

## **Desarrollo de un Modelo de Simulación Dinámica para Ensayar Políticas Operacionales en Cadenas de Suministros Genéricas de PYMES Transformadoras**

**Wilfredo Guaita<sup>1</sup> Carlos Rodríguez Monroy Marian Gómez Hernández<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Nacional Experimental de Guayana, wguaita@uneg.edu.ve.

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, crmonroy@etsii.upm.es

<sup>3</sup> Universidad Nacional Experimental de Guayana, Venezuela, mgomez@uneg.edu.ve

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

### **1. Resumen**

Con el fin de determinar el impacto que causa en una cadena de suministro genérica las variaciones de demanda y cómo las políticas operacionales de capacidad, inventario, procesos y fuerza de trabajo pueden mitigar este impacto, se diseñó un modelo conceptual tomando como referencia otros modelos de cadenas de suministros genéricas y un modelo digital de simulación dinámica para realizar los ensayos correspondiente. La cadena de suministros genérica muestra las relaciones entre el transformador con el suministrador de materia prima y el distribuidor de productos terminados. La estructura de la cadena contempla tres fabricantes, un centro de recepción de la materia prima, el transformador, un distribuidor mayorista y tres clientes de productos terminados. La mayoría de las pequeñas empresas ubicadas en la región Guayana en Venezuela, habitualmente trabajan de manera individual, pero gradualmente algunos sectores han comprendido que integrarse en una cadena mejora la competitividad de todos sus integrantes.

La aportación fundamental de este trabajo, es servir de apoyo o reducir la incertidumbre en la toma de decisiones del administrador de la cadena, facilitando el análisis de las cuatro políticas operacionales ya señaladas, y que desde el punto de vista estratégico se puedan poner en práctica ante los cambios que se presenten en la demanda correspondiente.

### **2. Introducción**

Las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES), 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. Sin embargo en los últimos años han sucedido múltiples cambios en la economía mundial consecuencia de las innovaciones tecnológicas, de la creación de bloques comerciales entre países por la creciente ola globalizadora y más recientemente la contracción económica mundial 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. En este sentido, una opción competitiva para las PYMES transformadoras de materia prima considerada dentro de las estrategias

asociativas, es buscar modos de integración en cadenas de suministros (Cassivi, 2006) y utilizar técnicas 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).

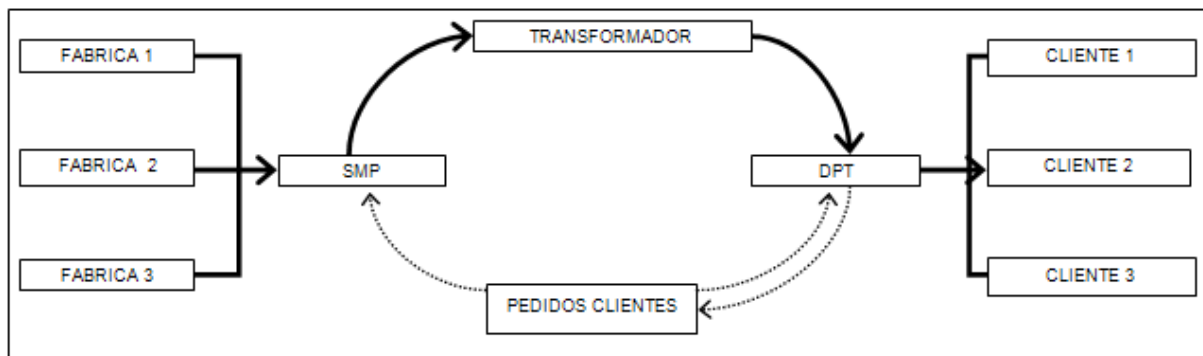
En este estudio, se hace la configuración de la CS Genérica utilizando la técnica de dinámica de sistemas señalada por Sterman, (2000) y posteriormente se desarrollará el modelo digital sobre el cual se harán las simulaciones o ensayos de las políticas operacionales del tipo: Proceso, Capacidad, Inventario o fuerza laboral. 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.

