



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales ICADE

ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA DEMAND DRIVEN MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING (DDMRP) Y SU IMPLANTACIÓN EN LA PLANTA FARMACÉUTICA DE SERVIER S.L.

Clave: 201916073

Curso: 4º E4-A

Autora: Ángela Blanco González

Director: Manuel Francisco Morales Contreras

RESUMEN

Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) es una nueva metodología de planificación y gestión de inventario que nace en 2011 para poder hacer frente a las ineficiencias que presentaban otros sistemas tradicionales como el MRP, y para cubrir las necesidades de un nuevo entorno operacional más ágil e impredecible. Los objetivos principales de la metodología son reducir el exceso de variabilidad de la cadena de suministro, limitar la propagación del efecto látigo, y lograr reducir los niveles de inventario. Para ello, hace uso de los buffers, como pieza clave de la metodología, que actúan como puntos de desacople en la cadena, y reabastecen de inventario según la demanda real que se esté generando en cada momento. La metodología DDMRP está compuesta de cinco componentes principales: el posicionamiento estratégico de los buffers, el perfil y nivel de inventario del buffer, los ajustes dinámicos, la planificación basada en la demanda, y la ejecución visible y colaborativa.

A través del estudio del caso práctico, presente en este trabajo, sobre la implementación de DDMRP en la cadena de suministro de la farmacéutica Servier S.L., se observa el dinamismo que ofrece este sistema, así como la aportación de un modelo de gestión de órdenes de pedido más visual que sigue la Ecuación de Flujo Neto y tiene en cuenta parámetros como: el consumo promedio diario, el lead time, y el inventario disponible. De esta forma, se ha podido analizar cómo, establecer un buffer dentro de la cadena de producción de Servier, tiene como resultado una mejora en el nivel de servicio para el cliente, así como una reducción de los tiempos de espera y del inventario almacenado.

PALABRAS CLAVE

DDMRP, cadena de suministro, inventario, buffer, demanda, variabilidad, lead times.

ABSTRACT

Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) is a new inventory planning and master production scheduling methodology, that was created in 2011 to address the inefficiencies of traditional systems such as MRP, and to meet the needs of a new, more agile and unpredictable operational environment. The main objectives of the methodology are to reduce excess variability in the supply chain, limit the propagation of the bullwhip effect, and reduce inventory levels. For this purpose, it makes use of buffers, as key elements of the methodology, which act as decoupling points in the chain, to replenish inventory according to the actual demand that is being generated at any given time. The DDMRP methodology is comprised of five main components: strategic buffer positioning, buffer profile and levels, dynamic adjustments, demand-driven planning, and visible and collaborative execution.

Through the case study, presented in this paper, based on the implementation of DDMRP in the supply chain of the pharmaceutical company Servier S.L., the dynamism offered by this system is observed as well as the fact that it provides a more visible approach to managing working orders by following the Net Flow Equation, and taking into account parameters such as: average daily usage, lead time, and available inventory. In doing so, it has been analysed that it is possible to establish a buffer within Servier's production chain, to improve the level of service for the customer, as well as a achieve a reduction of lead times and the amount of stored inventory.

KEY WORDS

DDMRP, supply chain, inventory, buffer, demand, variability, lead times.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO	10
2.1 Objetivos generales.....	10
2.2 Objetivos específicos	11
3. METODOLOGÍA.....	11
4. MARCO TEÓRICO DDMRP	13
4.1 Introducción al modelo	13
4.2 Historia y antecedentes de los sistemas de planificación logística	14
4.2.1 MRP (Material Requirements Planning)	15
4.2.2 DRP (Distribution Requirements Planning)	16
4.2.3 Teorías Lean	16
4.2.4 TOC (Theory of Constraints).....	17
4.2.5 Six Sigma.....	18
4.2.6 Innovación	19
4.3 Características del modelo DDMRP.....	20
4.3.1 Efecto látigo.....	20
4.3.2 Distribución Bi-modal.....	23
4.3.3 Position & Pull.....	25
4.3.4 Definición de un buffer	26
4.4 Componentes de DDMRP.....	28
4.4.1 Posicionamiento de los buffers	29
4.4.2 Perfil y nivel del buffer	31
4.4.3 Ajustes dinámicos	33
4.4.4 Planificación basada en la demanda.....	34
4.4.5 Ejecución visible y colaborativa	35
5. ACTUALIDAD	38
5.1 Operativa tradicional de la gestión de stock respecto DDMRP.....	38

5.2	Gestión de las cadenas de suministro durante la crisis Covid-19.....	42
5.3	Nuevas tendencias en las cadenas de suministro.....	44
6.	DESARROLLO DEL CASO PRÁCTICO	46
6.1	Introducción	46
6.2	Contexto actual de la industria farmacéutica	46
6.3	Breve descripción de la farmacéutica Servier S.L.....	48
6.3.1	Portafolio de productos	49
6.3.2	Cadena de suministro de Servier.....	50
6.3.3	Distribución de la planta.....	51
6.3.4	Fase de transformación.....	52
6.4	Simulación de DDMRP en la cadena de suministro de Servier S.L.....	55
6.4.1	Posicionamiento de los buffers	55
6.4.2	Perfil y nivel del buffer	56
6.4.3	Ajustes dinámicos	58
6.4.4	Planificación basada en la demanda.....	61
6.4.5	Ejecución visible y colaborativa	64
6.5	Discusión sobre los resultados obtenidos	65
7.	CONCLUSIONES	67
8.	LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	69
9.	BIBLIOGRAFÍA	70
10.	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Los seis pilares de DDMRP (Fuente: Ptack y Smith, 2016)	14
Figura 2: Efecto Látigo (Fuente: Ptack y Smith, 2016)	22
Figura 3: Fuentes de Variabilidad (Fuente: Ptack y Smith, 2016)	23
Figura 4: Distribución Bimodal (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	24
Figura 5: Distribución bimodal vs DDMRP (Fuente: Ptack y Smith, 2016)	24
Figura 6: Representación gráfica de un buffer (Fuente: Ptack y Smith, 2016)	27
Figura 7: Los cinco componentes de DDMRP (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	28
Figura 8: Representación gráfica NFE (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	35
Figura 9: Alertas visuales (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	36
Figure 10: Mapa presencia Servier en el mundo (Fuente: documentación Servier).....	49
Figura 11: Cadena de Suministro Servier S.L. (Fuente: Elaboración propia).....	51
Figura 12: Distribución Planta Servier S.L. (Fuente: documentación Servier).....	51
Figura 13: Cadena de Producción Servier S.L. (Fuente: Elaboración propia)	53
Figura 14: Recursos y holding times (Fuente: Elaboración propia)	54
Figura 15: Perfil buffer de recubrimiento (Fuente: Elaboración propia)	58
Figura 17: Tamaño del buffer - Caso 1 (Fuente: Elaboración propia).....	59
Figura 16: Perfil del buffer - Caso 1 (Fuente: Elaboración propia).....	59
Figura 18: Perfil del buffer - Caso 2 (Fuente: Elaboración propia).....	60
Figura 19: Tamaño del buffer - Caso 2 (Fuente: Elaboración propia).....	60
Figura 20: Simulación final del modelo DDMRP (Fuente: Elaboración Propia)	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios de posicionamiento de buffers (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	30
Tabla 2: Rango Factor Lead Time (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	32
Tabla 3: Factor de Variabilidad (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	32
Tabla 4: Cálculo zonas del buffer (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	33
Tabla 5: Orden de prioridad de alertas (Fuente: Ptack y Smith, 2016).....	36
Tabla 6: Comparativa sistemas MRP vs DDMRP (Fuente: Elaboración propia)	42
Tabla 7: Portafolio de Productos Servier S.L. (Fuente: responsable logística Servier)..	50
Tabla 8: Parámetros del buffer (Fuente: Elaboración propia)	57
Tabla 9: Dimensionamiento del buffer para 22 periodos (Fuente: Elaboración propia)	62
Tabla 10: NFE para 22 periodos (Fuente: Elaboración propia)	63

