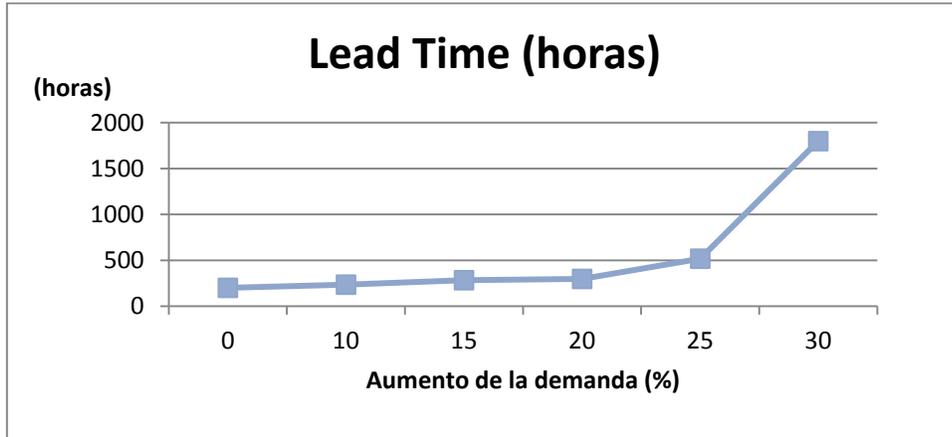


Figura 26. Grafica de sensibilidad para el lead time.

A simple vista se puede demostrar como un incremento en la demanda influye de forma negativa en los niveles de servicio y tiempos de respuesta del sistema, se puede observar en las graficas como los valores van desmejorando poco a poco, pero para las variaciones de 20 % en adelante los indicadores cambian drásticamente alcanzando valores alarmantes, razón por la cual se hizo un estudio más exhaustivo del sistema que permite saber el estado del mismo para el momento en que ocurre la variación de 20 %, se evaluaron, además de los niveles de servicio y lead time, el porcentaje de utilización y el número promedio de entidades en cola de cada máquina, obteniendo los siguientes resultados:

Máquina	Porcentaje de utilización (%)	Número promedio de entidades en cola (unid)
<b>M1</b>	82.94 ± 2	86.64 ± 11
<b>M2</b>	47.45 ± 1	2.33 ± 0.14
<b>M3</b>	99.26 ± 2	84 ± 39

Tabla 40. Porcentaje de utilización y unidades en cola para las maquinas para una variación del 20 % de la demanda.

Fuente: ARENA.



Se puede observar que para esta demanda, la máquina está trabajando prácticamente en toda su capacidad, por lo que se puede inferir que este nivel de variación de la demanda, esta supera la capacidad de la planta, lo que explica la pronunciada caída del nivel de servicio y aumento del lead time de producción.

Debido a que la capacidad de la planta es inferior que la demanda, se ejecutó el modelo con una demanda mayor en un 20 %, ahora incorporando dos máquinas más, una tipo 1 y una tipo 3, ya que son las que tienen mayor porcentaje de utilización, y se obtuvieron, para los indicadores de desempeño del sistema, los resultados mostrados a continuación:

Lead Time:  $220.85 \pm 16$  horas

Nivel de Servicio:  $84.49 \pm 3\%$

Fuente: ARENA.

Los valores mejoran considerablemente, con lo que se termina de demostrar que los cambios bruscos en los indicadores se debieron a capacidad insuficiente de la planta, y para este sistema en estudio se puede mantener la capacidad hasta que los requerimientos en términos de demanda aumenten en un 20 % o más.



---

---

## CONCLUSIONES

Lo más difícil en un estudio de simulación, además de la comprensión del lenguaje de programación que se utiliza, es el entendimiento del sistema para realizar un modelo acorde, pero una vez se logra entender tanto el sistema como el programa, y se construye un modelo apegado a la realidad, experimentar con el mismo es un procedimiento más práctico y eficiente, lo que convierte a la simulación en una herramienta muy flexible y poderosa para la toma de decisiones.

Se construyó un modelo de simulación con el que se logró fusionar en un mismo sistema las etapas de proveedor y manufactura, normalmente estudiadas de forma aislada, lo que proporciona una herramienta que permite evaluar el desempeño de una cadena de suministros en donde estos eslabones mencionados están conectados y dependen uno del otro.

Por medio de los experimentos realizados al modelo construido se pudo evaluar el comportamiento de las etapas de la cadena de suministros estudiada ante ciertos cambios, lo que significa que se puede estudiar partes del sistema, como procesos de manufactura, demanda, políticas de materia prima, entre otras, considerando variables que intervienen en otras partes del sistema, es decir, ver la cadena como un todo.

Ya que los experimentos realizados representan algunos de los problemas que se pueden presentar en una empresa, estos proporcionan métodos para la resolución de los mismos y facilitan el estudio de alternativas de mejora haciendo uso de la simulación.



