

Modelo de Simulación Dinámica para Ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro Madera-Muebles. Municipio Piar, Estado Bolívar, Venezuela

Wilfredo Guaita

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, w.guaita@alumnos.upm.es

Carlos Rodríguez Monroy

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, crmonroy@etsii.upm.es

Marian Gómez Hernández

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, marian.gomez.hernandez@alumnos.upm.es

Resumen

Con el fin de determinar el impacto que causa en la Cadena de Suministro Madera-Muebles las variaciones de demanda, y de cómo las políticas operacionales de capacidad, inventario o procesos pueden mitigar este impacto, se diseñó un Modelo de Simulación Dinámica sobre la base de una muestra de 20 carpinterías ubicadas en el municipio piar del Estado Bolívar, Venezuela y sus relaciones con los suministradores de materia prima y distribuidores de productos terminados. La estructura de la Cadena contempla en principio tres Aserraderos, un Centro de Acopio de la Madera y cinco Carpinterías. Estas pequeñas empresas, excepto el Centro de Acopio que todavía no está construido, habitualmente trabajan de manera individual, pero han comprendido que integrarse en una Cadena mejora la competitividad de todos sus integrantes. La aportación fundamental de este trabajo, es que pueda servir de apoyo o contribuir a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones del administrador de la Cadena, por lo rápido que puede analizar cuál política individual o combinada es mejor que otra ante un cambio en la demanda y sobretodo antes de ponerla en práctica.

Palabras Claves: Cadena de suministro, Dinámica de Sistema, Simulación, Políticas Operacionales

Abstract

With the purpose of detecting the impact that variations of demand cause in the Wood-Furniture supply chain, and determining how the operational policies of capacity, inventories or labor force can mitigate this impact, a system dynamics simulation model has been designed based on a survey conducted on a sample of furniture manufacturers and their links with Sawmills, transportation companies and furniture distributors. The Wood-Furniture supply chain in this case study contemplates three Sawmills one wood supplier, five furniture producers, one wholesaler and several distributing agents. These companies operate individually under normal conditions, but they have understood that their integration in a supply chain improves the competitiveness of all its members. That is to say, the sum is greater than the parts. For its initial design a simulation software model is used in which the resources of the supply chain are optimized. Later the product of this optimization facilitates some initial values to be used in the system dynamics model in which cause-effect or influence relationships have been previously established considering the most representative variables. Finally, changes in operational policies that can reduce the level of pending orders in the supply chain are tested using other simulation software.

Keywords: Supply Chain, System Dynamics, Simulation, Operational Policies

1. Introducción

Las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) como la denominaremos de ahora en adelante, representan uno de los principales motores del crecimiento de la inversión productiva, del empleo y de la competitividad de cualquier región o país. Esta es una realidad que confirman diversos estudios y experiencias en distintos países. A manera de ejemplo, se considera que las PYMES representan, en promedio, en los países latinoamericanos un 90% de las empresas, emplean alrededor del 70% de la mano de obra y contribuyen, en promedio, entre un 20 y un 30% al Producto Interno Bruto. En Venezuela, las PYMES y las microempresas integran más del 90% de las empresas, con un registro de Pequeñas y Medianas de aproximadamente 6.137, según datos del Instituto Nacional de Estadística, correspondiente al año 2005. En general, estas empresas aportan el 13% del PIB y emplean, conjuntamente con las microempresas el 55% de la población económicamente activa.

En este contexto y a lo largo de los últimos años, han sucedido múltiples cambios, en la economía mundial consecuencia de las innovaciones tecnológicas, de la creación de bloques comerciales entre países y de la creciente ola globalizadora que impacta a muchos sectores industriales, entre ellos a las PYMES, lo que genera una gran interrogante ¿De qué manera, este sector, puede enfrentar estos cambios para no desaparecer del mercado o en el mejor de los casos ser exitoso?

La respuesta a esta interrogante, representa un desafío que debe afrontar la dirección de la empresa que aspira a mantenerse competitiva. Muchas estrategias gerenciales y técnicas están disponibles para enfrentar este desafío, y han sido usadas con éxito en algunos sectores industriales. En este sentido, una opción competitiva para las PYMES transformadoras de materia prima, y considerada dentro de las estrategias asociativas, es buscar modos de integración en cadenas de suministros (Cassivi, 2006), y utilizar técnicas avanzadas para la toma de decisiones, como lo es, la simulación de procesos (Chang y Makatsoris, 2001). El uso de esta técnica, apoya a la planificación de la empresa, contribuyendo a reducir la incertidumbre generada por una demanda cambiante, que afecta las operaciones de los flujos de abastecimiento de materia prima, los procesos internos de transformación, y la distribución de productos a clientes finales (Lee, 2005).