GLOSARIO

ADU	Average Daily Usage
BMS	Building Management System
BOM	Bill Of Materials
CPD	Consumo Promedio Diario
CRP	Capacity Resource Planning
DAF	Demand Adjustment Factor
DLT	Decoupled Lead Time
DRP	Distribution Requirements Planning
DC	Distribution Centers
ERP	Enterprise Resource Planning
JIT	Just In Time
KPI	Key performance Indicator
LTF	Lead Time Factor
MOQ	Minimum Order Quantity
MPS	Master Production Schedule
MRP	Material Requirements Planning
NFE	Net Flow Equation
PNP	Plan de Necesidades de Producción
POS	Point Of Sale
TOC	Theory of Constraints
TOG	Top Of Green
TOR	Top Of Red
TOY	Top Of Yellow
VUCA	Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años, el comportamiento general del mercado, y en especial de las cadenas de producción, ha evolucionado con mucha rapidez (Esmaeilian, Behdad, y Wang, 2016). La gestión eficiente de las operaciones y la planificación en la cadena de suministro son herramientas clave para lograr una ventaja competitiva y sostenible a largo plazo (Chan y Burns, 2002). No obstante, para muchas empresas, este objetivo se ha convertido en un verdadero desafío dada la situación de cambio y volatilidad que presenta la sociedad actualmente.

Las cadenas de suministro se han vuelto más complejas y cambiantes, se han extendido por todo el mundo, y la variabilidad ha llegado para quedarse (Velasco Acosta, Mascle, and Baptiste, 2020). Actualmente, las empresas trabajan con un mayor número de proveedores y operadores logísticos que se encuentran deslocalizados y a diferentes escalas. Esto conlleva a una creciente dificultad a la hora de gestionar todas las interacciones dentro de las redes de producción y distribución para llegar al cliente final.

Por otro lado, los productos son cada vez más complejos, con mayor personalización y con un ciclo de vida más corto. Esto se refleja en un mercado más exigente y con una menor tolerancia al tiempo de espera. La previsión de la demanda, elemento indispensable dentro de las cadenas de suministro, también se ve muy alterada por estas variables. En la mayoría de las empresas, se produce una falta de sincronización entre la oferta y la demanda con picos de inestabilidad que generan sobreabastecimiento o roturas de stock. La exactitud de los pronósticos es fundamental, y su empeoramiento, hará que aumenten los márgenes de error y se agraven los costes financieros para la empresa.

En este sentido, las metodologías tradicionales de tipo *push* como el MRP quedan obsoletas e inadecuadas a la hora de hacer frente a estas nuevas realidades (Lee y Billington, 1992). Las empresas, por tanto, deben dar un salto a metodologías que protejan, den visibilidad, y maximicen el flujo de materiales e información relevante (Ptak y Smith, 2016). Frente a esta situación, y dada la falta de metodologías de planificación y ejecución que se adecuen a estas nuevas necesidades, nace como respuesta la metodología de Planificación de Necesidades de Material Basada en la Demanda (DDMRP, por sus siglas en inglés).

Demand Driven Material Requirements Planning es una metodología que establece, como punto diferenciador, una serie de “buffers” en distintos puntos estratégicos de la cadena

de producción que se comportan como puntos de reabastecimiento de stock y de desacople de las posibles variaciones que presente la cadena de suministro. DDMRP proporciona una reducción del denominado “efecto látigo” (bullwhip effect, en inglés) que disminuye, de manera significativa, los cambios inesperados en la demanda y sus repercusiones a largo plazo en la cadena de suministro. Con esta metodología, las empresas son capaces de llegar a un equilibrio entre factores como: las entregas a tiempo, el nivel de servicio, la reducción de los plazos de entrega, los niveles óptimos de inventario y los objetivos financieros (Miclos, 2016).

En este trabajo se pretende, por tanto, hacer una revisión académica para poder entender en profundidad en qué consiste la metodología DDMRP y cuáles son sus principales componentes. Se valorarán cuáles son las aportaciones fundamentales que ofrece este nuevo sistema frente a otros más tradicionales como el MRP y, por último, se realizará el estudio de un caso práctico de la posible implantación de la metodología DDMRP en la cadena de suministros de fármacos de la empresa Servier S.L. El análisis y estudio del caso práctico llevará a identificar las posibles mejoras alcanzadas en los niveles de inventario y en el servicio ofrecido a los clientes.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

2.1 Objetivos generales

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental, analizar, de forma descriptiva y dentro de un marco teórico, la metodología Demand Driven Material Requirements Planning con un estudio detallado de sus componentes y funcionalidades. Además, se aportará una visión comparativa respecto al tradicional sistema de MRP mediante el análisis de los puntos fuertes y débiles que presentan cada una de las metodologías.

En la segunda parte, se detallará el funcionamiento habitual de los sistemas de producción dentro de la industria farmacéutica y se procederá a la realización de un caso práctico mediante hipótesis sobre la implantación del sistema DDMRP dentro de la cadena de suministro de la farmacéutica Servier S.L.