### 3. Metodología

Como metodología para la realización de este estudio se ubicaron cadenas de suministros genéricas y adaptables al entorno industrial de la región, para luego aplicar la técnica de Redes de Petri, Guasch et al. (2003) como paso previo para el desarrollo del modelo de eventos discretos. Posteriormente, se utilizó la técnica de lazos retroalimentados, Martín (2003) que facilita el desarrollo conceptual e informático del modelo de procesos continuos donde se realizan los distintos ensayos.

### 4. 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, cuatro en el transformador y uno en el distribuidor de productos.



**Figura 1:** Estructura de la Cadena de Suministro Genérica

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 hacen ajustes en las políticas operacionales.

#### 4.1. Modelo Causal Cadena de Suministros Genérica

En la figura 2, se muestran las relaciones causales o de influencia propias del Suplidor 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. 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.

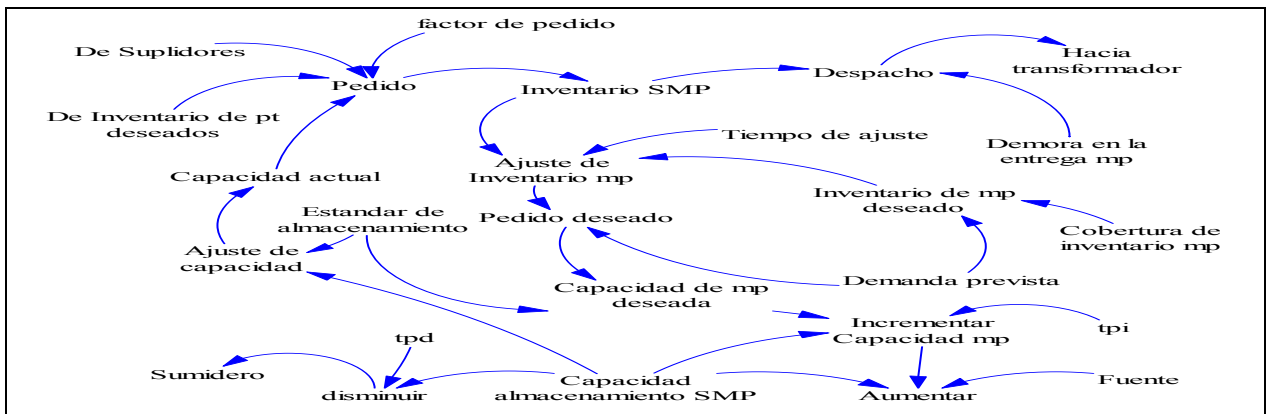
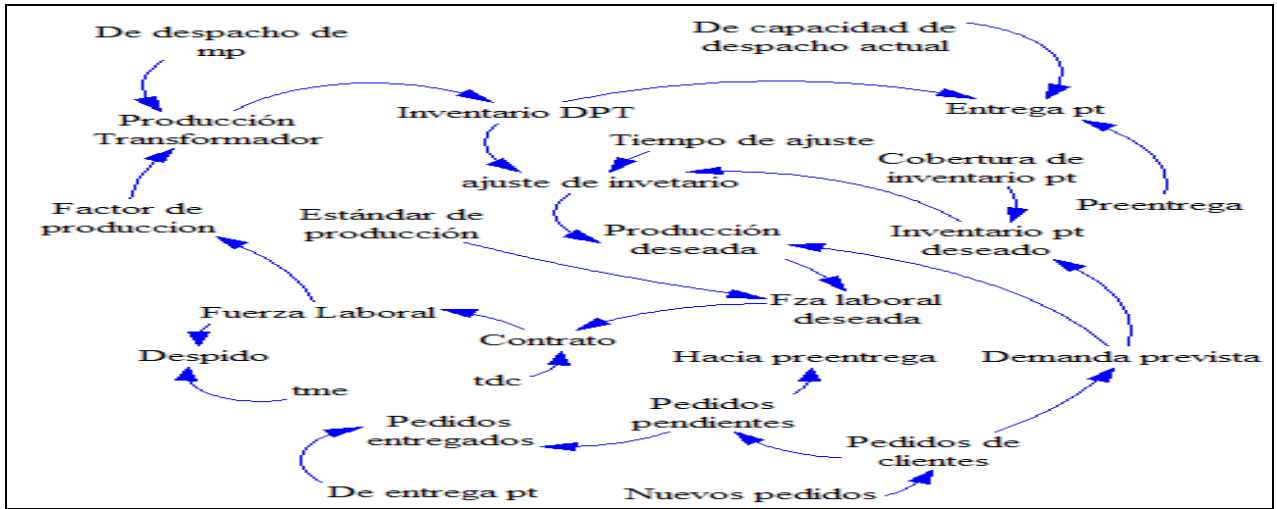