La cadena de suministro, integrada por empresas pequeñas y medianas, debe lograr una entrega de pedidos a clientes de una manera mucho más rápida, que cuando se actúa en forma independiente. Vale destacar, según (Christopher, 2006) que la búsqueda de objetivos globales es una de las ventajas de la Cadena de Suministros.

En este estudio en primer lugar se hace la configuración de la CS M-M utilizando la técnica de dinámica de sistemas señalada por (Sterman, 2000) y posteriormente se desarrollará el modelo digital sobre el cual se harán las simulaciones o ensayos de las políticas operacionales del tipo: Proceso, Capacidad o Inventario. Finalmente, se observará en cada uno de los ensayos, el comportamiento en el nivel de pedidos pendientes, que dará lugar a conclusiones, que puedan ser útiles para una cadena de suministro que aspire ser competitiva en confiabilidad en entrega.

2. Metodología

Como metodología para la realización de este estudio se aplicó en primer lugar la técnica de Redes de Petri, (Guasch et al., 2003) como paso previo para el desarrollo del Modelo de Eventos Discretos, y posteriormente se utilizó la técnica de lazos retroalimentados, (Martín, 2003) que facilita el desarrollo del Modelo.

3. Resultados

Los resultados de la simulación muestran la optimización de recursos de la estructura de la cadena (ver figura 1) que procura tener cero entidades en cola. Esta optimización indicó un recurso en el suministrador, seis en el transformador y tres en el distribuidor de productos.

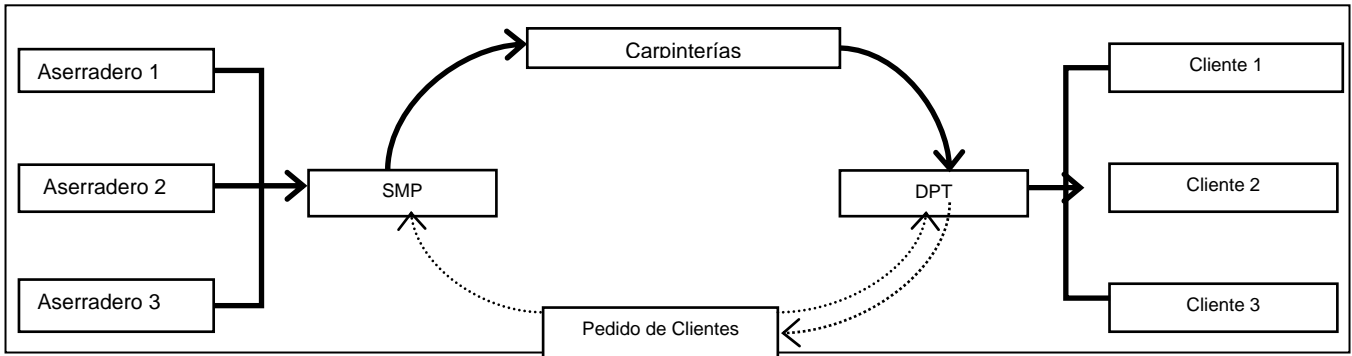


Figura 1: Estructura de la Cadena de Suministro Madera-Mueble

Los resultados de la optimización son valores iniciales para el modelo de simulación de procesos continuos donde se realizan los ensayos con políticas operacionales (Schroeder, 2005), dado un nivel de demanda preestablecido. Por ejemplo, en el ensayo 1, que sirve de base, se mantiene constante el nivel de pedidos a lo largo del lapso de simulación, y se fijan los valores del protocolo de ensayo que contempla: Parámetros de Decisión, Volúmenes del Sistema, Tasas de Flujo y Políticas Operacionales. Con este ensayo número 1, se fija la primera referencia de comportamiento y en el ensayo 2 se introducen cambios en la demanda y se hacen ajustes en las políticas operacionales.