2.2 Objetivos específicos

- Estudiar y sintetizar el marco conceptual en referencia al sistema DDMRP, definir sus precedentes y los pilares en los que se fundamenta.
- Analizar los cinco componentes de la metodología y cuándo utilizar cada uno de ellos.
- Entender qué es un buffer, cómo se posicionan y dimensionan y cuál es su funcionalidad.
- Proporcionar un entendimiento común de los factores claves de éxito en las cadenas de suministro de hoy en día.
- Analizar las deficiencias de los antiguos métodos de planificación y ejecución de cadenas de suministro.
- Aportar una visión comparativa de DDMRP frente al tradicional sistema MRP.
- Definir el funcionamiento de la cadena de producción de Servier S.L.
- Realizar una simulación del modelo propuesto a fin de mostrar la operabilidad de la metodología DDMRP.
- Evaluar la sensibilidad de los parámetros propuestos y establecer las conclusiones del estudio.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo un análisis en profundidad de la metodología DDMRP y poder dar respuesta a los objetivos planteados en esta investigación, se sigue, en primer lugar, una metodología basada en la revisión bibliográfica de la literatura de distintos artículos tanto académicos como no académicos. Para los artículos académicos, se ha buscado información en los archivos de bases de datos especializadas como Google Scholar, EBSCO, etc. Para la literatura no académica, se han realizado búsquedas sobre temas de actualidad de carácter divulgativo y artículos escritos por expertos en el sector. Un ejemplo de ello es la página web oficial del Demand Driven Institute (2017) que ha servido como la mayor fuente de información en relación a la metodología DDMRP. El Demand Driven Institute es una organización dedicada al desarrollo y la proliferación de estrategias impulsadas por la demanda en la industria, que fue creada en 2011 por Carol Ptack y Chad Smith, fundadores de la propia metodología.

Para la segunda parte de la investigación, se utilizará la metodología de estudio de caso para el desarrollo del ejercicio práctico de cómo implementar el modelo DDMRP en la cadena de suministro de una empresa. El estudio de caso es una metodología que resulta beneficiosa cuando se pretende conocer el “cómo” y el “por qué” de los fenómenos y las cosas (Yin, 2017). A partir de los casos, se pueden desarrollar proposiciones como puntos de partida para la elaboración de diferentes teorías (Eisenhardt, 2007). Para el propio desarrollo del estudio de caso se hace uso de las siguientes metodologías:

1. Se ha realizado una revisión de la documentación del sector y la industria, así como de la propia empresa, que permite entender el contexto en el que opera la industria farmacéutica y ofrece las bases para la elaboración de un guion para las entrevistas.
2. Realización de entrevistas cualitativas semiestructuradas al directivo responsable de la planta farmacéutica de Servier en Madrid. Una entrevista semiestructurada es una metodología cualitativa de obtención de información no directiva ni guionizada sino abierta a entender la opinión y perspectiva del entrevistado (Taylor, S.J. y Bogdan R., 1987).
3. Establecimiento de hipótesis sobre la implementación del modelo a través de distintos métodos cuantitativos tras el análisis y recopilación de datos de los planes de ventas y producción de los fármacos de Servier.
4. Por último, se ha realizado un trabajo de campo con visitas a las instalaciones de la planta farmacéutica de Servier para analizar en profundidad, y de primera mano, los procesos involucrados en la cadena su suministro. Todo ello ayudará a comprobar la validez y exactitud de la implementación del modelo.

4. MARCO TEÓRICO DDMRP

4.1 Introducción al modelo

El éxito de cualquier empresa de producción y distribución de bienes reside en una buena planificación de la producción, es decir, fijar un plan de trabajo dinámico, de tal forma que se cubran las necesidades de ventas establecidas teniendo en cuenta los recursos y capacidades existentes en cada uno de los eslabones de la cadena, así como también los tiempos de entrega marcados.

A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes teorías de planificación y gestión del inventario que han servido como prácticas relevantes para el posterior desarrollo de metodologías como DDMRP. De este modo, DDMRP nace como una evolución de estos procedimientos tradicionales ante la necesidad de gestionar un entorno mucho más volátil e impredecible.

La planificación de las necesidades de material impulsada por la demanda o DDMRP es una metodología cuyo objetivo es gestionar la cadena de suministro a partir de la demanda generada por los clientes (Miclos, 2016). Es un sistema de planificación y ejecución diseñado para modelar, planear y gestionar las cadenas de suministro con el fin de promover y proteger el flujo de materiales e información relevantes (Ptak y Smith, 2016).

Para que esta estrategia resulte eficiente, se debe producir una sincronización entre la planificación y la ejecución de la cadena de suministro junto con el consumo de materiales. Esto lleva a las empresas a centralizar sus esfuerzos y objetivos en la gestión de la demanda en lugar de poner el foco en el inventario. De esta manera, son capaces de sentir y adaptarse a los cambios del mercado, volviéndose más ágiles (Ptak & Smith, 2011).

Los pilares y teorías en los que se fundamenta DDMRP son: MRP (Material Requirement Planning), DRP (Distribution Requirements Planning), Lean, Six Sigma y TOC (Theory Of Constraints). DDMRP recoge las principales ventajas de cada uno de estos métodos, junto con innovaciones propias que permiten potenciar los resultados, para adaptarlos a las nuevas necesidades de variabilidad del mercado (Miclos, 2016).

Implementar la metodología DDMRP puede parecer sencillo y con capacidad de generar grandes retornos en poco tiempo, sin embargo, se trata de una metodología muy disruptiva que supone un cambio en la mentalidad de todos los participantes dentro de la cadena de

suministro (Kumar y Meade, 2002). Todas las hipótesis con las que se trabajaba hasta ahora dejan de ser válidas para dar paso a otras mucho más dinámicas y centradas en la demanda inmediata que se está generando. Por ello, resulta imprescindible conocer, en primer lugar, cuáles son los fundamentos principales de las teorías precedentes a DDMRP.

4.2 Historia y antecedentes de los sistemas de planificación logística

DDMRP se fundamenta en un conjunto de metodologías tradicionales de planificación de cadenas de suministro y gestión de inventarios que han sido utilizadas durante las últimas décadas y que han servido como experiencia e inspiración para sustentarla. Estos factores han dado lugar a una metodología muy completa que nace a partir de la teoría estándar mundial para la planificación, programación y ejecución, conocida como Material Requirements Planning (MRP) (Wallace, 1984), sobre la que se basa principalmente. Además, a esta teoría se le incorporan aspectos muy relevantes sobre la Planificación de Requisitos de Distribución (DRP) (Martin, 1985) junto con la eficiencia de técnicas de reducción de despilfarro y visibilidad en la ejecución, que ofrecen teorías como Lean (Ohno, 1988), Theory Of Constraints (TOC) (Goldratt, 1990) o Six Sigma (Deming, 1993). Todo ello a través de un carácter innovador, basado en la demanda real y añadiendo especificaciones propias como el establecimiento de buffers, que ofrecen una herramienta de planificación muy eficiente y adaptada a las necesidades de la Nueva Normalidad actual (Miclos, 2016).

