



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN Y  
OPERACIONES**

**Modelo de simulación para comparar las metodologías *pull*  
de gestión de inventarios basadas en DDMRP y TOC para  
empresas de distribución**

**MÁSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES,  
MENCIÓN EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

**ANDREA KAROLINA ZEA MOLINA**

**JULIO CESAR MOSQUERA GUTIERRES**

**CUENCA, ECUADOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por alentarme a cumplir el objetivo propuesto de estudiar este  
Máster.

Mi agradecimiento al Ing. Julio Mosquera quien dirigió todo el proceso de elaboración del  
estudio, por su compromiso y el apoyo brindado.

## RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en una farmacia de la ciudad de Cuenca, Ecuador y pretende dar una alternativa diferente de gestión de inventarios mediante la simulación de eventos discretos en Excel de dos metodologías tipo *pull*. Las metodologías tipo *pull* son aquellas que extraen información y materiales relevantes proveniente de la demanda real desde el eslabón más pequeño de la cadena de suministros (cliente final) hacia el eslabón más grande (fabricante) y no trabajan bajo proyecciones. Las dos metodologías tipo *pull* simuladas fueron Demand Driven MRP (DDMRP) y Gerencia de Inventarios de la Teoría de las restricciones (TOC), obteniendo la reducción del %12.96 en el inventario promedio manejado y el %39.87 menos en el costo promedio de operación.

## PALABRAS CLAVE

Metodologías tipo *pull*, administración de inventarios, simulación, DDMRP, Teoría de las restricciones.

## ABSTRACT

This study was developed in a pharmacy in Cuenca, Ecuador, and aimed to provide a different alternative for inventory management through the simulation of discrete events in Excel of two pull methodologies. Pull methodologies extract relevant information and materials from the actual demand, from the minor link in the supply chain (final customer) to the most significant link (manufacturer), and do not work under projections. The two pull methodologies simulated were Demand Driven MRP (DDMRP) and Theory of Constraints Inventory Management (TOC), obtaining a %12.96 reduction in average inventory handled and a %39.87 less in average operating cost.

## KEYWORDS

Pull methodologies, inventory management, simulation, DDMRP, Theory of Constrains.

Translate by

  
Andrea García.

  
Tutor: Julio Rosquera

## INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	7
MARCO TEÓRICO .....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
RESULTADOS.....	24
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30

## INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

Figura 1. ¿Cómo funciona el Efecto Látigo? .....	8
Figura 2. Pirámide de DDMRP .....	9
Figura 3. Versión simplificada de la cadena de distribución.....	10
Figura 4. Funcionamiento del sistema máximo/mínimo de manera gráfica.....	12
Figura 5. Componentes del TRT (Tiempo transcurrido desde el despacho).....	13
Figura 6. Comparación entre el sistema convencional y el sistema TOC para gestión de inventario.....	14
Figura 7. Niveles de inventario según el DBM.....	15
Figura 8. Comportamiento del inventario en la situación actual de la bodega. ....	18
Figura 9. Zonas de administración de buffer según metodología DDMRP.....	19
Figura 10. Zonas de administración de buffer metodología TOC.....	21
Figura 11. Comportamiento de flujo neto e inventario final metodología TOC, 60 días de sobre stock.....	24
Figura 12. Movimiento de flujo neto e inventario final metodología DDMRP, 20 días de sobre stock.....	24
Figura 13. Comportamiento de flujo neto e inventario final del 25 al 40 día. Metodología DDMRP.....	25
Figura 14. Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de 9 días. Metodología DDMRP.....	25
Figura 15. Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de 13 días. Metodología DDMRP.....	26
Figura 16. Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de 16 días. Metodología DDMRP.....	26
Figura 17. Comportamiento de flujo neto e inventario final, período final de simulación. Metodología TOC.....	27
Figura 18. Tendencia de costo promedio durante período de simulación. Metodología DDMRP.....	27
Figura 19. Tendencia de costo promedio durante período de simulación. Metodología TOC.....	28
Figura 20. <i>Comparación de resultados DDMRP vs. TOC</i> .....	28
Tabla 3. Resultados para las metodologías DDMRP y TOC. ....	28
Tabla 4. Comparación de resultados metodología DDMRP vs. situación actual de la empresa.....	28

Anexo 1 Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de noventa días. Metodología DDMRP.....	30
Anexo 2 Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de noventa días. Metodología DDMRP.....	31

Zea Molina Andrea Karolina Trabajo de graduación.

Mosquera Gutiérrez Julio César.

Abril 2022.

## **Modelo de simulación para comparar las metodologías *pull* de gestión de inventarios basadas en DDMRP y TOC para empresas de distribución**

### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, las compañías se enfrentan a condiciones complejas, dinámicas e impredecibles; sin embargo, son administradas bajo sistemas lineales suponiendo erróneamente: portafolios pequeños, clientes más tolerantes, demanda más estable, operaciones menos complejas, entre otros. La consecuencia más importante, de los ambientes industriales cambiantes y espontáneos, es conocida como el Efecto Látigo. Este fenómeno se da cuando la información proveniente del cliente final, se distorsiona conforme se transmite “aguas arriba”, es decir, desde el cliente final hasta el fabricante, pasando por minoristas y distribuidores mayoristas (Smith, 2017).

Las metodologías tipo *pull*: Planificación de Requerimiento de Materiales Impulsada por la Demanda (DDMRP) y la Teoría de la Restricciones (TOC) conocida como *Pull* TOC o Reposición del Consumo se enfocan en cambiar el pensamiento de proyecciones con valores precisos y acciones específicas basadas en el cumplimiento de todos esos supuestos a través de la mejora del flujo de información relevante, “aguas arriba” y de materiales o productos relevantes “aguas abajo” y la reinención de sistema convencional de gestión de inventario de máximo/mínimo a lo largo de la cadena de suministro, respectivamente (Smith & Ptak, 2011).

En el Ecuador, la industria en general se ve enfrentada con varios obstáculos, algunos de los más comunes, más arraigados y por lo tanto más difíciles de cambiar son: una cultura organizacional basada en el hermetismo de información, aferrarse a la planificación bajo pronósticos, falta de comunicación logística y comercial con sus proveedores, falta de inversión en sistemas seguros, ágiles y robustos, entre otros. Con la pandemia Covid-19, la industria farmacéutica enfrentó un gran reto y fue puesta a prueba en sus tiempos de respuesta, nivel de servicio y correcto reabastecimiento de sus productos para atender la emergencia sanitaria.

El presente estudio se realizó en una empresa farmacéutica de la ciudad de Cuenca, Ecuador que atiende a clientes finales y a un hospital. El motivo por el cual se escogió realizar el estudio en esta empresa fue porque a partir de la pandemia Covid-19 el sector de la salud

se volvió aún más crítico, es decir, la variedad y la disponibilidad de medicinas, vitaminas e insumos médicos se puso a prueba para cubrir las necesidades sanitarias que enfrentó en mundo entero.

El objetivo del estudio es comparar estas dos metodologías de gestión de inventarios de tipo *pull* dentro de la industria farmacéutica de pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Cuenca, con los objetivos de encontrar una alternativa de abastecimiento mucho más eficiente y eficaz al sistema convencional que se maneja en este medio, elegir la metodología que arroje mejor nivel de servicio, bajos niveles de inventario, menor costo de almacenamiento.

Para lograr el objetivo planteado, se realizó una revisión de la literatura de las metodologías *tipo pull*, se identificó ejemplos de aplicación en la industria para demostrar la importancia de este tipo de sistemas de gestión, se utilizó la simulación de eventos discretos para comparar las dos metodologías, se analizó los resultados y se eligió la metodología que mejores arroje mejores resultados para proponer lineamientos de gestión basados en la metodología elegida que sirvan de guía para el giro de negocio estudiado.

La estructura del documento está compuesta por marco teórico (sección 1), materiales y métodos (sección 2), resultados (sección 3) y conclusiones y recomendaciones (sección 4).

## MARCO TEÓRICO

Considerando que la industria farmacéutica mueve cantidades monetarias sumamente altas, que el consumo de insumos que previenen y mejoran la salud de los seres humanos es elevado y que se consideran productos de consumo masivo, se eligieron dos metodologías tipo *pull*, aquellas que trabajan posicionando y halando (Ortiz, 2019): DDMRP y TOC para comparar cuál de estas dos genera menores tiempos de respuesta y disminuye los niveles de inventarios de una manera óptima.

“Puede decirse que los modelos de aleatoriedad de la demanda independiente se clasifican en dos grupos: (1) los modelos clásicos y (2) nuevas tendencias” (Gutiérrez y Vidal, 2008, p 137). La diferencia entre los modelos clásicos y las nuevas tendencias es la fuente de información de datos para planificar la operación. Los modelos clásicos, también conocidos como modelos tipo *push*, son aquellos que trabajan en base a pronósticos de ventas complementados por un sistema de reabastecimiento de máximos y mínimos (Poveda, 2013), no consideran la información real de la demanda y son los principales causantes del efecto látigo.

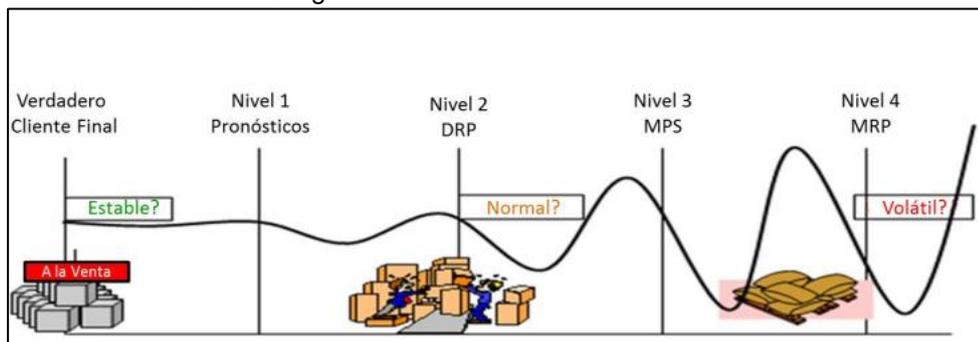
El segundo grupo de modelos de aleatoriedad de la demanda, es decir, las nuevas tendencias o las metodologías tipo *pull*, son aquellas que tienen como objetivo reducir y/o

eliminar el efecto látigo (*Bullwhip Effect*) causado por las metodologías tipo *push*. Un sistema en el que se inicia la producción como una reacción a la presente demanda (Barón Mora et al., 2012, p 3). La información distorsionada de un extremo de la cadena a otro puede llevar a enormes ineficiencias como inversión excesiva en inventarios, pérdida de ingresos, planes de capacidad mal orientados, transporte ineficaz y programas de producción perdidos (Lee et al., 1997).