3.1 Modelo Causal Cadena de Suministros Madera-Muebles

En la figura 2, se muestran las relaciones causales o de influencia propias del Suministrador de Materia Prima, donde se señala la demanda prevista y su relación con el pedido deseado e inventario de materia prima deseado. El pedido deseado ya ajustado por la diferencia entre inventario de materia prima deseado e inventario de materia prima real, indica la capacidad de almacenamiento de materia prima deseada que al dividirla entre el estándar de almacenamiento especifica la capacidad de almacenamiento. Este nivel de capacidad de almacenamiento, da como resultado la capacidad de almacenamiento ajustada, que después de una demora se traduce en la capacidad de almacenamiento actual. Contra este valor se confronta el pedido. Es decir, si el pedido es inferior a la capacidad actual de almacenaje se acepta el pedido, si resulta superior se pide lo que indica la capacidad actual.

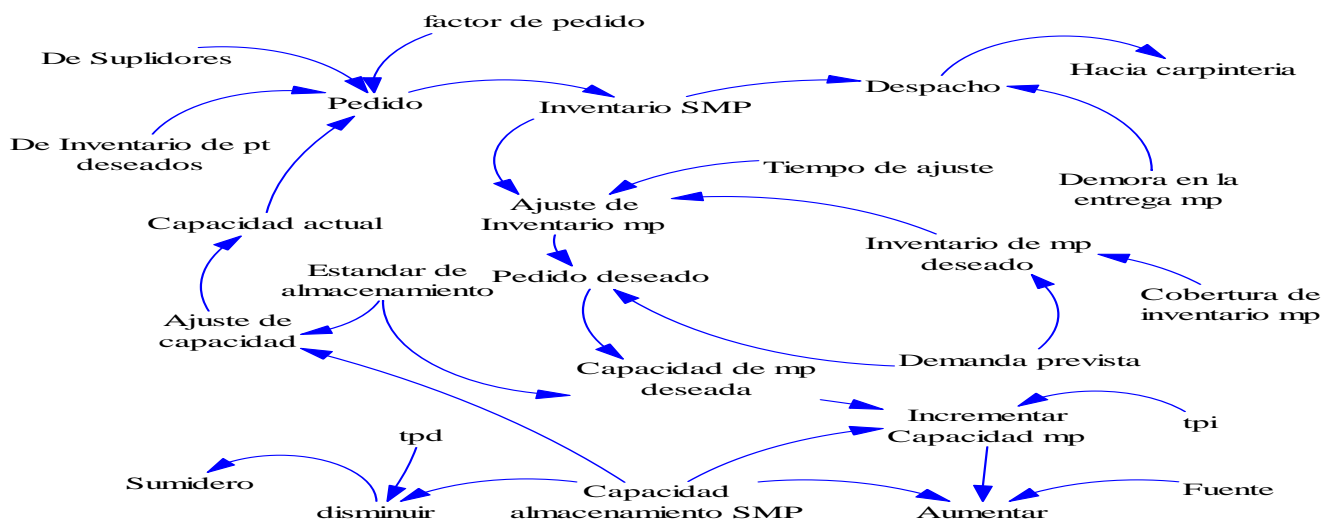


Figura 2: Suplidor de Materia Prima

La figura 3, especifica las relaciones entre producción en carpintería y almacenamiento en distribuidor de productos terminados. Se agregan las relaciones con fuerza laboral y la incidencia de los pedidos de clientes. La demanda prevista impulsa la producción deseada y el inventario deseado que hay que ajustar contra el inventario real en un lapso de tiempo establecido para adaptarlo a la demanda. La producción deseada una vez que el inventario está ajustado, da la pauta para determinar la mano de obra deseada, que dividida entre el estándar de producción indica la cantidad de fuerza laboral que debe ser contratada.

Al igual que se hizo en el SMP, hay que observar la capacidad de entrega para verificar la cantidad a despachar. Aquí se introduce el término preentrega. Si éste es menor que el inventario real se entrega la cantidad de pedido preentregado, si es mayor se entrega lo existente en el inventario. Seguidamente, si lo existente en el inventario resulta menor que la capacidad de despacho del pedido se entrega lo del inventario pero si es mayor se entrega lo que la capacidad indique.



Figura 3: Carpintería e Inventario del Distribución de Productos Terminados

La figura 4, señala las relaciones inherentes al nivel de capacidad del DPT, donde la demanda prevista se relaciona con la entrega deseada, la cual dividida entre el estándar determina la capacidad de despacho de productos terminados, que después de ser ajustada en un período de tiempo determina la capacidad de despacho actual.



Figura 4: Capacidad de Despacho en DPT

Las relaciones causales o de influencia entre SMP, carpintería e inventario del DPT y capacidad del DPT, mostradas en las tres últimas figuras se expresan en el modelo informático de la figura 5, el cual sirve de base para ensayar las políticas operacionales que correspondan y que son explicadas en el ensayo 1 y 2.