Figura 2: Suplidor de Materia Prima

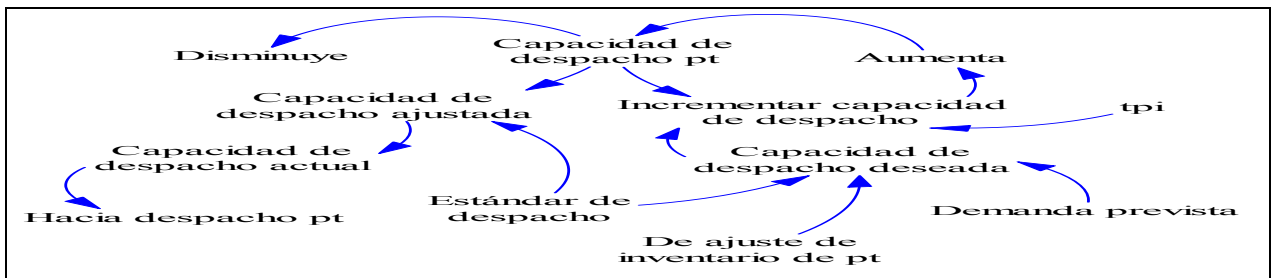
La figura 3, especifica las relaciones entre producción y almacenamiento en distribuidor de productos terminados. Se agregan las relaciones con fuerza laboral y la incidencia de los pedidos de clientes. La demanda prevista impulsa la producción deseada y el inventario deseado que hay que ajustar contra 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 suplidor de materia prima, 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:** Producción e Inventario del Distribuidor de Productos Terminados

La figura 4, señala las relaciones inherentes al nivel de capacidad del distribuidor de productos terminados, 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, producción 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.

#### 4.2. Modelo para Ensayar Políticas Operacionales de la Cadena de Suministros Genérica

La figura 5, muestra el modelo para ensayar las políticas operacionales utilizadas por las PYMES transformadoras.