La información puede sufrir distorsión de manera sistemática y bidireccional, es decir, “aguas arriba” y “aguas abajo”. (Smith, 2017). El efecto que dicha distorsión tiene especialmente desde el consumidor final hacia el productor o fabricante genera más impacto a lo largo de la cadena de suministro. En el sistema común de gestión de inventarios, cada eslabón trabaja en base a pronósticos de demanda según un histórico de ventas (*sistema push*), sin considerar que este pronóstico se actualiza constantemente de tal manera que la reposición y abastecimiento se realizan con información no real generando picos de cantidades cada vez más grandes.

**Figura 1.**

¿Cómo funciona el Efecto Látigo?



Nota: consiste fundamentalmente en la aplicación exponencial de pequeñas variaciones de la demanda a través de toda la cadena de suministro Fuente: (Poveda, 2013)

La metodología DDMRP (*Demand Driven Material Requirements Planing*) es la planificación del requerimiento de materiales basados en la demanda del cliente final, se fundamenta en la conexión entre la creación, protección y aceleración del flujo de materiales e información relevantes y el retorno sobre la inversión ROI (Smith y Ptak, 2011); determina inventarios estratégicos en diferentes puntos de la cadena de suministro también conocidos como “amortiguadores” con el objetivo de responder de manera más rápida ante los requerimientos del consumidor (Ortiz, 2019).

**Figura 2.**  
Pirámide de DDMRP



Fuente: (Ptak & Smith, 2013)

En la Figura 2., se puede observar cómo funciona el DDMRP. El punto de partida es el flujo (principio fundamental), tanto de materiales como de información, ambos relevantes; ¿Por qué relevantes?, porque el retorno sobre la inversión está directamente relacionado con la identificación y manejo de información relevante, materiales, espacios y capacidad necesarios para la organización y sus accionistas. Es importante aclarar que la relevancia de los materiales y la información siempre va a estar identificada por la demanda real de los consumidores, traduciendo al pago en efectivo.

Una vez que el flujo se ha identificado, la organización puede escalar al siguiente eslabón. Los cambios fundamentales de planeación que influyen en determinar los puntos de desacoplamiento y las órdenes de venta. Este eslabón pretende reducir o eliminar la variabilidad causada por el efecto látigo, comprimiendo los tiempos de espera, asegurando inventario disponible a través de las órdenes de compra, a las cuales se les conoce como amortiguadores. “Los amortiguadores son el sistema de planeación del DDMRP” afirman los fundadores del Deman Driven Institute Carol Ptak y Chad Smith, 2017.

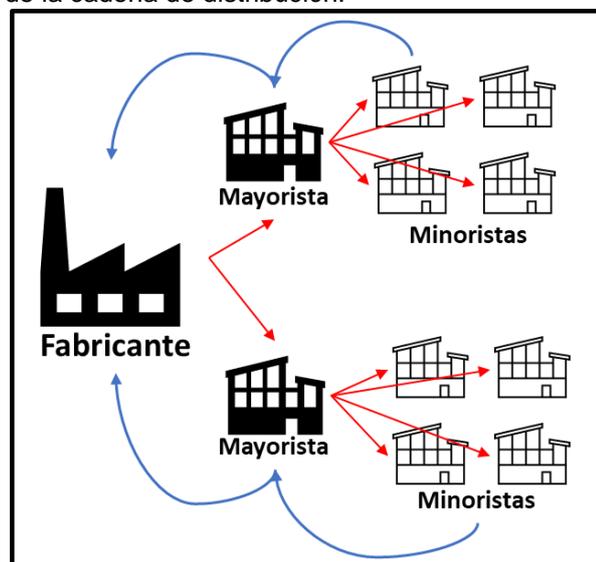
Los amortiguadores varían dependiendo del tipo de giro del negocio y son el resultado de categorizar el tiempo de espera, la variabilidad del abastecimiento y determinar cantidades mínimas a pedir. Toda esta información, permite calcular y establecer la zona verde, amarilla y roja que componen un amortiguador (*buffer*). El objetivo que tienen estas zonas es el de elevar el nivel de servicio, disminuir roturas de inventario y reducir sobre stocks para impulsar toda la operación a generar un mayor retorno sobre la inversión.

Carol Ptak y Chad Smith fundaron el Demand Driven Institute con la misión de “Impulsar y proliferar estrategias y prácticas impulsadas por la demanda en la comunidad industrial mundial”. Uno de los varios ejemplos aplicados en la industria, es Haceb, una empresa colombiana líder en la fabricación de electrodomésticos y socio estratégico de Whirlpool en Colombia, obtuvo los siguientes resultados al implementar la metodología DDMRP en la compañía: 96,2% de nivel de servicio, 27% de incremento de ventas, 12% de reducción de inventario, 80% de reducción en desabastecimientos, 12% de reducción en los costos de fletes y 40% de reducción en la devolución del producto terminado.

La segunda herramienta *pull* de gestión de inventario, la Teoría de las Restricciones (TOC - *Theory of Constraints*), conocida como *Pull TOC* o Reposición del Consumo. Esta metodología fue creada por Eliyahu M. Goldratt en 1984, un físico israelita que basó su teoría en los siguientes pensamientos: “Si no nos molestamos en verbalizar nuestra intuición, nosotros mismos haremos lo opuesto a lo que creemos”, “En nuestra realidad cualquier sistema tiene muy pocas limitaciones”. La Teoría de las Restricciones o Limitaciones reinventa de una manera más eficiente y menos costosa que el sistema de gestión de inventario máximo/mínimo a lo largo de la cadena de suministro. Las empresas reponen lo que venden, pero desafortunadamente, muchas veces hay períodos de desabastecimiento excesivo de partes o materias primas, a pesar de que los niveles de inventario parecen ser altos (Sproull, 2018).

**Figura 3.**

Versión simplificada de la cadena de distribución.



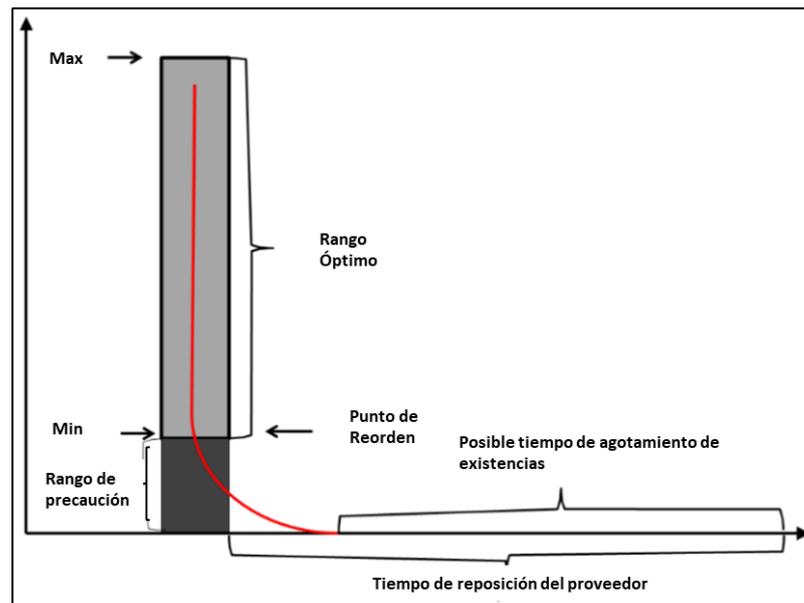
Fuente: (Ricketts, 2007)

“La existencia de las restricciones representa oportunidades de mejora” (Raham, 2016), otra definición para TOC donde a las restricciones que limitan a un sistema no se le ve como debilidades sino como oportunidades de mejora. En la Figura 3, se observa un

sistema de distribución simplificado tradicional donde los mayoristas (*regional warehouse*) son abastecidos por un proveedor principal (fábrica), el cual empuja grandes lotes de SKU's (*Stock Keeping Units*) y estos a su vez abastecen a los minoristas (*retail*) en lotes fraccionados a los recibidos por el proveedor principal. Generalmente en el entorno de un sistema de distribución convencional máximo/mínimo se obedecen las siguientes tres reglas: determinar los niveles máximo y mínimo para cada SKU, cuando vuelva a ordenar, nunca exceda el nivel máximo y nunca vuelva a ordenar hasta que esté por debajo del nivel mínimo.

**Figura 4.**

Funcionamiento del sistema máximo/mínimo de manera gráfica



Fuente: (Poveda, 2013)

En la Figura 4., se muestra la lógica que sigue un sistema máximo/mínimo donde se establece un nivel máximo al que puede llegar el inventario y el nivel mínimo que es la alerta para colocar otro pedido. El sistema máximo/mínimo está basado en estar en un modo reactivo (Bob Sproull, 2012), esta es la característica principal de este sistema ya que, mientras el nivel de inventario no haya alcanzado el nivel mínimo no se puede realizar otro pedido a pesar de la fluctuación de la demanda, pronósticos medianamente precisos y del tiempo de entrega del proveedor. Lo que impide el reabastecimiento correcto en el momento adecuado generando así pérdida de ventas.