3.2 Modelo para Ensayar Políticas Operacionales de la Cadena de Suministros Madera-Muebles

La figura 5, muestra el modelo para ensayar las políticas operacionales utilizadas por los fabricantes de muebles.

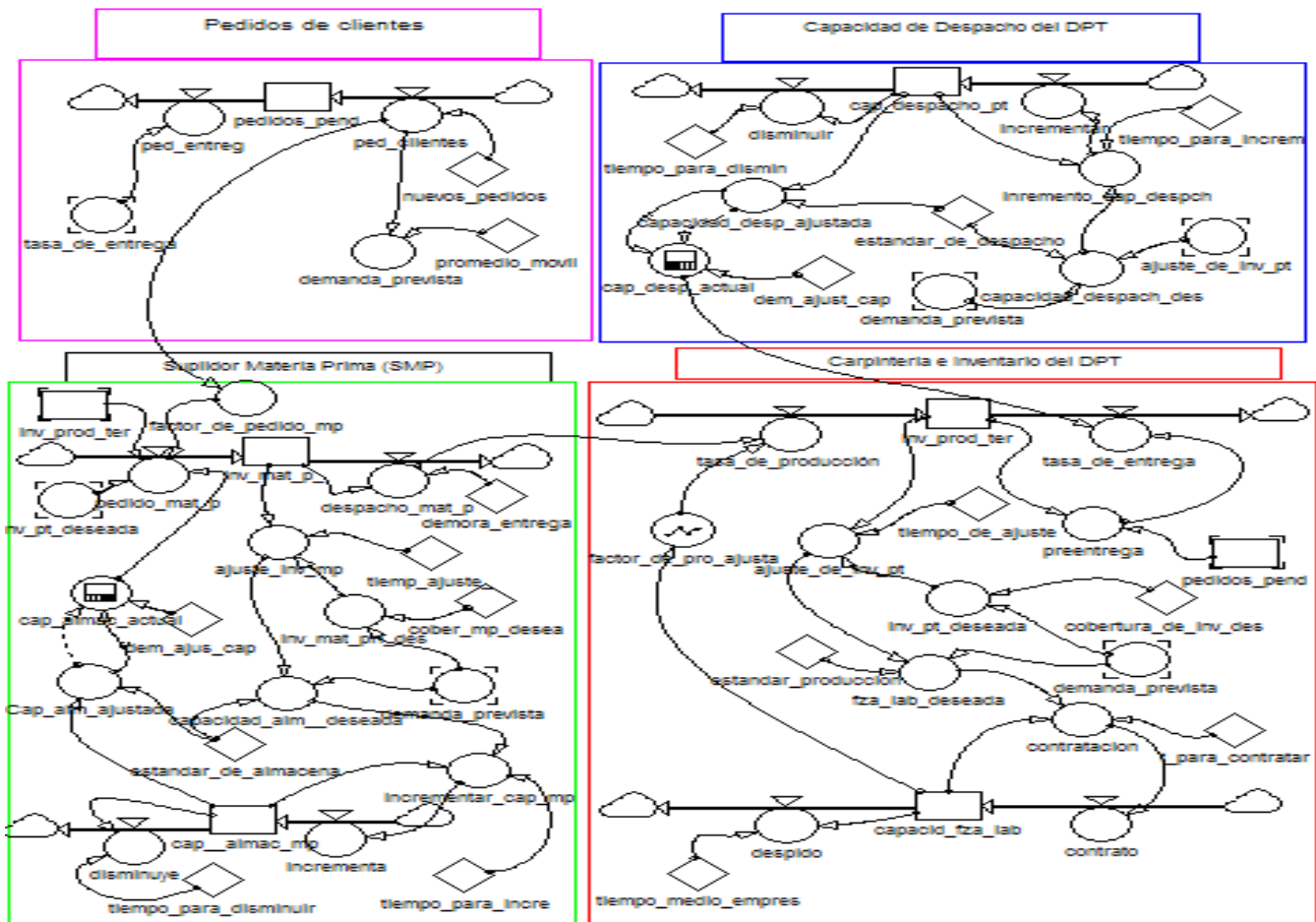


Figura 5: Modelo Informático Cadena de Suministro Madera-Muebles

4. Resultado y Discusión de los Ensayos CS Madera-Muebles

Los resultados de cinco ensayos en la cadena de suministro Madera-Mueble son mostrados en esta sección. En el ensayo 1, que sirve de base, se mantiene constante el nivel de pedidos a lo largo del lapso de simulación, y se fijan los valores del protocolo de ensayo que contempla: Parámetros de Decisión, Volúmenes del Sistema, Tasas de Flujo y Políticas Operacionales. Con este ensayo número 1, se fija la primera referencia de comportamiento. En los ensayos 2, 3 y 4 se introducen cambios en la demanda y se hacen ajustes en las políticas operacionales. En el ensayo número 5, se prueba con una disminución de la demanda de manera acelerada. Estos ensayos permitirán observar el nivel de pedidos pendientes de la cadena.

4.1 Ensayo 1: Pedido Constante de Clientes

En este ensayo de simulación, comprobaremos los efectos en la cadena de suministro Madera-Mueble, cuando los pedidos de clientes son constantes (20 metros cúbicos por semana) a lo largo de la simulación.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 Semana
2. Capacidad inicial fija en SMP = $50 \text{ M}^2 / \text{S}$
3. Capacidad inicial fija en DPT = $30 \text{ M}^2 / \text{S}$
4. Demora en entrega de materia prima = 4 Semanas
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 Semanas
- 6. Factor de pedido = 20 Metros Cúbicos por Semana**
7. Factor de cobertura inventario de productos terminados deseado = 4 S
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = $50 \text{ M}^3 / \text{M}^2 / \text{S}$
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = $30 \text{ M}^3 / \text{M}^2 / \text{S}$
10. Estándar de producción en carpintería = $5 \text{ M}^3 / \text{H} / \text{S}$
11. Ratio de materiales en carpintería = 0.80 Unidad de Producto Terminado por Unidad de Materia Prima.
12. Tiempo de la simulación = 52 S

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes = 0 M^3
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT = 25 M^3
3. Nivel inicial de inventario materia prima en SMP = 50 M^3
4. Nivel inicial para ajuste de Cap. de Almac. Materia Prima = 0 M^2