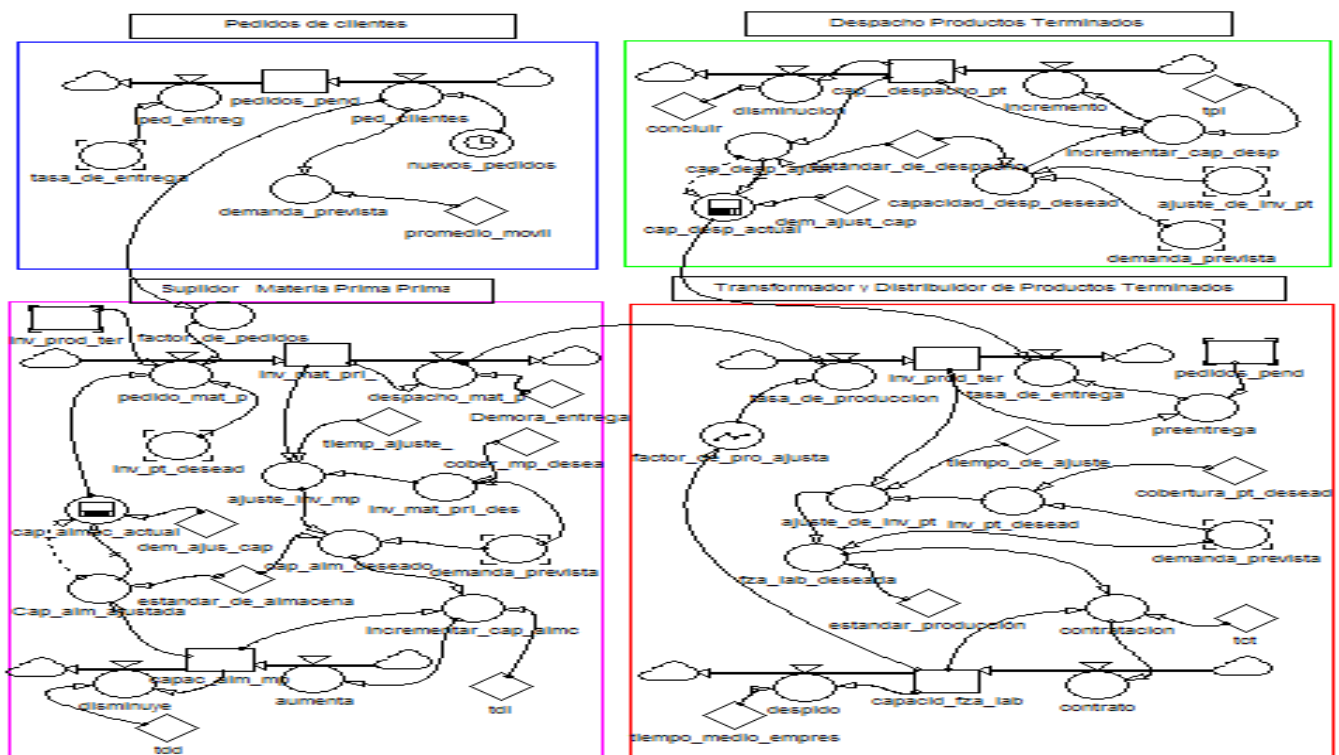


Figura 5: Modelo Informático Cadena de Suministro Genérica

## 5. Resultado y Discusión de los Ensayos Cadena de Suministro Genérica

Los resultados de dos ensayos en la cadena de suministro genérica son mostrados en esta sección. Desde luego se han elaborado otros ensayos pero por razones de espacio no se muestran en este artículo. 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 el ensayo 2 se mantiene la demanda y se hacen ajustes en las políticas operacionales. Estos 2 ensayos permitirán observar el nivel de pedidos pendientes de la cadena.

### 5.1. Ensayo 1: Pedido Constante de Clientes

En este ensayo de simulación, comprobaremos los efectos en la cadena de suministro genérica, cuando los pedidos de clientes son constantes (15 unidades 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, sin ajustes por variación de demanda
3. Capacidad inicial fija en DPT, sin ajuste por variación de demanda
4. Demora en entrega de materia prima = 4 Semanas
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 Semanas
- 6. Factor de pedido = 15 Unidades por Semana**
7. Factor de cobertura inventario de productos terminados deseado = 4 S

8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP =  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT =  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$
10. Estándar de producción en T =  $5 \text{ U/H/S}$
11. Factor de transformación de materiales en carpintería = 0.80 UPT por Unidad de Materia Prima.
12. Tiempo de la simulación = 52 S

Volúmenes en la cadena:

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

Tasa de flujo:

1 Pedido de clientes = 15 unidades 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 4 semanas.
3. Pedidos fijos en 15 unidades por semana.
4. Capacidad inicial de almacenamiento de materia prima y de despacho de productos terminados = 10 y 10 U por semana respectivamente, sin ajuste por demanda.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima =  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$
6. Estándar de despacho de productos terminados =  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$
7. Estándar de producción =  $5 \text{ U/H/S}$ .
8. Estándar de materiales = 0.80 factor de utilización de materia prima ajustado por fuerza laboral
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas

### **5.1.1 Resultado y Discusión del Ensayo 1**

Las figuras 6, 7 y 8 muestran los resultados de 52 iteraciones realizadas en el simulador. La variable externa que se mantiene sin cambios es los pedidos de clientes a razón de 15 unidades por semana (ped\_clientes) y por debajo de esta tasa, se mantienen los pedidos entregados (ped\_entreg) a la que se iguala la tasa de producción en la semana 18 (ver figura 6).