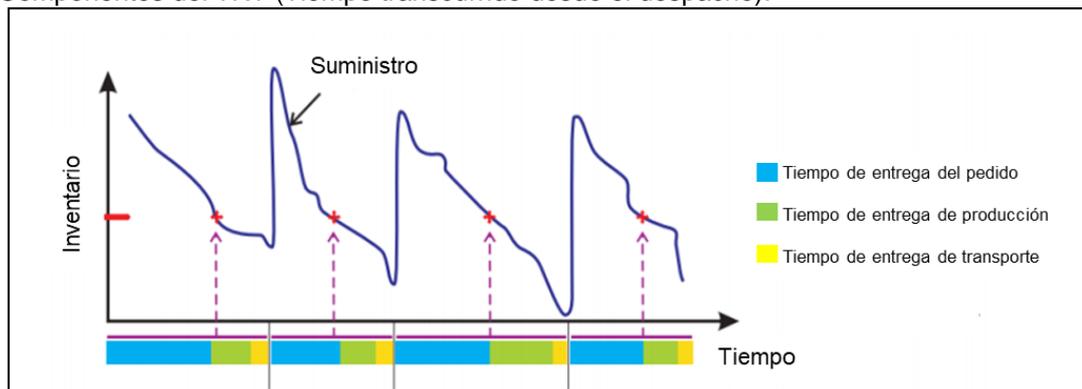
Si embargo, parte de la solución que TOC propone es, resurtir a los puntos de almacenamiento solamente con lo que se ha vendido y de manera inmediata. Este mecanismo sugiere adaptar el *nivel de inventario inicial lo suficientemente bueno* de acuerdo con las tendencias en las demandas o los cambios en las condiciones de suministro y este nivel de inventario inicial lo suficientemente bueno está determinado por: (Kulraj, 2007).

- *Nivel de inventario inicial lo suficientemente bueno* en un punto de almacenamiento = despacho promedio (o ventas) por día x Tiempo de Reposición Total (TRT) x un factor de seguridad (para tener en cuenta la variabilidad en la demanda y el suministro)
- *TRT* es el tiempo transcurrido desde el despacho (ventas) del SKU hasta que se recibe desde el punto de entrega.

Se puede decir, que el objetivo principal de la propuesta de TOC para la gestión de inventarios es, reducir y mejorar el TRT para así reducir la cantidad de almacenamiento de los SKU's que más rotación tienen; es importante aclarar que TOC no se enfoca en predecir correctamente la demanda ya que es una variable externa muy fluctuante. Para reducir y mejorar el tiempo transcurrido de despacho es necesario prestar mucha atención a la composición de este. En la *Figura 4.*, se muestran los tres componentes del TRT: Tiempo de entrega del Pedido (OLT), tiempo de entrega de producción (PLT) y tiempo de entrega de transporte (TLT).

**Figura 5.**

Componentes del TRT (Tiempo transcurrido desde el despacho).



Fuente: (Kulraj, 2007)

En la *Figura 5.*, el tiempo de entrega del pedido (OLT) considera el tiempo que transcurre desde que el mayorista o minorista coloca el pedido a fábrica hasta que este es entregado, EL PLT se considera desde que la fábrica recibe el pedido hasta que la orden se encuentra completa y lista para ser despachada, EL TLT está considerado como el transcurso de tiempo desde que el camión sale de la fábrica hasta que entrega el pedido donde el cliente mayorista o minorista. La *Figura 4.*, muestra el funcionamiento del sistema máximo/mínimo y cómo los componentes del tiempo transcurrido de despacho (TRT) afectan a la operación logística a lo largo de la cadena.

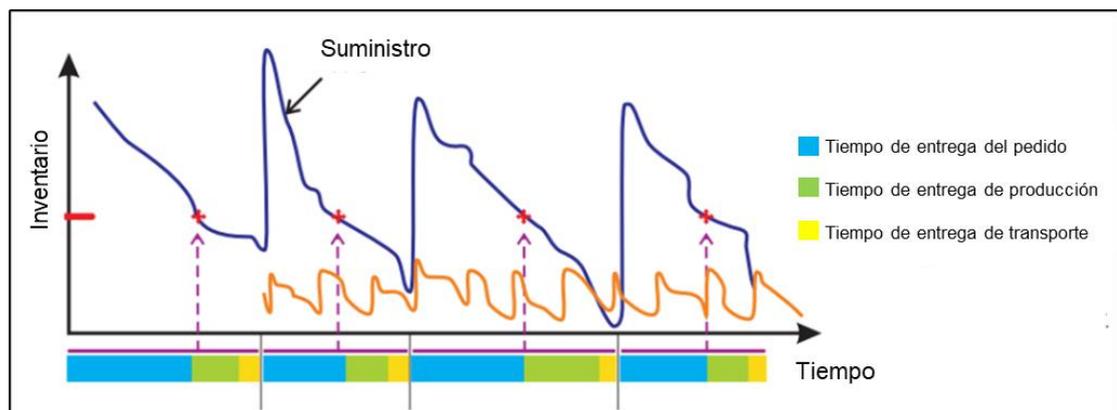
Analizando detenidamente la *Figura 4.*, se comprueba que si el abastecimiento se da cada vez que el inventario de un determinado SKU alcanza el nivel mínimo establecido; y el

TRT es mayor al tiempo que dura la cantidad de *stock* disponible en el rango de precaución (conocido también como *stock* de seguridad) el sistema empieza a trabajar con pedidos urgentes a fábrica sin respetar los tiempos que el fabricante establece para el OLT, PLT y TLT desencadenando falta de respuesta del distribuidor al mercado y como consecuencia pérdida de ventas en algún punto de la cadena de suministro.

A continuación, se muestra la comparación de tiempos entre el sistema convencional y la propuesta de gestión de inventario de TOC.

**Figura 6.**

Comparación entre el sistema convencional y el sistema TOC para gestión de inventario



Fuente: (Kulraj, 2007)

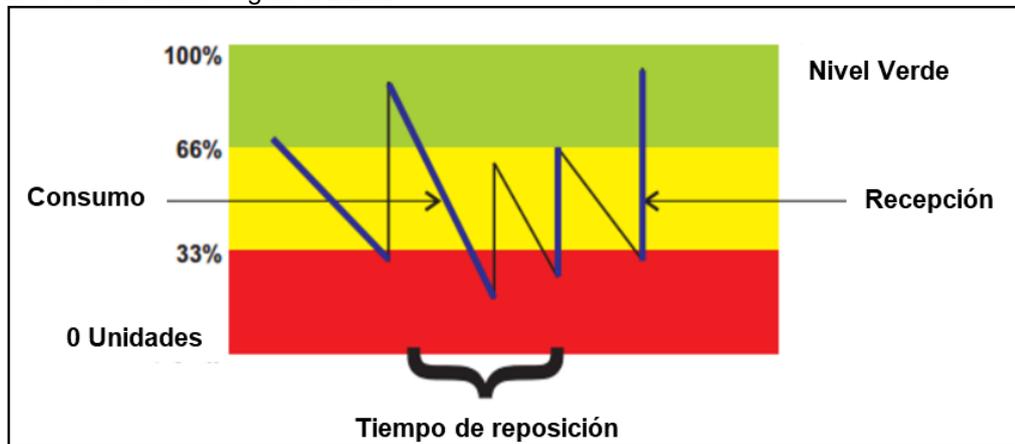
La Figura 6., muestra la mejora (línea naranja) que tendría la operación si se gestionara la distribución con el sistema propuesto por TOC. El tiempo de pedido (OLT) se reduce en un 30% ya que los pedidos se realizarían todos los días de manera que se pediría los SKU's que se vendieron en las mismas cantidades vendidas. El tiempo de producción (PLT) sería nulo, ya que esta herramienta propone tener una bodega que contenga el 100% de disponibilidad de SKU's de manera que se pueda abastecer inmediatamente los requerimientos. Por último, el tiempo de transporte se mantendrá, pero será más efectivo porque los tiempos complementarios se reducirán. De esta manera, es como TOC minimiza los niveles de inventario y reduce costos dentro de la operación.

Si bien esta herramienta reduce sustancialmente los niveles de inventario a lo largo de la operación, es importante conocer el complemento que permita monitorear y controlar que estos niveles se mantengan según la demanda. Este complemento es conocido como DBM (*Dynamic Buffer Management*) que en español quiere decir Gerencia de la Dinámica de Amortiguadores. Este sistema se basa en establecer tres niveles del 33% cada uno designados con los colores rojo, amarillo y verde para administrar los niveles de inventario (Kulraj, 2007). Donde el nivel verde representa el nivel de inventario objetivo y el color rojo es

el nivel de existencias por debajo del 66% de la cantidad de existencias objetivo, el cual sugerirá una reposición.

**Figura 7.**

Niveles de inventario según el DBM.



Fuente: (Kulraj, 2007)

Los tres niveles definidos por el DBM, como se observa en la Figura 7., varían en función de la demanda, es decir, cada porcentaje representa un stock en unidades determinado según la rotación de los SKU's. Cuando la demanda tienda a aumentar, entonces el nivel de inventario pasará de verde a rojo y cuando la demanda tienda a disminuir, el nivel de inventario permanecerá en verde. Si las existencias permanecen en rojo durante un período de tiempo igual al tiempo de reposición hasta ese punto de almacenamiento, el nivel de inventario objetivo cambia en un 33%, es decir, una banda de color (Kulraj, 2007) esto explica la dinámica que tiene el sistema y como puede variar el nivel de inventario objetivo para evitar quiebres de inventario.

Una vez que se haya adaptado el nivel de inventario objetivo, el sistema de gerencia suministrará los niveles según la cantidad de ventas realizadas ya sea de manera ascendente o descendente, por lo tanto, no será necesario realizar pronósticos a corto plazo. El sistema DBM permite disponer del 100% del inventario disponible en todos los puntos de almacenamiento generando así la reducción de niveles de inventario en un 50%, mejores niveles de servicio y aumento significativo en el ROI para los minoristas y distribuidores gracias a la mejorada disponibilidad del proveedor principal y el adecuado flujo de información que alimentará el sistema DBM.