5. Nivel inicial para ajuste de Cap. de Despac. Productos Terminados = 0 M^2
6. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Fuerza Laboral = 6 H

Tasa de flujo:

1 Pedido de clientes = 20 metros cúbicos, constante a lo largo del período de simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable, incrementa o disminuye en atención a la demanda.
2. Inventario de productos terminados con una cobertura de 4 semanas.
3. Pedidos fijos.
4. Capacidad inicial de almacenamiento de materia prima y de despacho de productos terminados = 50 y 30 M^2 respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = $50 \text{ M}^3 / \text{M}^2 / \text{S}$
6. Estándar de despacho de productos terminados = $30 \text{ M}^3 / \text{M}^2 / \text{S}$
7. Estándar de producción = $5 \text{ M}^3 / \text{H} / \text{S}$.
8. Estándar de materiales = 0.80 ratio de utilización de madera ajustado por fuerza laboral
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas

4.1.1 Resultado y Discusión del Ensayo 1

Las figuras 6, 7 y 8 se muestran los resultados de 52 iteraciones realizadas en el simulador. La variable externa que se mantiene sin cambios es lo que representa los pedidos de clientes a razón de 20 metros cúbicos por semana (ped_clientes). Los pedidos entregados (ped_entreg) se igualan a esta tasa rápidamente en la semana 3 y la tasa de producción oscila alrededor de la tasa de pedidos de clientes lo que significa que el sistema está en equilibrio (ver figura 6). La tasa de pedido de materia prima también se ajusta a la tasa de pedido de clientes disminuyendo desde 50 hasta 22 unidades en las 10 primeras semanas y se mantiene en 25 unidades hasta el final de la simulación. Este comportamiento de igualación hacia la tasa de pedidos sin oscilaciones muy apreciables hace suponer un sistema estable pero que va acumular algo de materia prima dada la política de inventario presente, como se observa en la figura 7. El nivel de inventario de materia prima se mantiene por encima del nivel de inventario de productos terminados, como debe ser dado el estándar de materiales asumido. El inventario de productos terminados deseado se ubica en 80 unidades ($20 \text{ unidades/semana} \times 4 \text{ semanas de cobertura}$) y debajo de este

nivel se ubica el inventario de productos terminados acercándose en una trayectoria tipo función logística (ver figura 7).