En la figura 1, se observan los 6 pilares sobre los que se sustenta la metodología DDMRP que serán brevemente explicados a continuación, para entender cuáles son las bases y el contexto en el que se fundamenta la metodología.

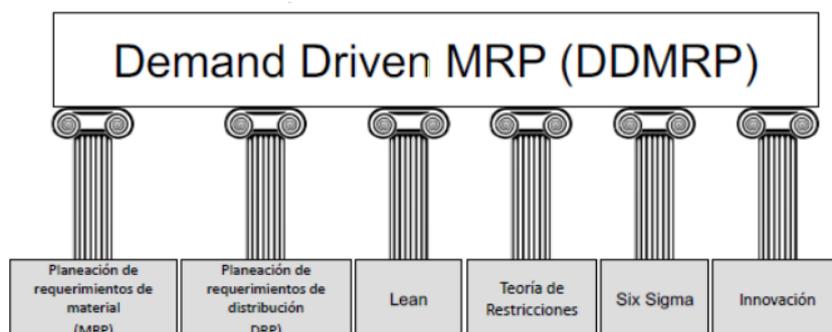


Figura 1: Los seis pilares de DDMRP (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

4.2.1 MRP (Material Requirements Planning)

MRP es uno de los métodos de planificación de cadena de suministro más famosos y extendidos hasta la fecha (Miclos, 2016). Aunque surgió a finales de la década de 1960 (Koh, Saad y Jones 2002), se popularizó en los años 50 por Joseph Orlicky (1975) y surge para subsanar las insuficiencias de los métodos clásicos a la hora de administrar eficientemente la demanda interna de inventarios. A partir de ese momento, se ha convertido en el método de planificación y control de la producción más utilizado por las empresas (Mohebb, 2007).

Los objetivos de la metodología MRP son, principalmente, minimizar el inventario, optimizar los costes, coordinar las actividades de producción y de compra, y garantizar la disponibilidad de los recursos necesarios para que se lleve a cabo la producción. Además, se focaliza en transferir el MPS (Master Production Schedule) a los componentes y órdenes de pedido que sean necesarios para poder satisfacer la producción (Orlicky, 1975). El MPS o Plan de Necesidades de Producción (PNP) consiste en un plan detallado de las necesidades existentes de producción, es decir, la cantidad de productos terminados que van a ser elaborados según el pronóstico de la demanda, teniendo en cuenta los recursos disponibles y el tiempo de fabricación (Diccionario APICS 12th, 2008).

Sin embargo, los sistemas MRP presentaban algunas limitaciones como una falta de integración con el sistema de planificación y gestión de las capacidades de la empresa o una falta de retroalimentación con las demás áreas de la empresa (Olhager, 2013). Esto hizo que, con el paso de los años, la propia metodología MRP sufriese variaciones que la han ido adaptando al contexto actual de las empresas y del entorno. Estas evoluciones se vieron reflejadas en 1980 en el sistema MRPII (Manufacturing Resource Planning) que tenía en cuenta las restricciones de capacidad productiva. Posteriormente, se introdujo el MRPIII (Money Resource Planning) que engloba las funciones financieras de la empresa (Wilson, 2016).

Finalmente, en 1990 todas estas innovaciones dieron lugar al sistema ERP (Enterprise Resource Planning), que ofrece una visión más comercial incorporando las funciones de marketing, ventas, contabilidad...etc, presentando una mayor transparencia de los datos a nivel global de la compañía y favoreciendo un mismo sistema de toma de decisiones (Optiproerp, 2019).

4.2.2 DRP (Distribution Requirements Planning)

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan las compañías de fabricación de productos es cómo lograr el inventario mínimo a la vez que se mantienen tiempos de reposición de inventario bajos (R.Tersine, 1988). Para ello, se desarrolló la metodología DRP (Distribution Resource Planning) con el objetivo de crear un mecanismo de control del inventario.

DRP es una técnica que favorece la integración de la planificación de los inventarios de distribución con la planificación de la fabricación, para garantizar que los materiales adecuados estén disponibles en la ubicación correcta y que las mercancías se entreguen de la manera más eficiente (Martin, 1983). Este sistema logra proporcionar información que identifica fechas relevantes como la fecha de pedido o de reabastecimiento de los requisitos de material necesarios, de tal forma que se unifique toda esta información dentro del sistema de distribución y el producto final pueda llegar a tiempo a los centros de distribución (DC) o puntos de venta (POS) para satisfacer la demanda del cliente final.

Sin embargo, el sistema DRP presenta muchas carencias que dificultan su uso hoy en día. Un ejemplo de ello son los altos niveles de variabilidad de la demanda que hacen que planificar las operaciones de fabricación para que se ajusten a la cantidad de producto necesario para cada punto de distribución sea muy complicado. Además, dentro de la metodología DRP no se valoran los costes y limitaciones existentes dentro de la red logística y no se tienen en cuenta los tiempos de espera y planes creados por los fabricantes, proveedores o clientes. Por lo tanto, no se considera un sistema viable para la planificación de hoy en día, trabaja con stocks de seguridad fijos, visibilidad limitada y cero colaboración (A. Alessandri, 2011).

4.2.3 Teorías Lean

La metodología Just-In-Time (JIT) se desarrolló en una de las plantas de Toyota Production Systems en 1970 y ha evolucionado a lo que se conoce hoy en día como las teorías de Lean manufacturing de tipo pull-flow (J. Lamothe, 2018).

Según el diccionario APICS, esta metodología se define como “Filosofía de producción que enfatiza la minimización de la cantidad de recursos mediante la eliminación de desechos y simplificación de los procesos” (APICS Dictionary 12th Edition, 2008). En

otras palabras, las teorías de tipo Lean, ponen el foco en el inventario como fuente de desperdicio y en lograr disminuir ese nivel de inventario para que sea lo menor posible. Lean es un modelo de gestión de la producción basado en la mejora continua y en la eliminación de despilfarros dentro de una organización.

Lean identifica y corrige todos aquellos obstáculos que se puedan dar en el proceso de producción y muestra aquellos problemas relacionados con el inventario que se encuentran ocultos (Sugimori, 1977). Con ello, logra suavizar todas las operaciones y acortar los tiempos de cada una de las fases del sistema para obtener una cadena de producción lo mayor eficaz posible (Ohno,1988).

Sin embargo, el uso de esta metodología Lean puede derivar en una cadena de suministro mucho más frágil ante la volatilidad del entorno y con un menor margen de adaptación ante posibles imprevistos o cambios en la cadena. Por esta razón, la mayoría de las empresas, no optan por implementar este tipo de metodologías dado que estas soluciones suelen resultar extremadamente sensibles ante cambios en la demanda, provocando picos inesperados o roturas de stock. Aunque en un principio fueron diseñadas para ser metodologías más ágiles y flexibles para las compañías, éstas mismas se pueden ver perjudicadas si se trata de un entorno VUCA (Cox & Blackstone, 2003). En este sentido, las soluciones Lean solo serán implementadas en ciertos tramos estratégicos de la cadena de suministro, mientras que el resto de los procesos, serán gestionados a través de metodologías más tradicionales de tipo *push* como el MRP.