Revisando en un estudio de implementación de TOC en una empresa de la industria de etiquetado del mercado ecuatoriano realizado por (Carrión, 2020) donde mide los indicadores: confiabilidad (nivel de servicio) y disponibilidad de productos (% de productos sin stock y % de productos con sobre stock). Se obtuvieron los siguientes resultados para el

cuarto mes posterior a la implementación del sistema: 80,80% de incremento en el nivel de servicio, 30% en la reducción de productos agotados dentro del comportamiento global de la cadena de suministro y apenas 1,04% en la mejora de nivel de inventario de productos en exceso causado por la falta de dinamismo del área comercial para reducir estos excesos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación aplicada de alcance correlacional, es decir, que asocian conceptos y variables para encontrar su relación o compararlos entre ellos, con un enfoque mixto donde se pueda calificar cuantitativa y cualitativamente los resultados obtenidos. Se usó una metodología de simulación de eventos discretos y comparaciones científicas para obtener resultados.

Para la comparación entre estas dos metodologías, se trabajó con una demanda acumulada de la población total comprendida en 2705 SKU's vendidos en un período de tres meses. Como la población es extensa y variable dependiendo del tipo de insumo farmacéutico y/o médico, se realizó una agrupación de todos los productos por familias, una vez identificadas las familias de productos se seleccionó para la simulación a la familia con mayor volumen de ventas. Se analizó la distribución de demanda que sigue cada uno de los productos pertenecientes a la familia de manera singular y grupal con el software StatFit, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 1.**

Productos de la familia con mayor número de ventas.

Código	Descripción	Distribución	$\lambda$
00002	GUANTES DE EXAMINACION MEDIUM X100	POISSON	242
00003	GUANTES DE EXAMINACION SMALL X100	POISSON	163

Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

En la Tabla 1., se observa que todos los ítems que pertenecen a la familia con mayor volumen de ventas siguen una distribución de Poisson. Se analizó también la distribución de la demanda de todos los productos en conjunto, dando como resultado una distribución de Poisson con una lambda de 323, por lo tanto, la simulación de la demanda se calculó en base a una distribución de Poisson de variables aleatorias. Para comprar las dos metodologías, se eligió trabajar con la simulación de eventos discretos en Excel. Este tipo de simulación ha sido ya utilizada por otros autores para comprobar la efectividad tanto de la metodología

DDMRP y TOC, obteniendo resultados claros y precisos que permitan tomar decisiones asertivas.

Como puede observarse en la Tabla 1., la unidad de medida es por caja, sin embargo, se observó en la recolección de la información que las unidades de medida solamente se respetaban al momento de la compra al proveedor externo, por este motivo se decidió trabajar en unidades como unidad de medida general. Se consideró a los ingresos por transferencia y a las compras como el flujo de entrada; y los egresos por transferencia y las ventas como el flujo de salida de productos.

El primer paso fue, establecer la situación inicial de la farmacia para poder comparar los resultados con la metodología que arroje mejores resultados, con el fin de analizar si la implementación aportará una mejora y permitirá administrar más eficientemente la bodega. Se identificaron las variables que cada metodología necesita para calcular resultados, por ejemplo, CDP (Consumo Diario Promedio), lead time del proveedor, media del consumo durante el período analizado, etc. Las variables fueron calculadas tomando en cuenta la información entregada por la empresa para un período de tres meses ya que el personal a cargo no tenía identificado con claridad dichas variables.

**Tabla 2.**

Resultados de indicadores de la situación actual de la bodega.

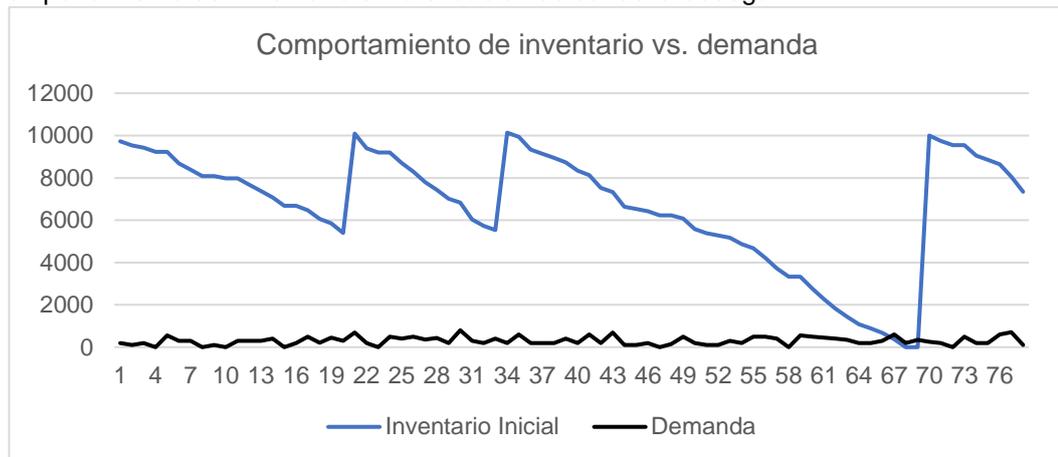
<b>Situación Inicial</b>	
Inventario Final	7238 UND
Nivel de Servicio	96%
Costo Promedio	\$792,16

Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

La Tabla 2., indica cómo la bodega opera actualmente. Al finalizar el período de tres meses, el inventario almacenado es de 7238 unidades en total; si bien el nivel de servicio no es bajo, se pretende llegar al 100%. El costo promedio es el costo promedio de la operación en general, es decir, el costo que tiene colocar cada orden de compra más el costo que tiene mantener el inventario en bodega hasta el siguiente requerimiento en promedio al día, como se observa el costo promedio de operar en tres meses fue de \$792,16.

**Figura 8.**

Comportamiento del inventario en la situación actual de la bodega.



Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

En la Figura 8., se observa cómo la bodega mantiene niveles de inventario altos de hasta 10000 unidades a pesar de que la demanda promedio es de 306 unidades. Mantener niveles altos de inventario no garantiza atender todos los pedidos recibidos, se observa en la figura que del día 67 al 70 la farmacia no pudo atender ventas por falta de stock lo que generó pérdida de ingresos y decremento del 4% en el nivel de servicio. Una vez identificada la situación real de la farmacia es importante analizar cuáles podrían ser las causantes de estos errores en la operación y tomar decisiones que permitan mejorar continuamente.

La primera metodología simulada fue DDMRP. Previo a iniciar la simulación, se identificaron las siguientes variables relevantes para del cálculo de datos tomando un histórico de la demanda 90 días y de la información brindada por la empresa en la que se realizó el caso de estudio. Las fórmulas y definiciones fueron tomadas del artículo Buffer de *Demand Driven MRP* publicado por Karol Ptak y Chad Smith en el año 2013.

- $\lambda$  (Lamba o Media) = 356 unidades
- CDP (Consumo Diario Promedio) = 117 unidades
- LT (Lead Time del proveedor) = 1 día
- MOQ (Cantidad Mínima de Pedido) = 100 unidades
- Ciclo de Pedido = 11 días
- Costo promedio del producto = \$0.24
- Factor de Lead Time = 0.75
- Factor de Variabilidad = 0.25

Con todas las variables necesarias, se calcularon las tres zonas con las que trabaja esta metodología para administrar el nivel de flujo neto de manera correcta. La zona roja está dividida en dos: la zona roja de seguridad y la zona roja base. A continuación, se muestran las fórmulas para calcular la zona roja.

$$\text{Zona Roja Base} = \text{CDP} * \text{LTD} * \text{Factor de Lead Time}$$

$$\text{ZRB} = 117 * 1 * 0.75 = 88 \text{ unidades}$$

$$\text{Zona Roja de Seguridad} = \text{ZRB} * \text{Factor de Variabilidad}$$

$$\text{ZRS} = 88 * 0.25 = 22 \text{ unidades}$$

La suma de las dos zonas calculadas da como resultado el tope de la zona roja, en este caso, el resultado es de 110 unidades. El tope de la zona roja es la zona “prohibida” o como su nombre lo dice “de seguridad” que alertará al administrador del inventario que el flujo neto de cierto ítem corre peligro de ser cero lo que se resume en pérdida de ventas.

El siguiente rango calculado, fue la zona amarilla. Esta zona es básicamente la cobertura del inventario en el buffer. Siempre que el flujo neto esté por debajo del tope de la zona amarilla, el administrador tendrá que colocar una orden de compra para reponer el inventario. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Zona Amarilla} = \text{CDP} * \text{LTD}$$

$$\text{Zona Amarilla} = 117 * 1 = 117 \text{ unidades}$$

La suma del tope de la zona roja y la zona amarilla dan como resultado el tope de la zona amarilla, por lo tanto, se deberá colocar una orden de compra cuando el flujo neto sea menor o igual a 227 unidades.

$$\text{Tope Zona Amarilla} = 110 + 117 = 227 \text{ unidades}$$

La zona verde fue la última zona calculada y es el nivel de inventario óptimo que debe tener el flujo neto para asegurar un nivel de servicio óptimo sin incurrir en altos costos de operación. Esta zona es el punto de referencia que determinará la frecuencia y la cantidad de

unidades a pedir siempre que el flujo neto sea menor al tope de la zona amarilla y es el valor mayor entre: el ciclo de pedido, el lead time del proveedor y la cantidad mínima de pedido (MOQ). A continuación, se calculan las tres variables:

$$\text{Frecuencia de Orden} = \text{CDP} * \text{Ciclo de Pedido}$$

$$\text{Frecuencia de Orden} = 117 * 11 = 1287 \text{ unidades}$$

$$\text{Tiempo de entrega (proveedor)} = \text{CDP} * \text{LTD} * \text{Factor de Lead Time}$$

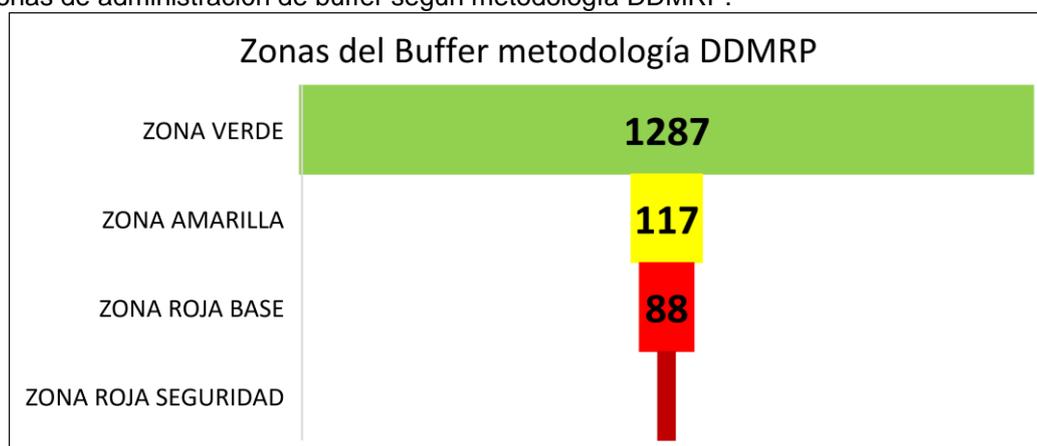
$$\text{Tiempo de entrega (proveedor)} = 117 * 1 * 0.75 = 88 \text{ unidades}$$

$$\text{Cantidad Mínima de Pedido (MOQ)} = 100 \text{ unidades}$$

Por lo tanto, la zona verde es igual a 1287 unidades. El tope de la zona verde es la suma del tope de la zona amarilla más la zona verde, es decir, el tope de verde es igual 1514 unidades. El tope de la zona verde permitirá colocar órdenes de compra sin generar sobre stocks ya que representa el límite total del buffer. A continuación, se muestra en la Figura 9 las zonas y topes de zonas calculadas dentro de las cuales se analizará la simulación para la metodología DDMRP.