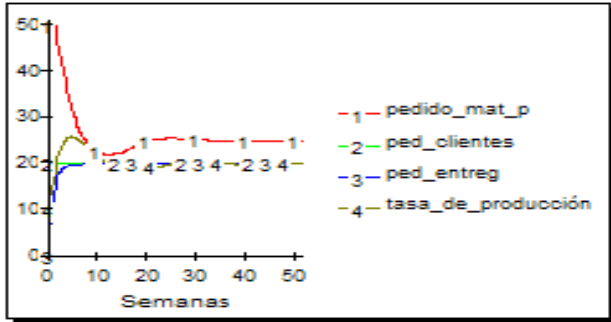


Figura 6: Tasas ensayo 1 M-M

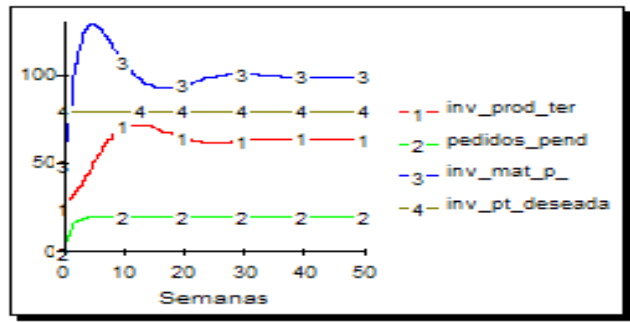


Figura 7: Niveles ensayo 1 M-M

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 20 por semana ya que hay inventario de producto terminados suficientes para no crear retrasos en el pedido. El nivel de inventario de productos terminados se incrementa y estabiliza en 64 unidades por semana. El nivel de fuerza laboral que se inicia con 6 personas, baja hasta 4 al final de la simulación, cantidad suficiente para cumplir con los pedidos, dado que cuatro personas multiplicada por el estándar de producción de 5 unidades/hombre/semana, da un total de 20 unidades por semana (ver figura 8). Las capacidades de almacenamiento y despacho permanecen fijas en este ensayo.

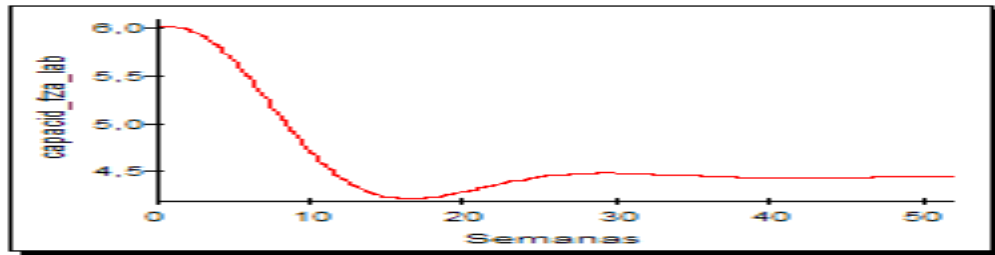


Figura 8: Niveles Continuación ensayo 1 M-M

Como conclusión de este ensayo, las políticas de mantener una capacidad inicial fija para inventario de materia prima y de productos terminados, en 50 y 30 unidades respectivamente, es más que suficiente para cubrir la demanda, dado que el inventario de productos terminados al final de la simulación es de 64 unidades por semana y los pedidos de clientes es de 20. Es decir, la cobertura para inventarios de seguridad de cuatro semanas parece excesiva. La política de capacidad relativa a la fuerza laboral produce pocos despidos en este ensayo y la política de inventarios relativa a la cobertura para previsión como inventario de seguridad puede disminuirse de cuatro a dos semanas con el objeto de reducir el inventario de productos terminados.

4.2 Pedido Constante de Clientes con Ajuste en Política de Inventario.

En este ensayo se mantiene constante los pedidos de clientes pero en 10 metros cúbicos por semana y se reduce la cobertura para inventario de seguridad de 4 a 2 semanas. Esta variación en la política de inventarios procura inducir a la baja el inventario de productos terminados. También se introducen en este ensayo las variaciones de capacidad de almacenamiento de materia prima y despacho de productos terminados.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana
2. **Capacidad inicial fija en SMP = $50 \text{ M}^2 / \text{S}$, con ajustes por variación de demanda.**
3. **Capacidad inicial fija en DPT = $30 \text{ M}^2 / \text{S}$, con ajustes por variación de demanda.**
4. Demora en la entrega materia prima = 4 semanas
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 semanas
6. **Factor de pedido = 10 unidades por semana**
7. **Factor cobertura inventario de productos terminados deseado = 2 S**
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = $50 \text{ M}^3/\text{M}^2/\text{S}$
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = $30 \text{ M}^3/\text{M}^2/\text{S}$
10. Estándar de producción en carpintería = $5 \text{ M}^3/\text{H}/\text{S}$
11. Ratio de materiales en carpintería = 0.80 Unidad de Producto Terminado por Unidad de Materia Prima.
12. Tiempo de la simulación = 52 S