Como veremos más adelante, la metodología DDRMP, implementa una serie de innovaciones como los llamados “buffers” que juegan un papel muy importante teniendo en cuenta las lecciones aprendidas de la metodología Lean. Estos buffers absorben los efectos de la variabilidad de forma bidireccional (tanto del lado de la oferta como de la demanda), reduciendo el riesgo a la hora de ejecución y asegurando una mayor fiabilidad de stock en todo momento.

4.2.4 TOC (*Theory of Constraints*)

El surgimiento de teorías como la de Just- In- Time (JIT) o Theory of Constraints nace ante la necesidad de las empresas de adaptarse a un entorno mucho más cambiante. Para ser capaces de competir en el actual mercado, las empresas de manufacturing deben

incrementar el número de pedidos a la vez que reducen sus niveles de inventario y tiempo de espera (Boyd y Gupta, 2004). Varios autores destacan que, el uso de la metodología TOC, incrementa notablemente los beneficios a la vez que minimiza el inventario, los lead time y el tiempo de ciclo de pedido, garantizando una ventaja competitiva (Mabin y Balderstone, 2003).

La Teoría de las Restricciones fue desarrollada en 1980 por M. Goldratt (1988) y es una filosofía basada en el principio de que todo sistema posee al menos una barrera u obstáculo que limita la capacidad de rendimiento y generación de beneficio (Goldratt y Cox 1992). Por tanto, se trata de una metodología que se centra en los cuellos de botella y la ubicación estratégica del inventario con el objetivo de identificar, proteger y dirigir ese punto débil de la cadena, que puede generar una restricción que afecte al resto de los eslabones. Por el contrario, esta existencia de limitaciones representa, según esta teoría, una oportunidad de mejora. TOC concibe las limitaciones como algo positivo en vez de negativo, ya que determinan el desempeño y la eficacia de un sistema de cara a evaluar posibles mejoras (Goldratt, 1988).

A partir de esta metodología, DDMRP toma conceptos relevantes para su posterior desarrollo como es el caso de los cuellos de botellas, aquellos puntos críticos y estratégicos de inventario que deben estar protegidos de cara a promover el flujo. A partir de ahí, DDMRP desarrolla esta protección por medio de stocks de seguridad dinámicos (buffers) y plazos de entrega que varían acorde a varios factores de la oferta y demanda. Esto garantiza la integridad y fluidez de la cadena en todo momento.

4.2.5 Six Sigma

Six Sigma es una metodología con enfoque en la gestión de la calidad que se originó en Motorola en 1980 (Antony, 2002) por el ingeniero Bill Smith y posteriormente se popularizó gracias a la empresa General Electric (Pande, 2002).

Se trata de una estrategia de mejora y optimización de los procesos que se focaliza en reducir la variabilidad para conseguir eliminar los defectos o fallos existentes en la cadena de suministro respecto a los requisitos fijados por el cliente (Harry y Schroeder, 2000). La ausencia de fallos en los procesos implica que todo producto o servicio tiene valor y que, por tanto, aumenta la rentabilidad y la productividad de la organización.

El nombre de Six Sigma viene dado por la desviación típica que representa la propia variabilidad del proceso y cuyo objetivo es que se encuentre siempre dentro de los límites y requisitos establecidos por el cliente. Para determinar esta variabilidad, se calculan cuántas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso y los objetivos del cliente (Snee, 1999).

En otras palabras, la variabilidad que pueda sufrir un proceso da lugar a errores que a su vez desembocan en mayores riesgos y defectos en los productos. Toda esta cadena tiene como resultado un empeoramiento del nivel de servicio y satisfacción del cliente final. Si se trabaja para reducir esta variabilidad, Six Sigma puede lograr reducir los costes de producción y aumentar los beneficios financieros.

Por último, resulta relevante destacar que el proceso Six Sigma suele ser utilizado por las empresas como una herramienta de reparación. Esto quiere decir que, por lo general, utilizan esta metodología únicamente para cambiar o mejorar aquellos procesos que no estén funcionando correctamente (Antony y Banuelas, 2002).

DDMRP recibirá mucha influencia de Six Sigma a la hora de controlar la variabilidad del proceso, procurando un método de mejora continua para un mejor funcionamiento y eficacia del modelo.

4.2.6 Innovación

Se entiende la innovación como el sexto pilar sobre el que se sustenta la metodología DDMRP porque sin innovación, realmente esta metodología no estaría aportando nada de valor a lo que ya se venía realizando hasta ahora en términos de gestión de inventarios y cadenas de suministro. DDMRP propone, por tanto, elementos innovadores como son el uso de buffers, la ecuación de flujo neto o los factores de ajustes dinámicos. Gracias a estas nuevas aportaciones, DDMRP se convertirá en la metodología más adecuada para la gestión de cadenas de suministro en entornos operacionales de mucha variabilidad, donde es necesaria una respuesta muy rápida ante cambios inesperados de la demanda.

4.3 Características del modelo DDMRP

El objetivo principal de la metodología DDMRP es lograr una mejora en el control del inventario. Esto deriva en unos menores costes en la cadena de suministro, menores errores a la hora de realizar estimaciones de la demanda, mejora del rendimiento en picos de variabilidad o estacionalidad y cumplimiento de los niveles óptimos de servicio al cliente.

Con el uso de esta metodología, una empresa pasa a estar mejor posicionada de cara a enfrentar la volatilidad del sistema y ajustar los niveles de inventario para lograr un ahorro en costes, sin bajar el nivel del servicio al cliente. Esto a su vez, mejora el flujo de información y visibilidad de la cadena simplificando el trabajo de planificación de las necesidades de material.

Se trata de un nuevo concepto que evalúa, desde una visión estratégica, cuáles son los puntos críticos de la cadena de suministro o de la jerarquía de la BOM. La BOM hace referencia a al conjunto de piezas que se van ensamblando para crear el producto final incluyendo los componentes y subcomponentes que lo forman, así como las cantidades requeridas para cada una de ellas (Chung, 1994). A partir de ese análisis, se pueden identificar cuáles serían los puntos estratégicos dónde se situarían los buffers de reabastecimiento de producto. Como veremos más adelante, otra de las grandes novedades que aporta este sistema es ser capaz de mostrar de una manera mucho más visual, cuáles son las acciones más críticas o inmediatas a realizar por orden de prioridad. Esto deriva en una planificación mucho más ordenada y eficiente donde se reduce el margen de error y se actúa con mayor rapidez y flexibilidad ante los imprevistos en la demanda.