**Figura 9.**

Zonas de administración de buffer según metodología DDMRP.



Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

El cálculo de zonas en TOC tiene una variación, es importante calcular un nivel de inventario inicial lo suficientemente bueno el cual representa la dimensión de cada zona, es decir, cada zona representa un 33% del buffer total. La fórmula del nivel de inventario inicial lo suficientemente bueno es la siguiente:

$$\text{Nivel de inventario inicial lo suficientemente bueno} = \text{CDP} * \text{LT} * \text{Factor de Seguridad}$$

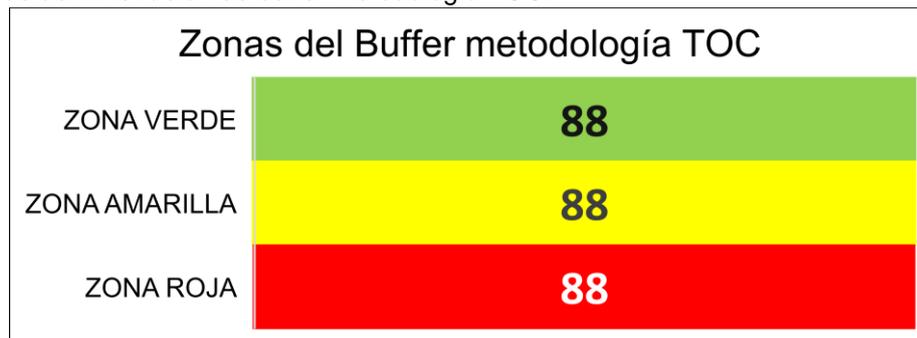
Por lo tanto;

$$\text{Nivel de inventario inicial lo suficientemente bueno} = 117 * 1 * 0.75 = 88 \text{ unidades}$$

El 33% del buffer total está representado por las 88 unidades. Los toques de cada zona son 88, 176 y 263 respectivamente. Si las existencias permanecen en rojo durante un período de tiempo igual al tiempo de reposición hasta ese punto de almacenamiento, el nivel de inventario objetivo cambia en un 33%, es decir, una banda de color (Kulraj, 2017, p 6). Se muestra gráficamente el buffer calculado para la metodología TOC. Es importante aclarar que para la simulación de TOC las zonas permanecieron estáticas ya que el tiempo de entrega del proveedor es igual a 1 día. Se muestra en la Figura 10.

**Figura 10.**

Zonas de administración de buffer metodología TOC.



Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

Una vez que las zonas fueron definidas para cada metodología, se calcularon las siguientes variables:

- Demanda: se generaron valores aleatorios que siguen una distribución de Poisson para simular la demanda. Para la metodología DDMRP se consideró un  $\lambda$  de 356 unidades y para TOC un  $\lambda$  de 117 (consumo diario promedio).
- Cantidad de inventario en tránsito: la cantidad en tránsito es la cantidad que está colocada en orden de compra al proveedor externo y tiene que ser múltiplo de 100 ya que la unidad de medida es 100 unidades por caja. Al tener esta condición de compra dentro del sistema, nuestro nivel de inventario tendrá sobre stocks siempre que se coloque una orden ya que no se podrá fraccionar la unidad de medida. La cantidad en tránsito está dada por la siguiente fórmula.

$$=SI(F.Netos_n \leq Tope\ Amarillo; MULTIPLO.SUPERIOR.MAT((Tope\ rojo - F.Netos_n); 100; 100); 0)$$

- Inventario inicial: inventario disponible al inicio de cada día. Se obtiene de sumando el inventario final del día y la cantidad de inventario en tránsito.

$$Inventario\ inicial_n = Inventario\ final_{n-1} + Cantidad\ en\ tránsito_n$$

- Flujo neto: es la cantidad de existencias diarias en el sistema, considera la cantidad en tránsito.

$$Flujo\ Neto_n = Cant.\ Tránsito_n + Inventario\ Inicial_n - Demanda_n$$

- Inventario final: stock real disponible al finalizar el día.

$$Flujo\ Neto_n = Inventario\ Inicial_n - Demanda_n$$

- Ventas perdidas: total unidades que no se pudieron vender al finalizar el día.

$$Ventas\ perdidas_n = SI(Inv.\ Inicial_n - Demanda_n \leq 0; Inv.\ Inicial_n - Demanda_n; "")$$

- Costo de comprar: valor total por n unidades compradas.

$$\text{Costo de comprar}_n = \text{Cant. Tránsito}_n * \text{Costo unitario}$$

- Costo de mantener el inventario: valor total por mantener n unidades en stock al finalizar el día.

$$\text{Costo de Mantener inventario}_n = \text{Inventario Final}_n * \text{Costo unitario de mantener}$$

- Costo total: valor total diario generado por la operación.

$$\text{Costo Total}_n = \text{Costo de comprar}_n + \text{Costo unitario de mantener}_n$$

- Costo Promedio: Promedio del costo total diario.

La simulación se desarrolló en Excel y se realizaron 50 réplicas para cada metodología. Para iniciar la simulación, se tomó el inventario final y la cantidad en tránsito del último día del histórico de datos 7238 y 0 unidades respectivamente. A continuación, se muestra la cabecera de la tabla donde se simularon los datos con todas las variables indicadas anteriormente.

Las gráficas completas del comportamiento del flujo neto y del inventario físico final se muestran en el Anexo 1. En la gráfica se detalla como el flujo de inventario se mueve a través de las zonas establecidas para la administración del buffer. Según los autores Smith y Ptak de la metodología DMMRP 2017 y Goldratt de la Teoría de las Restricciones 1984 es importante definir un tiempo para recalcular los buffers, es decir, como la demanda es una variable muy fluctuante y no puede controlarse, la administración tiene que prevenir esta variabilidad estableciendo nuevas zonas para evitar quiebres o sobre stocks.

La variable principal para recalcular el buffer es el tiempo de reposición, tiempo considerado desde que se coloca el pedido al proveedor y se recibe el producto en bodega. Para el caso en estudio no se consideró el recalcular del buffer debido al corto tiempo de reposición (1 día) que se maneja con el proveedor y a la falta de información que se tiene sobre el tiempo que le toma al proveedor mayorista importar los insumos médicos.

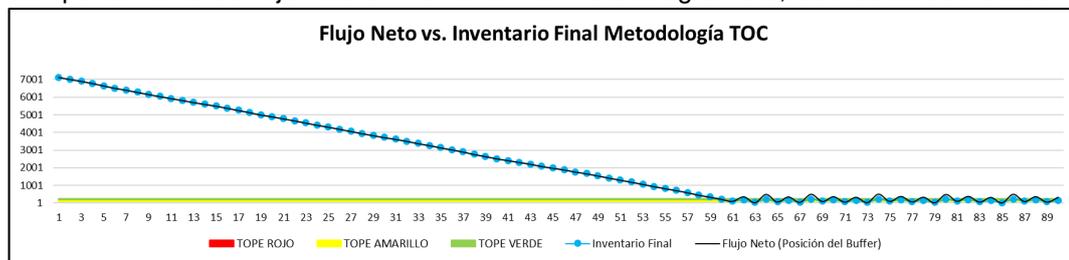
Se utilizó el software Minitab versión 2019 para comparar estadísticamente cuál de las dos metodologías tiene menor costo de operación. Una vez identificada la metodología más eficiente se comparó nuevamente con la información actual de la farmacia para determinar si la implementación genera una mejora.

## RESULTADOS

Los resultados para las dos metodologías mostraron una mejora en el nivel de servicio, costo promedio de operación y cantidad promedio de inventario almacenada al final del ejercicio. Como se explicó con anterioridad, la farmacia actualmente mantiene un sobre stock lo que ocasiona costos de operación elevados. Este sobre stock se puede visualizar en las Figuras 11 y 12 al momento de realizar la simulación, por un período de 20 y 60 días aproximadamente tanto en TOC como en DDMRP. La línea continua negra representa el flujo neto y la celeste al inventario final.

**Figura 11.**

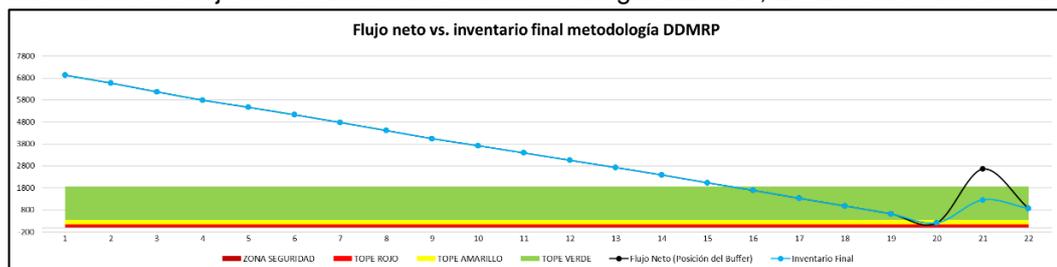
Comportamiento de flujo neto e inventario final metodología TOC, 60 días de sobre stock.



Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

**Figura 12.**

Movimiento de flujo neto e inventario final metodología DDMRP, 20 días de sobre stock.

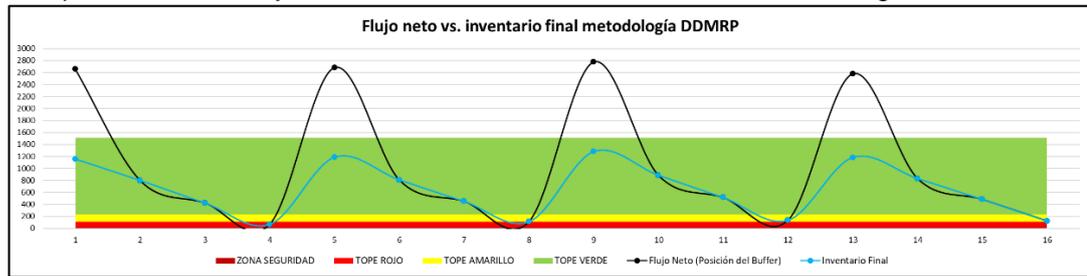


Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

Una vez que el sobre stock empieza a decrecer por la demanda diaria, se observa cómo el flujo neto y el inventario empiezan a posicionarse dentro de cada zona con mayor claridad. A continuación, se muestra la Figura 13 del resultado de la simulación desde el día 20 al 40.

**Figura 13.**

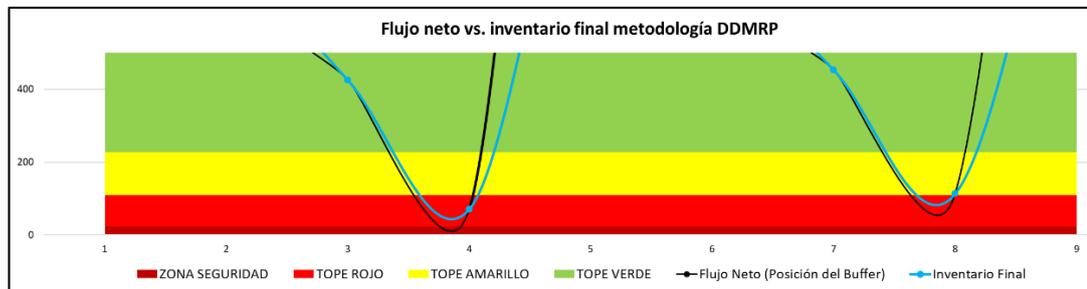
Comportamiento de flujo neto e inventario final del 25 al 40 día. Metodología DDMRP.



Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

**Figura 14.**

Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de 9 días. Metodología DDMRP.



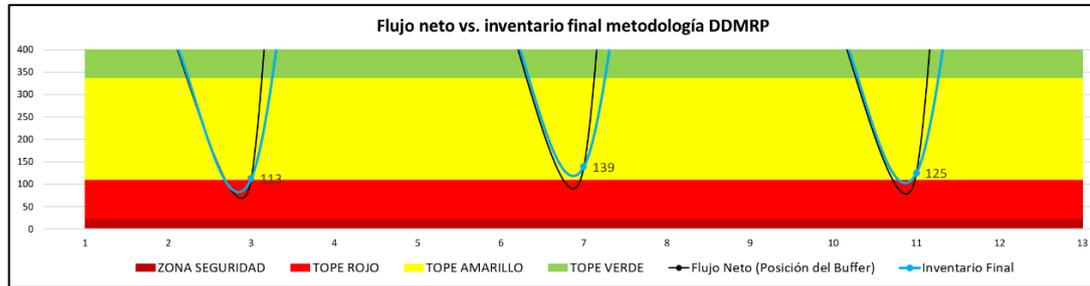
Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

La Figura 14., representa el comportamiento durante nueve días de la Figura 16. Se observa como el flujo neto cae hasta la zona roja de seguridad al cuarto día lo que lanza una alerta de reabastecimiento al administrador del buffer. La orden es colocada y el inventario crece nuevamente, pero, en esta ocasión se genera un sobre stock (observe la Figura 16.) este sobre stock es generado por la unidad de medida en la que se compra el producto analizado, es decir, siempre la cantidad de compra tiene que ser múltiplo de 100.

Conforme pasan los días el sistema va acoplándose y regularizándose de tal manera que el flujo neto y el inventario ya no llegan hasta la zona roja y fluctúan entre la zona amarilla y verde como se muestra en la Figura 15.

**Figura 15.**

Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de 13 días. Metodología DDMRP.

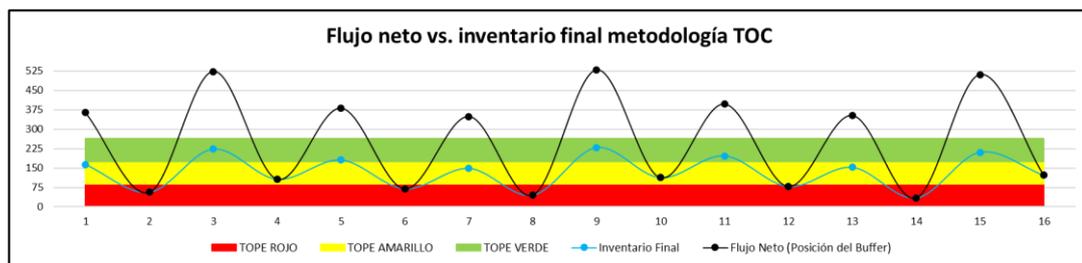


Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

El comportamiento del flujo neto e inventario final según los resultados obtenidos por la metodología TOC varían de manera significativa ya que el análisis se realizó con el consumo diario promedio (117) y no con la media de la muestra (356). La Figura 16 muestra el movimiento de estas dos variables durante un período de dieciséis días.

**Figura 16.**

Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de 16 días. Metodología DDMRP.

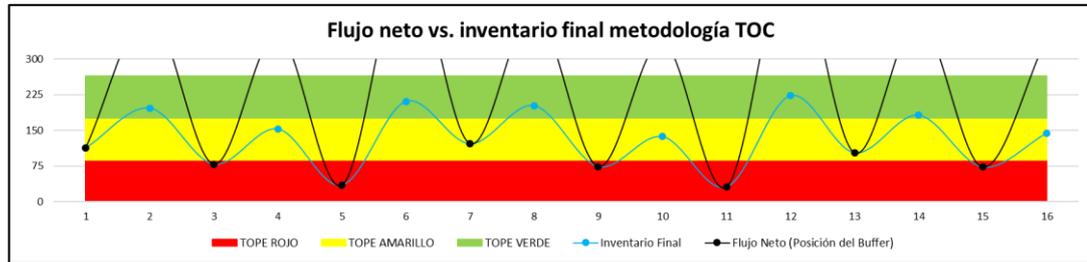


Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

Para el caso de la metodología TOC, vemos que la fluctuación del flujo neto es agresiva ya que de un día para el otro pasa de la zona verde a la zona roja. Este comportamiento se mantiene durante los días de proyección simulados y se muestra en la Figura 17.

**Figura 17.**

Comportamiento de flujo neto e inventario final, período final de simulación. Metodología TOC.

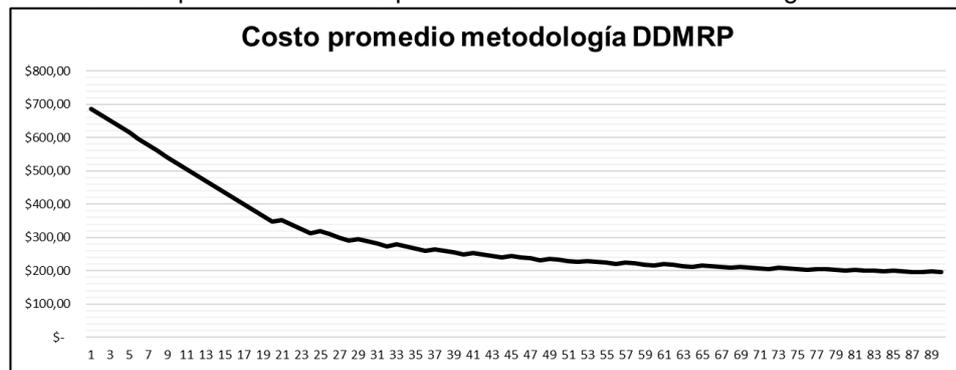


Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

Si bien las gráficas de cada metodología muestran diferentes comportamientos entre sí, es importante analizar los indicadores globales de cada sistema para poder elegir el mejor y analizar la mejora real que la farmacia tendría al implementar la metodología elegida comparando con la situación actual. Los indicadores que se midieron para cada método fueron el nivel de servicio, el inventario final promedio, el costo promedio de operación, días de agotados y número de pedidos realizados. Se promedió los costos totales para analizar la tendencia que siguen los datos y demostrar que estabilidad que tiene la simulación mostrados en las Figuras 18 y 19.

**Figura 18.**

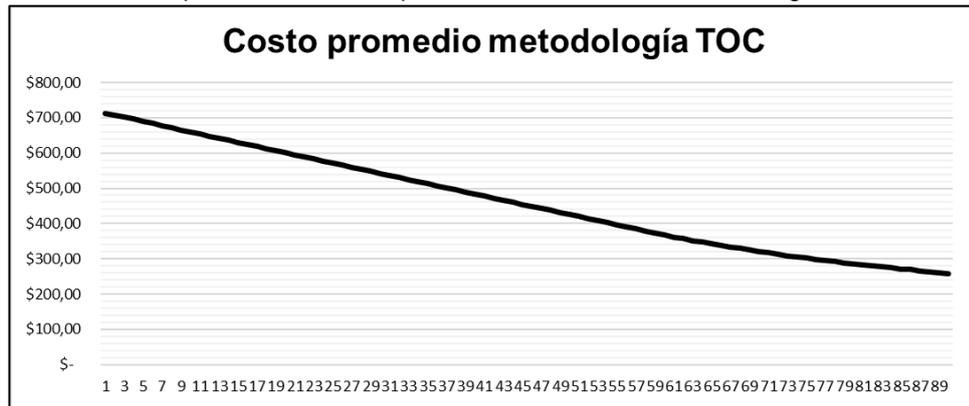
Tendencia de costo promedio durante período de simulación. Metodología DDMRP.



Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

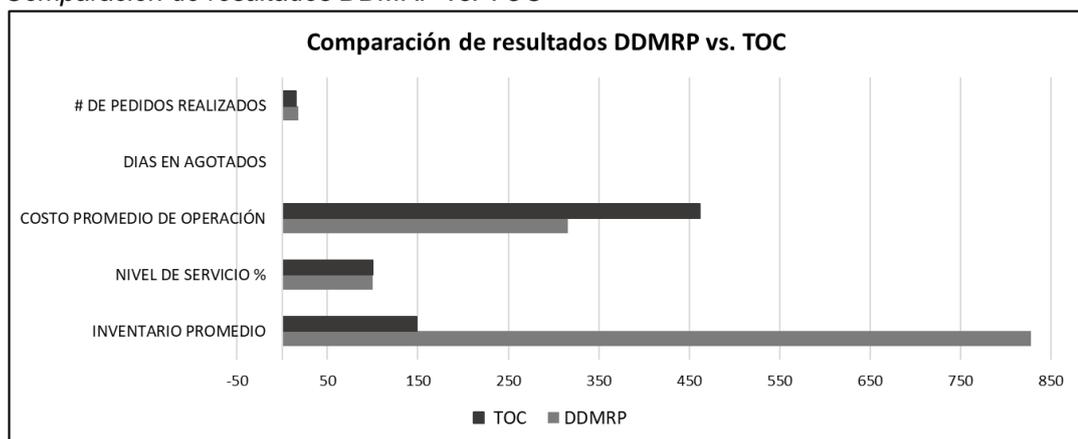
**Figura 19.**

Tendencia de costo promedio durante período de simulación. Metodología TOC



Fuente: Realizado por el autor para el caso de estudio.

Se realizó el análisis estadístico de Man-Whitney para comparar dos muestras independientes no pareadas ya que las distribuciones que siguen cada muestra no son normales, obteniendo un valor p de 0.036, valor que rechaza la prueba nula ( $H_0$ ) de que las dos metodologías son iguales y acepta la prueba alternativa ( $H_1$ ) demostrando que la metodología DDMRP representa un costo menor que la metodología TOC. Se muestran los valores promedio obtenidos después de la simulación.

**Figura 20.***Comparación de resultados DDMRP vs. TOC*

Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

**Tabla 3.**

Resultados para las metodologías DDMRP y TOC.

	<b>DDMRP</b>	<b>TOC</b>
<b>INVENTARIO PROMEDIO</b>	827	149
<b>NIVEL DE SERVICIO %</b>	100	100
<b>COSTO PROMEDIO DE OPERACIÓN</b>	315,84	461,55
<b>DIAS EN AGOTADOS</b>	0,00	0,00
<b># DE PEDIDOS REALIZADOS</b>	18,00	15,00

Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

En base a la información que se detalla en la Tabla 3 y Figura 20, se elige la metodología DDMRP para comparar con la situación actual de la farmacia y analizar si es necesario realizar la implementación de este nuevo sistema de administración. Se realizó el análisis estadístico de Man-Whitney para comparar dos muestras independientes no pareadas ya que de igual manera que el análisis anterior la distribución de estas dos muestras no son normales. El valor p obtenido fue de 0.00 mismo que rechaza la hipótesis nula (H0) de igualdad entre muestra y afirma que la muestra DDMRP es menor a la muestra actual.

**Tabla 4.**

Comparación de resultados metodología DDMRP vs. situación actual de la empresa.

	<b>SITUACION INICIAL</b>	<b>DDMRP</b>
<b>INVENTARIO PROMEDIO</b>	6381	827
<b>NIVEL DE SERVICIO %</b>	96,00	100
<b>COSTO PROMEDIO DE OPERACIÓN</b>	792,16	315,84
<b>DIAS EN AGOTADOS</b>	3	0
<b># DE PEDIDOS REALIZADOS</b>	6	18

Fuente: Realizada por el autor para el caso de estudio.

En la Tabla 4., se muestran los valores comparados, la reducción del inventario y del costo promedio de operación fueron un %12.96 y un %39.87 respectivamente a pesar de que el número de órdenes de compra colocadas al proveedor es el triple. El nivel de servicio incrementó un 4% lo que significa que la totalidad de pedidos fueron cubiertos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el estudio, se elige la metodología DDMRP como alternativa de la administración de inventarios misma que mejora un %12.96 en el nivel de inventario promedio, un %39.87 en el costo promedio de operación y un nivel de servicio del 100%.

Se puede concluir que los métodos tradicionales de administrar los inventarios son capaces de controlar hasta cierto punto la variabilidad del sistema, sin embargo, el nivel de exigencia y personalización que exigen los clientes al momento de adquirir un producto es más versátil que hace algunos años, los clientes quieren más opciones, a menor costo e inmediatamente, por esta razón es importante que busque constantemente innovar para para no perder posicionamiento de mercado.

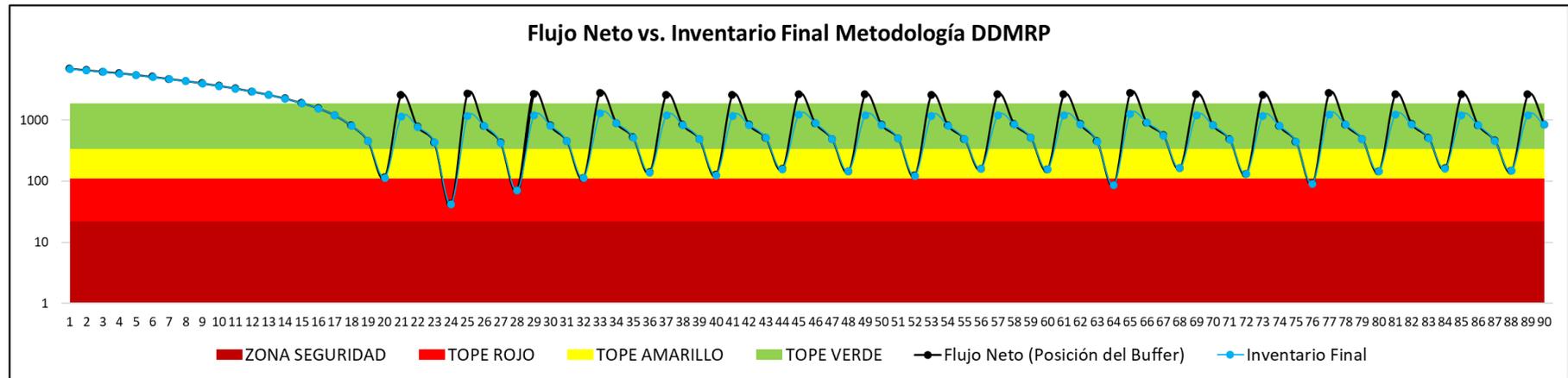
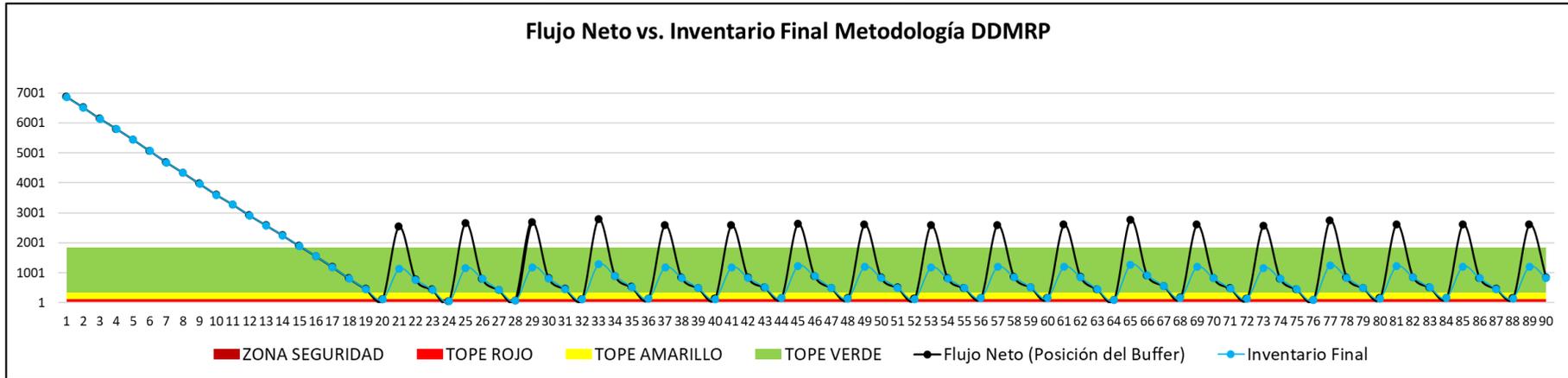
La industria farmacéutica es una de las pocas industrias que no necesita invertir en grandes campañas publicitarias ya que se desenvuelven en el ámbito médico, pero si necesitan cubrir de manera inmediata y asegurar la disponibilidad de insumos médicos ante las necesidades de salubridad que el mundo atraviesa constantemente. Por esta razón la cadena de suministros debe garantizar el flujo de productos e información relevante de manera que puedan manejarse volúmenes adecuados sin incurrir en grandes cantidades de dinero y de ser posible cubrir con el 100% de la demanda en el momento indicado.