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes = 0 M^3
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT = 25 M^3
3. Nivel inicial de inventario materia prima en SMP = 50 M^3
4. Nivel inicial para ajuste de Cap. de Almac. Materia Prima = 0 M^2
5. Nivel inicial para ajuste de Cap. de Despac. Productos Terminados = 0 M^2
6. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Fuerza Laboral = 6 H

Tasa de flujo:

1. Pedido de clientes = 20 metros cúbicos de pedido constante a lo largo del período de simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable, incrementa o disminuye en atención a la demanda.
2. Inventario de productos terminados con una cobertura de 2 semanas para inventario de seguridad.
3. Pedido fijo en 10 unidades.
4. Capacidad de almacenamiento de materia prima y capacidad de despacho de productos terminados = 50 y 30 M^2 respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = $50 \text{ M}^3/\text{M}^2/\text{S}$
6. Estándar de despacho de productos terminados = $30 \text{ M}^3/\text{M}^2/\text{S}$
7. Estándar de producción = $5 \text{ M}^3/\text{H}/\text{S}$.
8. Estándar de materiales = 0.80 ratio de utilización de madera ajustado por fuerza laboral.
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas

4.2.1 Resultado y Discusión del Ensayo 2

Las figuras 9, 10 y 11 muestran los resultados de la simulación. La variable externa que se mantiene sin cambios a lo largo del período a simular, es los pedidos de clientes a razón de 10 unidades por semana (ped_clientes). Los pedidos entregados (ped_entreg) se igualan a esta tasa, rápidamente en la semana 3. La tasa de producción se iguala a la tasa de pedidos de clientes en la semana 10 después de oscilar levemente y así se mantiene hasta el final de la simulación (ver figura 9). El pedido de materia prima se incrementa hasta un nivel de 16 unidades en la semana 10 y luego baja hasta un nivel de 12 por semana y así se mantiene hasta el final, siempre por encima del nivel de pedidos de clientes dada la diferencia entre inventario deseado y real. El nivel de inventario de materia prima sube desde 50 hasta 56 unidades en la semana 13 y se mantiene más o menos constante en 50 unidades siempre por encima del nivel de inventario de productos terminados que su máximo pico es de 32 en semana 2. El inventario de productos terminados deseado se ubica en 20 unidades (10 unidades/semanas x 2 semanas de cobertura). El inventario de productos terminados oscila suavemente y se mantiene en 16 siempre por debajo del inventario de productos terminados deseados pero después de la semana 8 (ver figura 10).