Desde el inicio de la simulación se observa que la cadena no tiene capacidad para responder al nivel de pedidos de clientes especificado. El pedido de materia prima se inicia con 10 unidades por semana está limitado por la capacidad actual de almacenamiento de materia prima que está fija en 10 unidades por semana. Este comportamiento de igualación de las tasas de producción y de pedidos entregados, hace suponer un sistema estable pero que

acumula pedidos pendientes a partir de la semana 5 (ver figura 7) dada la política de capacidad restrictiva en el SPM y en DPT.

El nivel de inventario de materia prima concluye en 47 U y por encima del nivel de inventario de productos terminados, que comienza en 25 U oscila levemente y termina en 9 U. Pero muy por debajo del nivel de pedidos pendientes que termina en 302 U y que desde la semana 5 supera el nivel de inventarios de productos terminados. El inventario de productos terminados deseado se ubica en 60 unidades (15 unidades/semana x 4 semanas de cobertura) a lo largo de la simulación.

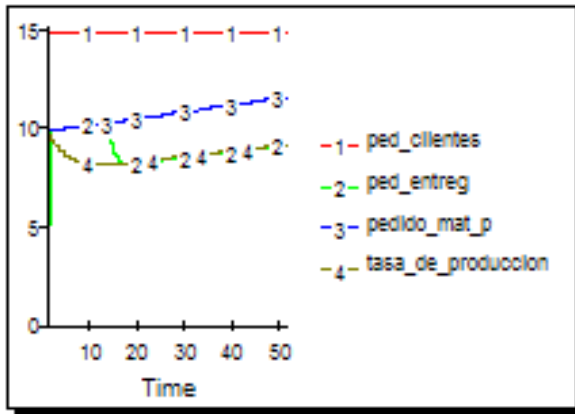


Figura 6: Tasas ensayo 1 CSG

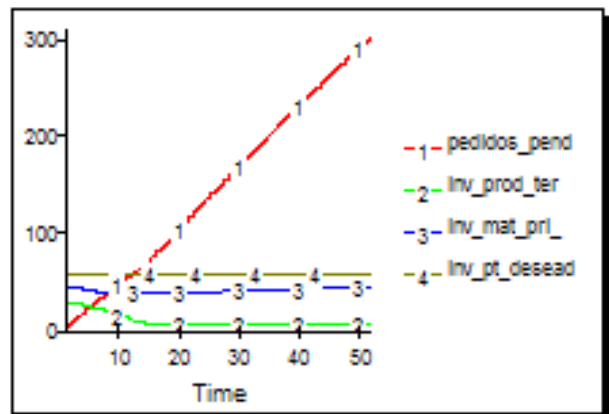


Figura 7: Niveles ensayo 1 CSG

Los pedidos de clientes no se entregan satisfactoriamente ya que no hay inventario de producto terminados suficientes, en consecuencia hay demoras en la entrega. El nivel de fuerza laboral, que se inicia con 4 personas, concluye en ese nivel hasta el final de la simulación, ver figura 8.

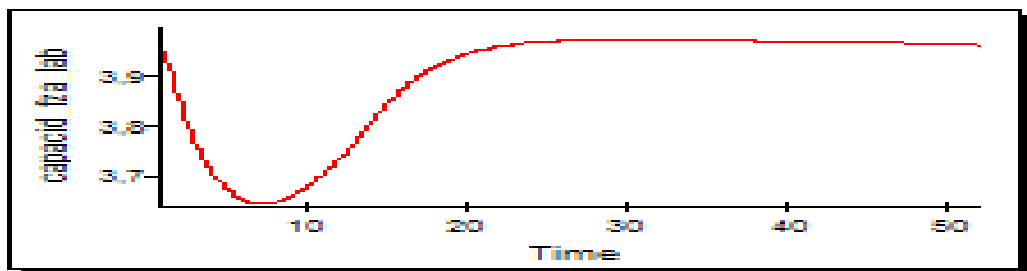


Figura 8: Niveles Continuación ensayo 1 CSG

Como conclusión de este ensayo se tiene que la política de mantener la capacidad de almacenamiento de materia prima y de despacho de productos terminados fija. Es decir sin hacerla variar dada la demanda prevista produce incumplimientos de la cadena. También influye en este aspecto la limitada cobertura de inventarios de productos terminados.