4.3.1 Efecto látigo

La gestión de la cadena de suministro es un proceso complejo en el que entran a formar parte muchos participantes. Desde que se recibe el producto inicial hasta que se entrega al cliente una vez procesado, pasan por la cadena diferentes agentes como proveedores, fabricantes, distribuidores, vendedores y clientes. Todos ellos con diferentes recursos y capacidades, así como tiempos de entrega determinados que han de ser sincronizados de

manera eficiente de tal forma que se cumpla con los compromisos de plazos acordados y nivel de servicio óptimo para el cliente final.

De esta forma, cada participante de la cadena tiene una visión parcial de la demanda, así como un control directo únicamente en algunas fases específicas de la cadena de suministro. Esto conlleva a que se produzcan pequeñas modificaciones en cuanto a las previsiones estimadas para cada uno de los procesos. Al tratarse de una cadena en la que todos los componentes se encuentran interrelacionados y muy dependientes entre sí, cualquier cambio que se produzca en uno de sus eslabones puede generar un gran efecto a posterior en el resto de las actividades de la cadena.

Este fenómeno se conoce como “bullwhip effect” o efecto látigo. Se trata de un concepto que hace referencia a “pequeños cambios en la demanda que provocan una gran cantidad de movimientos en toda la cadena de suministro generando exceso o falta de inventario.” (Lee, Padmanabhan y Whang, 1997). Estas ampliaciones exponenciales de pequeñas variaciones en la demanda provocan que se propague el efecto a lo largo de toda la cadena generando retrasos y deficiencias para el resto de las agentes de la cadena de suministro (Cox y Blackstone, 1992).

Para paliar este desajuste, proveedores, fabricantes y distribuidores deben contar siempre con un margen de seguridad de stock que les garantice flexibilidad en caso de que se produzca una alteración en el curso de fabricación y distribución de un producto. Sin embargo, este aprovisionamiento de inventario se multiplica exponencialmente de tal forma que cuando llega al fabricante, la demanda se ha alejado completamente de la realidad. Esto deriva en un aumento de recursos para incrementar la capacidad de producción y un gasto innecesario en la compra de materias primas para cumplir con la nueva demanda.

Como se muestra en la Figura 2, la transferencia y amplificación de la variabilidad se da en ambas direcciones y tiende a ser peor según aumenta la complejidad de los procesos. Cuantos más agentes o procesos tenga la cadena de suministro peor será el efecto observado (Ptack y Smith, 2016).

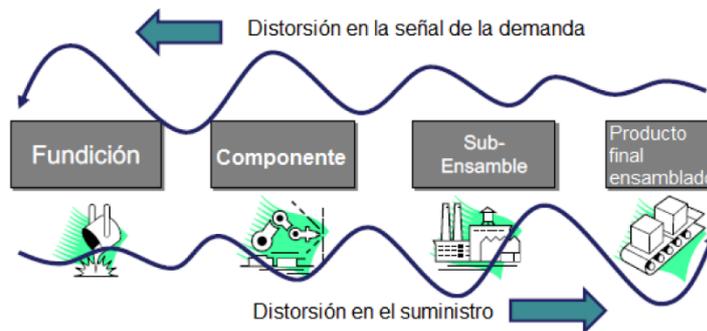


Figura 2: Efecto Látigo (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Algunos autores como Lee (1997) identificaron cinco causas principales del efecto "bullwhip". Entre ellas destacan: la estacionalidad, la escasez de la oferta, los plazos de entrega, los pedidos en lotes y las variaciones de precios. Por otra parte, Smith and Smith (2011) explicaron que la variabilidad a nivel de las SKU sea probablemente baja y manejable, pero esa acumulación a lo largo de todo el proceso de producción crea retrasos y reduce el nivel de servicio. La acumulación y amplificación de la variabilidad son los mayores enemigos para el flujo de información y de materiales relevantes, por lo que es necesario diseñar un sistema que detenga o mitigue la transferencia y amplificación de la variabilidad.

En el contexto de las operaciones, existen distintos tipos de variabilidad que ponen en juego la estabilidad de la cadena de suministro y de los procesos que la alimentan.

- **Variabilidad de la demanda:** se trata del tipo de variabilidad más común especialmente en el entorno VUCA en el que vivimos. Se origina cuando se generan muchas fluctuaciones que se salen del patrón de demanda establecido y por lo tanto afectan a las estimaciones de cantidad de producto para ser fabricado.
- **Variabilidad de suministro:** hace referencia a interrupciones en la red de suministro debido a un problema con los proveedores, cambios en el lead time o en las órdenes mínimas de pedido (MOQ). Esto genera un sobreabastecimiento de material en las fábricas y almacenes.
- **Variabilidad operacional:** este tipo de variabilidad se fundamenta en parones en las líneas de producción debido a razones técnicas o fallos de la maquinaria. Los procesos dejan de ser eficientes y se trabaja a un ritmo más lento de lo habitual.
- **Variabilidad de la gestión:** se atribuye a cambios en la política de la empresa o en los equipos responsables del área de producción. Ciertas decisiones

estratégicas de la compañía pueden ocasionar inestabilidad y cambios en la cadena.

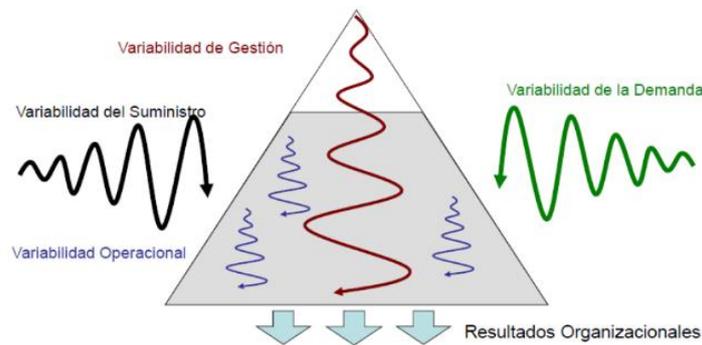


Figura 3: Fuentes de Variabilidad (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Hasta ahora, ninguna técnica de gestión y planificación de cadena de suministro había tenido en cuenta el efecto látigo ni incorporaba en sus análisis las soluciones para atenuarlo. Por el contrario, DDMRP se presenta como el mayor sistema amortiguador del efecto látigo ya que se focaliza en la reducción de la variabilidad de la cadena a través de la incorporación de “buffers” o puntos de desacoplamiento. Esto hace que los procesos se vuelvan independientes y por tanto no se propague el efecto a lo largo de la cadena.