Es importante que las empresas rompan paradigmas y permitan la implementación y el uso de nuevas metodologías, no todos los cambios tienen que representar un costo elevado y; si el costo es representativo, es importante que se vea como una inversión y no como un gasto. Las dos metodologías planteadas para el estudio son relativamente nuevas, poco difundidas y muy efectivas, es por eso, que las empresas no deben ser reacios al cambio ya que las ventajas que ofrecen son amplias.

Se recomienda realizar nuevamente la simulación investigando un poco más a fondo el tiempo de reposición que tienen los proveedores (mayoristas) para tener un panorama más real y poder determinar ciclos en los que es necesario recalcular las zonas del buffer.

**Anexo 1**

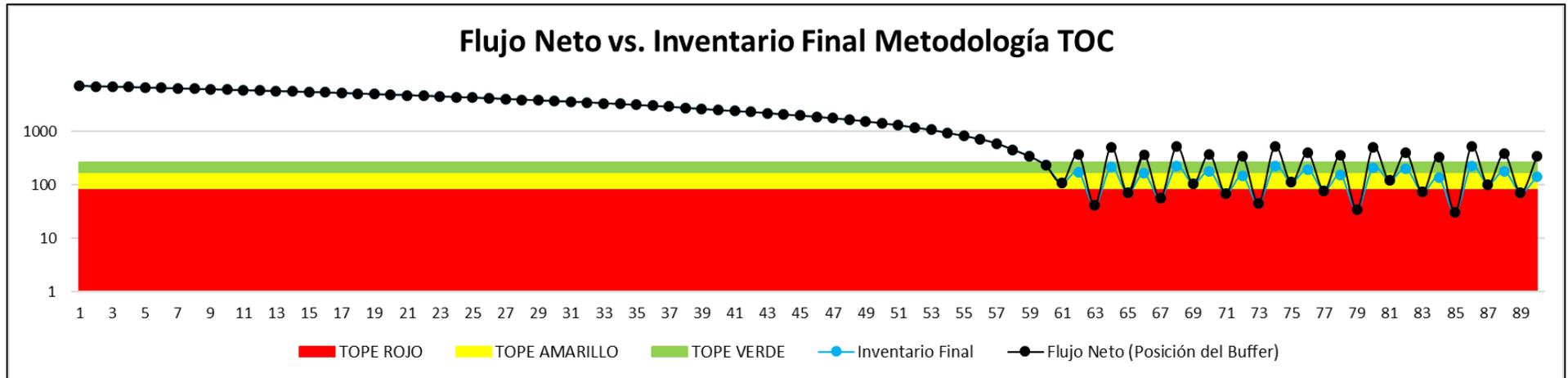
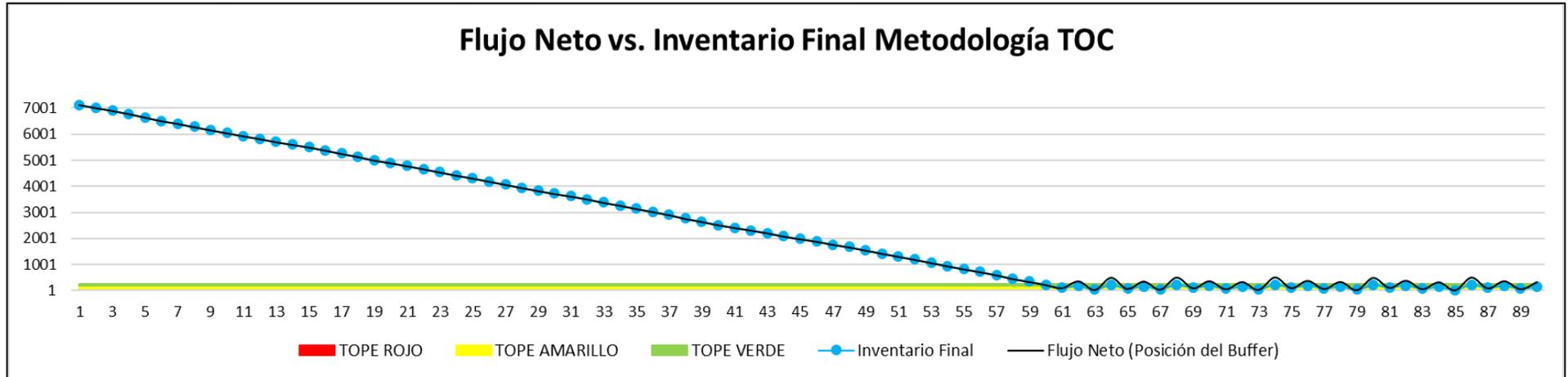
Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de noventa días. Metodología DDMRP.



Nota: Gráfica de la simulación en escala logarítmica.

**Anexo 2**

Comportamiento de flujo neto e inventario final por un período de noventa días. Metodología DDMRP.



Nota: Gráfica de la simulación en escala logarítmica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barón Mora, A., López Tobar, J., & Soto Mejía, J. A. (2012). Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación, *Scientia Et Technica*, 17(51), 100–106.
- Carrión G, (2020). Análisis de la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) en la industria como un sistema de mejoramiento continuo. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar],Página web Universidad Andina Simón Bolívar.  
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/7269/1/T3153-MBA-Carrion-Analisis.pdf>
- Kulraj, P. (2017). 100% availability with less than half the inventory, Vector Consulting.  
<https://www.vectorconsulting.in/research-publications/consumer-goods-and-retail/100-availability-with-less-than-half-the-inventory/>
- Lee, Hau L.; Padmanabhan, V.; Whang, S. (1997). The bullwhip effect in Supply Chain. *Journal of Operations Management*, 38(3), 93-101. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(96\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(96)00098-8)
- Ortiz, E. R. (2019). Diseño del proceso de recociliación táctica entre el modelo operativo y el proceso de planeación de ventas y operaciones a mediano plazo por medio de la metodología Demand Driven Adaptive Enterprise (DDAE) [Tesis de maestría, Universidad EAFIT] Repository EAFIT.  
<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/16268?show=full>
- Poveda, D. (noviembre 2013). La frontera del conocimiento en diseño, planeación y ejecución de cadenas de suministro. *Approlog.org*.  
<http://approlog.org/demand-driven-mrp-ddmrp-la-frontera-del-conocimiento-en-diseno-planeacion-y-ejecucion-de-cadenas-de-suministro/#.Yld-2-jMLrc>  
 cadenas de suministro. Demand Driven MRP, DDMRP.  
[https://www.aciicolombia.org/uploads/1/6/8/4/16840490/flujo\\_materiales\\_david\\_poveda.pdf](https://www.aciicolombia.org/uploads/1/6/8/4/16840490/flujo_materiales_david_poveda.pdf)
- Demand Driven Institute. (2013). Explicación y simulación del buffer de Demand Driven MRP.  
<https://www.demanddriveninstitute.com/articles>
- Smith, C. (2017). Precisely Wrong All the Time – The Real Story Behind the Bullwhip Effect. Demand Driven Institute.  
[https://139b7ba6-57f5-40f4-a9cb-3c134e42ba5c.filesusr.com/ugd/ade6e6\\_4d0ea26c6ee547cca006651d8f7f7b1f.pdf](https://139b7ba6-57f5-40f4-a9cb-3c134e42ba5c.filesusr.com/ugd/ade6e6_4d0ea26c6ee547cca006651d8f7f7b1f.pdf)
- Demand Driven Institute. (2011). Lean Finds a Friend in Demand Driven MRP ( DDMRP).  
[https://139b7ba6-57f5-40f4-a9cb-3c134e42ba5c.filesusr.com/ugd/ade6e6\\_305ad7c435834a5aa55326912ca1d55a.pdf](https://139b7ba6-57f5-40f4-a9cb-3c134e42ba5c.filesusr.com/ugd/ade6e6_305ad7c435834a5aa55326912ca1d55a.pdf)
- HAL Sience Ouverte. (2021, 8 de abril). Demand Driven MRP: Literature review and research issues.

- <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03193163>
- González, S. *A simulation approach to define the more suitable inventory planning methodology for distribution environments*. Demand Driven Institute.  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03193163>
- Smith, C. (2019). *Precisely Wrong Numbers & Approximately Right Ranges*. Demand Driven Institute.  
[https://www.demanddriveninstitute.com/\\_files/ugd/390972\\_1e68caf177444c0ebbe95bb4de11f6cc.pdf](https://www.demanddriveninstitute.com/_files/ugd/390972_1e68caf177444c0ebbe95bb4de11f6cc.pdf)
- Gutiérrez, V., Vidal, C. (2008). Modelos de Gestión de Inventarios en Cadenas de Abastecimiento: Revisión de la Literatura. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (43), 134-149.
- Soria, E. (2021). *Modelo de gestión basado en la metodología DDMRP para el aprovisionamiento de materiales en la industria del calzado* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Universidad Técnica de Ambato.  
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32260>
- Ducrot, L., Ahmed, Ehtesham. (2019). *Investigation of Potential Added Value of DDMRP in Planning Under Uncertainty at Finite Capacity*. MIT.  
[https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/121296/Ducrot\\_Ahmed\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/121296/Ducrot_Ahmed_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cárdenas D., Urquiaga A. (2010). Logística de operaciones: Integrando las decisiones estratégicas para la competitividad. *Revista Cubana de Ingeniería*. 1(1), 57-61.
- Navarro, A. *The New Adaptive Enterprise: Rethinking the way for not being precisely wrong*. Demand Driven Institute.  
[https://www.demanddriveninstitute.com/\\_files/ugd/390972\\_67fce04d1ef94ead96f6789285405481.pdf](https://www.demanddriveninstitute.com/_files/ugd/390972_67fce04d1ef94ead96f6789285405481.pdf)
- Watson, K., Blackstone, J., Gardiner, S. (2006, June 12). The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. *Journal of Operations Management*, 25. 387-402.
- Kim, C.O., Jun J., Baek J.K., Smith R.L., Kim Y.D. (2004, July 7). Adaptive inventory control models for supply chain management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26. 1184–1192
- Roark, G., Acosta, E., Urrutia, S., Queiroz, J., Chiodi, F. (2020, Oct). *Aplicación de la teoría de restricciones a un proceso productivo alimenticio por medio de simulación de eventos discretos*, 1,1-7.