En el próximo ensayo, se introducirán ajustes en la política de inventarios relativa a la cobertura para previsión como inventario de seguridad reduciéndolo de 4 a 2 semanas, en ajustar la capacidad de almacenamiento de materia prima y despacho de productos terminados. Se trata de un ajuste combinado dado el crecimiento exponencial observado en el nivel de pedidos pendientes en el ensayo 1.

## **5.2. Ensayo 2: Pedido Constante de Clientes con Ajuste en Política de Inventario, Capacidad y Proceso.**

Este ensayo, mantiene los pedidos de clientes constantes en 15 unidades por semana, la cobertura de inventario de productos terminados se disminuye de 4 a 2 semanas. También se introduce un incremento en las capacidades de almacenamiento de materia prima y de despacho de productos terminados de  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$  a un valor determinado por la demanda. Estos cambios procuran reducir el nivel de pedidos pendientes sin incrementar exageradamente los niveles de inventario de productos terminados.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana
- 2. Capacidad inicial fija en SMP, con ajustes por variación de demanda.**
- 3. Capacidad inicial fija en DPT, 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 = 15 unidades por semana**
- 7. Factor cobertura inventario de productos terminados deseado = 2 S**
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP =  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT =  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$
10. Estándar de producción en carpintería =  $5 \text{ U/H/S}$
11. Factor de transformación de materiales en  $T = 0.80 \text{ UPT}$  por Unidad de Materia Prima.
12. Tiempo de la simulación = 52 S

Volúmenes en la cadena:

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

Tasa de flujo:

1. Pedido de clientes = 15 unidades de pedido constante a lo largo del período de simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable en T, incrementa o disminuye en atención a la demanda.
2. Inventario de productos terminados con una cobertura de 2 semanas.
3. Pedido fijo en 15 unidades por semana.
4. Capacidad de almacenamiento de materia prima y capacidad de despacho de productos terminados = 10 y 10 respectivamente, ajustado por demanda.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima =  $10 \text{ U/M}^2/\text{S}$



6. Estándar de despacho de productos terminados = 10 U/M<sup>2</sup>/S
7. Estándar de producción = 5 U/H/S.
8. Estándar de materiales = 0.80 factor de utilización de materia prima ajustado por fuerza laboral.
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas

### 5.2.1 Resultado y Discusión del Ensayo 2

En este ensayo se muestran los resultados de una política gerencial orientada a reducir los pedidos pendientes. Los pedidos de clientes (ver figura 9) se mantiene constante en 15 UPS, los pedidos entregados y la tasa de producción se equiparan a esta tasa a partir de la semana 18. Lo que quiere decir que a este ritmo de producción el nivel de pendiente se mantiene controlado en 15 unidades. La tasa de pedido de materia prima se ubica en 20 UPS restringida por la capacidad que se mantiene constante en este nivel una vez ajustada.