Se expuso cómo hacer uso de esta herramienta para elegir entre alternativas de políticas de inventario, criterio de secuenciación y determinar fechas de entrega de manera de cumplir con el cliente.

Haciendo uso de la simulación también se pudo visualizar el impacto que tiene la aplicación de métodos de mejora en etapas de manufactura y proveedores sobre el resto del sistema, así como la sensibilidad del mismo ante variaciones en la demanda.

Se demostró que el modelo de simulación construido para evaluar el desempeño de las etapas de proveedor y manufactura de una cadena de suministros, es una herramienta que ofrece un soporte a la gerencia en el momento de tomar decisiones para resolver un problema determinado, de forma eficaz y practica, sin incurrir en costos de experimentación con el sistema.

Utilizar las animaciones disponibles en el programa ARENA, proporcionó un gran apoyo para visualizar mejor lo que ocurre en el sistema, especialmente en la etapa de verificación del mismo. Además brinda a usuarios que no poseen conocimientos del lenguaje de programación, mejor entendimiento del sistema y de cómo se está comportando.



---

---

## RECOMENDACIONES

Este trabajo fue solo un comienzo en la visualización, estudio y experimentación de la cadena de suministros como un todo haciendo uso de la simulación, es por esto que el objetivo es que en un futuro se complemente la investigación y se construya un modelo de simulación de todos los eslabones que posee la cadena aumentando cada vez más las actividades a simular y los aspectos a considerar.

Los experimentos realizados fueron con fines ilustrativos, pero si se quieren aplicar para resolver una problemática real, se deberían de ampliar las alternativas a considerar en cada experimento.

Haciendo uso de las animaciones disponibles en el programa ARENA se puede utilizar el modelo construido con fines educativos para afianzar el entendimiento de la cadena de suministros en la población de Ingeniería Industrial.

Es la naturaleza de los ingenieros industriales estar en la constante búsqueda de mejoras, lo que conlleva a la responsabilidad de tomar de decisiones que resulten provechosas para el sistema, la simulación es una herramienta que ofrece una visión de lo que podría suceder en la realidad ante ciertos cambios, brindando así un apoyo práctico y eficiente en el proceso de toma de decisiones. Por lo que se recomienda incluir la materia de Simulación de Sistemas en el pensum de la Escuela de Ingeniería Industrial como una materia obligatoria, además que permite comprender mejor como funciona una cadena de suministros y evaluar el impacto de la aplicación de conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en materia de producción, logística, ingeniería de métodos y gerencia.



---

---

## BIBLIOGRAFÍA

Ballou, R. (2001). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. Porto Alegre: Bookman.

Banks, J., Carson, J. y Nelson, B. (1996). *Discrete-Event System Simulation Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.

Calderón, José y Lario, Francisco. (2007). Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas aplicaciones y áreas de desarrollo. *Universidad Politecnica de Valencia*.

Ching, H. (2001). *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada – Supply Chain*. Sao Paulo: Atlas.

Gigola, Cristina. (2004). *Supply Chain Management Mitos y Realidades*. Departamento de Ingeniería Industrial y Operaciones, Instituto Tecnológico Autónomo de México.

Ho, D., Au, K. y Newton, E. (2002). *Empirical research on supply chain management: a critical review and recommendations*. International Journal of Production Research.

Jain, Sanjay; Workman, Russel; Collins, Lisa; Ervin, Eric y Larthrop. (2001). Development of a high-level supply chain simulation model. *Winter Simulation Conference*.

Kelton, W. David; Sadowski, Randall y Sturrock, David. (2008). *Simulación con software Arena*. México: Mc Graw-Hill Interamericana.



---

Law, A. y Kelton, W. David (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: Mc Graw-Hill.

Pedgen, C., Shannon, R. y Sadowski, Randall (1990). *Introduction to Simulation using SIMAN*. New York: McGraw-Hill.

Shannon, R. (1988). *Simulación de sistemas. Diseño, desarrollo e implementación*. México: Trillas.

Tamayo, Mario. (1997). *El proceso de la investigación científica*. Editorial: Limusa Tarifa, Enrique. (S/F) *Teoría de modelos y Simulación*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy.

Turbam, E., Rainer Jr., R., y Potter, R. (2003). *Administração de tecnologia da informação: teoria e prática*. Sao Paulo: Campus.

Vieira, Guilherme. (2004). Ideas for modeling and simulation of supply chains with Arena. *Winter Simulation Conference*.

Vierma, Dahyana. (2008). *Construcción de un modelo de simulación para determinar la secuencia de producción (caso: Empresa Inversiones Selva C.A. Grupo Phoenix)*. Bárbula, Venezuela: Universidad de Carabobo

Wainer, Gabriel. (S/F) *Introducción a la simulación de sistemas de eventos discretos*. Departamento de Computación, Universidad de Buenos Aires.