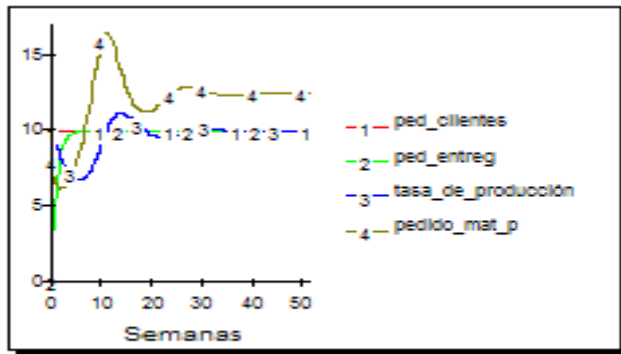


Figura 9: Tasas ensayo 2 M-M

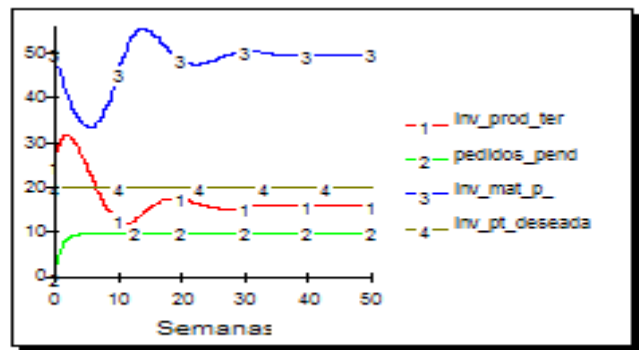


Figura 10: Niveles ensayo 2 M-M

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 10 por semana y así se mantiene durante todo el período de simulación, con holgura suficiente porque mantiene un inventario de 16 unidades contra 10 entregadas cada semana. El nivel de fuerza laboral que inicia con 6 personas baja hasta 2 hasta el final de la simulación, cantidad suficiente para cumplir con los pedidos, dado que dos personas multiplicadas por el estándar de producción de 5 unidades/hombre/semana da un total de 10 unidades por semana, ver figura 11. La capacidad de almacenamiento se ubica en 0.14, valor que multiplicado por el estándar de almacenamiento se traduce en 7 unidades por semana aspecto, que señala la poca necesidad de hacer ajustes en la capacidad de almacenamiento, dado que la capacidad de almacenamiento actual es fija en 50 unidades por semana.

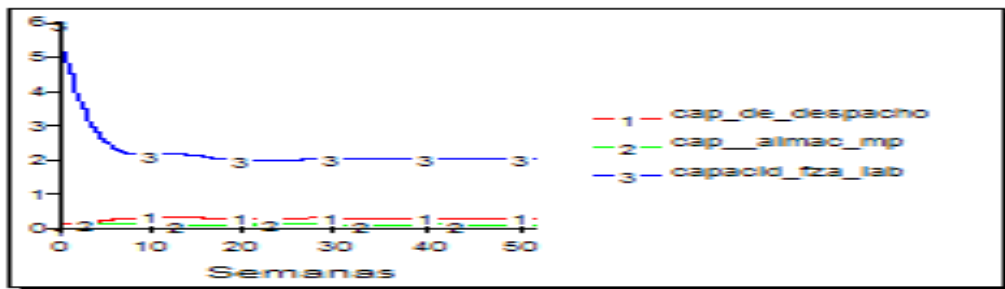


Figura 11: Niveles continuación ensayo 2 M-M.

De igual manera se comporta la capacidad de despacho que se ubica en 0.36 para totalizar 11 unidades por semana, que es el producto de multiplicar el nivel por el estándar de despacho, esto indica la no necesidad de hacer ajustes. Como conclusión de este ensayo, la disminución el factor de pedido de 20 a 10 unidades por semana, según la demanda establecida, trae consigo una disminución del nivel de inventario de productos terminados de 16 unidades, sin afectar la entrega de pedidos al cliente y a menor costo por inventario de productos terminados. Las políticas de mantener capacidad fija inicial para inventario de materia prima y de productos terminados, en 50 y 30 unidades de almacenamiento y despacho respectivamente, manteniendo constante la demanda es superior a lo necesario. También se puede decir que la cobertura de inventario de dos semanas sigue siendo suficiente para cumplir con los pedidos y la disminución acelerada de la fuerza de trabajo puede producir conflictos con los trabajadores.

Conclusiones

Como una primera conclusión, se tiene que manteniendo fija la capacidad inicial para inventario de materia prima y de productos terminados, es suficiente para cubrir una demanda preestablecida como constante a lo largo del período de simulación, dado que el inventario de productos terminados al final de la simulación es superior al nivel de pedido de los clientes.

Una segunda conclusión en este modelo, es que disminuyendo el factor de pedido y manteniendo la misma política de capacidad fija para inventario de materia prima y de despacho de productos terminados para el nivel de demanda constante, trae consigo una disminución del nivel de inventario de productos terminados que no afecta la entrega de pedidos al cliente.

Finalmente como conclusión número 3, las políticas de capacidad inicial fijas para inventario de materia prima y de productos terminados también puede ser suficiente para cubrir el crecimiento escalonado en el flujo de pedido de clientes.

Referencias

- Cassivi, L. (2006). Collaborations planning in a supply chain. *Supply Chain Management*, 11(3), 249.
- Chang, Y., y Makatsoris, H. (2001). Supply chain modeling using simulation. *International Journal of Simulation*, 2(1), 24–30.
- Guasch, et al., (2003). *Modelado y simulación, aplicaciones a procesos logísticos de fabricación y servicios* (2ª ed.). Barcelona: UPC
- Martín, J. (2003). *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas*. Barcelona: UPC
- Schroeder, R. (2005). *Administración de operaciones. Conceptos y casos contemporáneos* (2ª ed.). México: Mc Graw Hill.
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. USA: Mc Graw Hill.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.