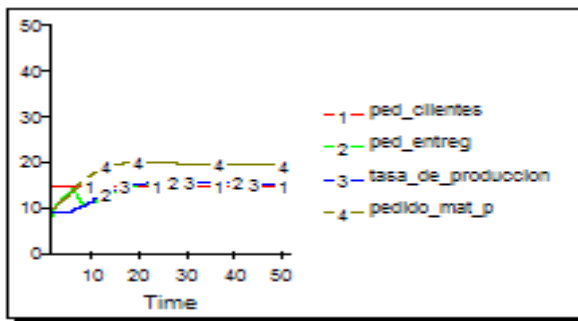


Figura 9: Tasas ensayo 2 CSG

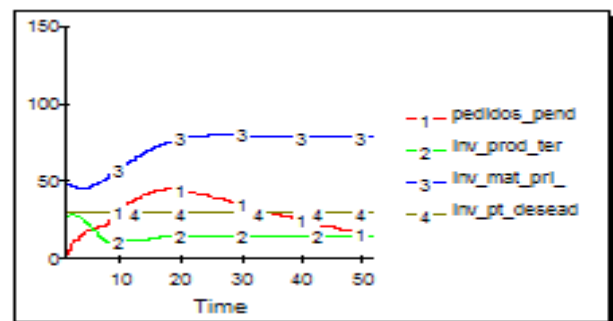


Figura 10: Niveles ensayo 2 CSG

Los niveles observados en la figura 10, como es el caso del nivel de inventario de materia prima se muestra muy superior al nivel de pedidos pendientes, que se iguala al de productos terminados a partir de la semana 50, lo que se traduce en capacidad suficiente para cumplir con los clientes. Desde luego reduciendo los tiempos de demora de 12 semanas, en los ajustes de capacidad de almacenamiento y de productos terminados la igualación de los niveles de pedidos pendientes y productos terminados hubiese sucedido antes de la semana 50.

El nuevo nivel de capacidad de mano de obra es suficiente (ver figura 11) para cumplir con los pedidos dado que al multiplicarlo por el estándar se ubica en 15 UPS (3 hombres x 5 unidades/hombre/semana). La capacidad de despacho de productos terminados incrementa de 10 a 26 U/M<sup>2</sup>/S y la capacidad de almacenamiento de materia prima incrementa de 10 a 19 U/M<sup>2</sup>/S.

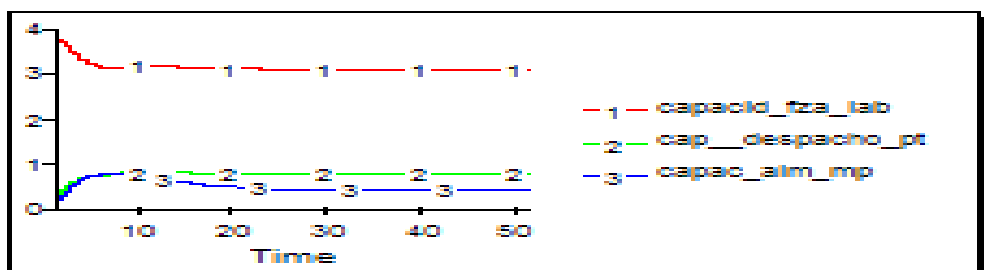


Figura 11: Niveles continuación ensayo 2 M-M.

Esta simulación demuestra que manteniendo los pedidos en 15 UPS, se puede cumplir oportunamente con los clientes, si se hacen ajuste en niveles de capacidad de almacenamiento de materia prima y de despacho de productos terminados y el factor de pedidos se ubica por encima de la demanda.

Con este ensayo se demuestra la hipótesis sobre el impacto que produce en el nivel de pedidos pendientes cuando se combinan las políticas operacionales. La aseveración de que las políticas operacionales utilizadas de manera combinada, reducen el nivel de pedidos pendientes, se demuestra cuando al hacer un ajuste, por ejemplo en el nivel de capacidad fija haciéndolas variar por la demanda y reduciendo la demora del ajuste, observamos su impacto en el nivel de pedidos pendientes, que es un indicador del volumen del sistema. Si este volumen crece o decrece es un indicativo de la necesidad de verificar la capacidad de almacenamiento o despacho que es parte de la estructura de la cadena que la gerencia de la cadena debe vigilar.

En este caso el ajuste en la capacidad de almacenamiento de materia prima fue menor que la capacidad de despacho y ambas tienen más influencia en reducir el nivel de pedidos pendientes de manera más rápida que la cobertura de inventario de productos terminados.

## **6. Conclusiones**

Como una primera conclusión, se tiene que manteniendo fija la capacidad inicial para inventario de materia prima y de productos terminados, no 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 inferior al nivel de pedido de los clientes.

Una segunda conclusión en este modelo, es que disminuyendo la cobertura de inventario de 4 a 2 semanas y ajustar la capacidad para inventario de materia prima y de despacho de productos terminados por variación de demanda, trae consigo un cumplimiento apropiado en la entrega de pedidos al cliente.

Finalmente como conclusión número 3, las políticas de capacidad para inventario de materia prima y de productos terminados son más efectivas para cubrir la demanda constante que el ajuste en la cobertura de inventario de productos terminados.

## **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.