4.3.2 Distribución Bi-modal

En muchas ocasiones, las empresas a la hora de hacer una gestión eficiente de su inventario se encuentran con problemas como el desabastecimiento de inventario o las roturas de stock. Otra problemática muy común, es la que se conoce como *Bi-modal distribution*, en inglés. Se trata de un fenómeno que se genera como reflejo de la mala gestión del inventario y explica por qué muchas compañías sufren de exceso de inventario lo que les genera altos costes de almacenamiento y bajadas en los niveles de servicio (Ptak y Smith, 2016).

La Figura 4 muestra un esquema de lo que sería una distribución bi-modal. El punto B refleja una posición en la que existe un exceso de inventario lo que genera una necesidad de mayor capacidad de almacenamiento y recursos para su procesado. Por el contrario, el punto A hace referencia a un nivel de inventario demasiado bajo en la que la empresa experimenta escasez y se producen menores ventas. Teniendo en cuenta la existencia de

estos dos puntos, es fundamental analizar, para cada empresa, cuál es ese rango óptimo de inventario que se encuentra entre ambos puntos A y B.

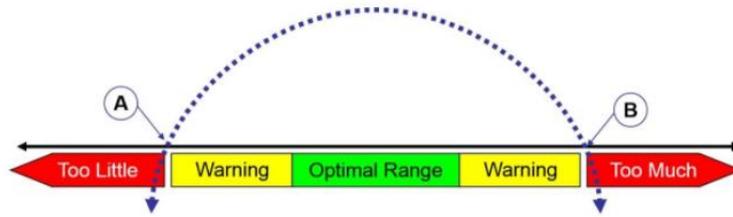


Figura 4: Distribución Bimodal (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Por lo general, la gran mayoría de inventario, no se suele concentrar en estos niveles óptimos, sino que tiende a oscilar dentro los rangos más extremos especialmente cuando se utilizan sistemas de planificación tradicionales como el MRP. En una encuesta del Demand Driven Institute, el 88% de las empresas afirmaron que experimentaban este patrón de inventario bimodal.

La Figura 5, muestra la diferencia entre la distribución del inventario con un sistema tradicional de MRP (gráfica de la izquierda) respecto a lo que ofrece DDMRP (gráfica de la derecha).

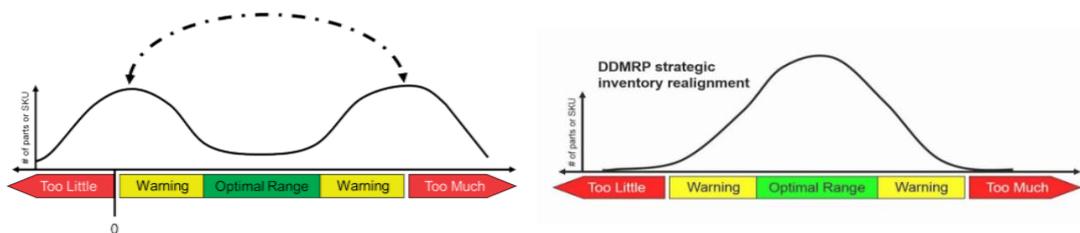


Figura 5: Distribución bimodal vs DDMRP (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

El objetivo de DDMRP es lograr disminuir el inventario de tal forma que se ajuste al rango óptimo y no se produzcan desajustes y oscilaciones hacia los extremos de la gráfica. Para ello, DDMRP se encarga de identificar aquellas partes o SKU más relevantes o estratégicas, las cuales permitirán reducir los lead times y la variabilidad. Además, según veremos más adelante, gracias a DDMRP se pueden establecer alertas de orden de prioridad de reposición a través de los buffers. De esta forma se logra un control más

eficiente del consumo de inventario que se está haciendo y se evitan las roturas de stock gracias a los márgenes de seguridad que aportan los buffers.

Como resultado, el coste de inventario de la compañía tiende a disminuir dado que los buffers tienen menos margen de reservas que los tradicionales sistemas MRP, se mejoran los niveles de servicio y se mitiga el “nerviosismo del sistema” característica inherente de todos los sistemas MRP y que tiene como consecuencia el “efecto bullwhip” descrito anteriormente.

4.3.3 Position & Pull

Hasta ahora, todos los sistemas tradicionales de planificación de cadenas de suministro estaban sustentados en una metodología de tipo *push* basada principalmente en pronósticos o en un itinerario determinado de trabajo. Estos pronósticos de ventas servían como entrada para la generación de planes maestros de producción (MPS) en los que se coordinaba la compra de materias primas con los recursos humanos y materiales disponibles. En los sistemas *push*, una orden de trabajo no era llevada a cabo hasta que se produjese una necesidad por parte del consumidor final que necesitara ser satisfecha a través de la producción de un bien o servicio.

La finalidad de esta metodología era asegurar el suministro de productos anticipándose a la demanda y permitiendo que las máquinas y los procesos nunca sufrieran parones y se utilicen a máxima capacidad para reducir los costos. Según Miclos (2016), la metodología que más se ajusta a los sistemas de producción tipo *push* es el MRP.

Sin embargo, hoy en día, las metodologías de tipo empujar y promover (*push and promote*) resultan obsoletas a la hora de lidiar con las nuevas realidades. Por esta razón, es fundamental que se dé un salto a metodologías que protejan y maximicen el flujo de materiales e información relevante, requisitos indispensables para gestionar las cadenas de suministros en ambientes altamente variables, volátiles y complejos como los de hoy (Ptak y Smith, 2016). Las empresas deben de ser capaces de cambiar su mentalidad para adoptar las nuevas reglas centradas en la eficiencia y alinearse con el nuevo modo de operación *Position and Pull* basado en la demanda real en vez de en pronósticos (Hopp y Spearman, 1996).

La mayor diferencia que ofrecen los sistemas tipo *pull* frente a los procesos *push*, es que, en este caso, es el propio cliente o proveedor el que genera una orden de producción ante la propia necesidad de satisfacer su escasez actual de bienes o servicios. La señal proveniente del cliente es enviada a las diversas etapas del proceso de producción de forma muy visual para determinar lo que debe producirse y cuándo debe entregarse el producto (Hopp y Spearman, 1996; Schroeder, 2010). De esta forma, en ningún caso se produce exceso de inventario dado que solo se produce aquello que realmente tiene una demanda real.

En definitiva, la metodología DDMRP apuesta por un sistema de tipo *pull* basado en la demanda real y no la futura, que rompe con las reglas tradicionales que se habían seguido hasta ahora y busca el flujo constante de la información en cada una de las etapas del proceso de producción mediante los inputs generados por la demanda de los clientes. Para lograr este objetivo, DDMRP monitorea la demanda real de forma sincronizada y hace uso de los “buffers” como puntos de reabastecimiento del inventario donde se ejecutan esas órdenes de reposición sobre el consumo real.

4.3.4 Definición de un buffer

Para entender correctamente el funcionamiento de la metodología DDMRP, es fundamental analizar previamente el concepto de “buffer” dado que se trata de la pieza clave entorno a la que se desarrolla esta metodología.

Por lo general, las cadenas de suministro son estructuras muy complejas en las que participan distintos agentes cada uno de ellos con sus propios recursos y tiempos de espera (Velasco, 2020). Estas entidades interdependientes llevan a su vez distintos procesos o etapas que quedan conectadas a través de un buffer o amortiguadores de inventario. De esta forma, un buffer se puede entender como un punto de desacoplamiento de los distintos procesos dentro de una cadena de suministro por los que pasa un producto haciendo que estos no guarden dependencia entre sí (Thürer, 2020). En la Figura 6 se puede apreciar la representación típica de un buffer DDMRP y sus tres zonas que veremos más adelante en el apartado *4.4.2 Perfil y Nivel del buffer*.

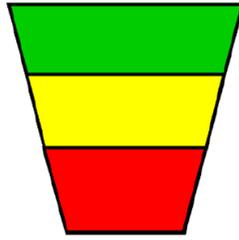


Figura 6: Representación gráfica de un buffer (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Estos buffers resultan imprescindibles para reducir la variabilidad ocasionada por cambios inesperados en la demanda. Además, sirven como un elemento de contención frente al efecto látigo que se va propagando a lo largo de la cadena, protegiendo, de este modo, todo el flujo de materiales e información.

Otra de las funcionalidades de los buffers es ser encargados de impulsar la creación de órdenes de pedido a lo largo de toda la cadena de suministro. Para ello, el buffer establece distintos niveles de inventario basados en la demanda real de pedidos de clientes y calcula cuáles son los niveles óptimos de inventario que cada buffer debe disponer para ser capaz de mitigar la variabilidad y reducir las posibles roturas de stock. Con este sistema, se logra ajustar de forma automática la capacidad de autoabastecimiento de los buffers evitando sustentar la gestión del inventario en estimaciones de la previsión de la demanda que generen inestabilidad y nerviosismo en la cadena.

Como veremos más adelante, en cada punto de desacoplamiento, el sistema utiliza una fórmula especial de ecuación de flujo neto para calcular las órdenes de suministro y mejorar la visibilidad de toda la cadena por medio de generación de alertas. De esta forma, los planificadores están preparados en todo momento de cara a futuros riesgos del flujo que requieran la intervención inmediata.

Con todas estas funcionalidades, el objetivo final de estos buffers es lograr lead times de producto muchos más cortos. Esta comprensión tiene implicaciones inmediatas en el nivel de servicio al cliente y en los inventarios (Ptak y Smith, 2016). De este modo, se persigue que el lead time de los productos terminados no dependa de la toda la estructura de materiales sino únicamente de la última secuencia de la cadena sin proteger por un buffer. Este término se conoce como Decoupled Lead Time (DLT) y queda definido como "la cadena de tiempo de plomo acoplado acumulativo más largo en la estructura del producto de un artículo manufacturado" (Ptak y Smith, 2016).

El acortar los tiempos de entrega, tiene un impacto directo en el nivel de inventarios y el margen de seguridad de stock que debe tener una empresa. Este impacto puede ser positivo, en principio, dado que, a menores tiempos de entrega, se reducen más los niveles de inventario de seguridad (necesitas poco tiempo para recibir tus materiales por lo que puedes disminuir la cantidad que tienes almacenada). Sin embargo, también tiene un aspecto negativo ya que, al disminuir el lead time entre cada fase del proceso, cualquier cambio inesperado en la demanda que se produzca va a provocar un rápido desajuste con muy poco tiempo de margen de actuación.

4.4 Componentes de DDMRP

La metodología DDMRP se ha presentado como una herramienta muy eficaz para mejorar la planificación de la cadena de suministro en condiciones de incertidumbre y complejidad de la demanda o de las operaciones. Los fundadores Carol Ptak y Chad Smith dimensionaron el modelo en torno a 5 componentes principales, los cuales se encuentran agrupados en 3 fases: Posicionar, Proteger y Tirar, como se representa en la Figura 7.

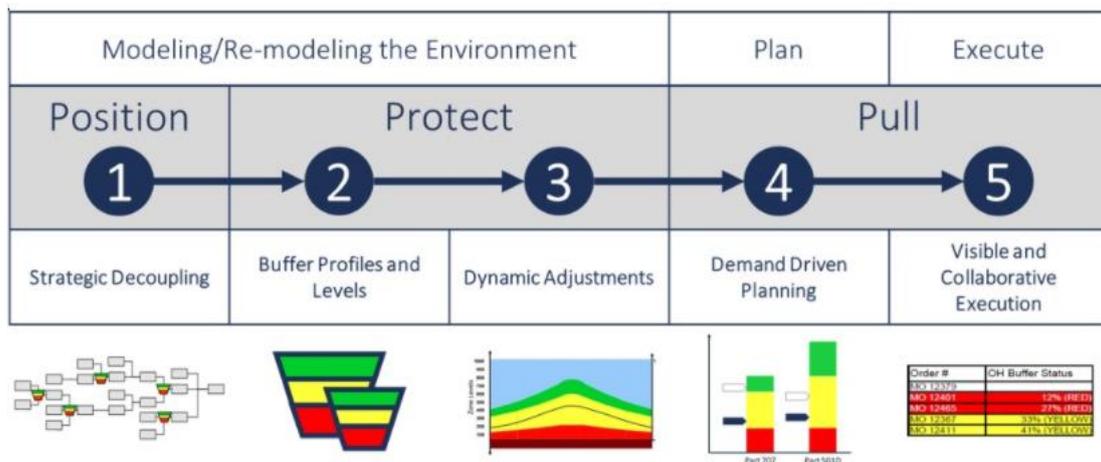


Figura 7: Los cinco componentes de DDMRP (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Los tres primeros componentes de la metodología definen la configuración inicial y evolutiva del modelo DDMRP. La cuarta y la quinta hacen mención a los aspectos más operacionales del sistema DDMRP, es decir, la planificación y la ejecución. A continuación, se procede a un análisis más detallado de cada una de estas fases.

4.4.1 Posicionamiento de los buffers

Este primer paso es fundamental para que se lleve a cabo una buena implementación de la metodología en cualquier cadena de suministro. Ptak and Smith (2011) afirmaban que para lograr el éxito y la estabilidad dentro de una cadena de suministro la pregunta que uno debe hacerse no es cuánto inventario debo tener almacenado, sino dónde debe estar posicionado ese inventario.

En el punto anterior, analizábamos de forma detallada las funcionalidades de un buffer y su papel dentro de la metodología DDMRP. Por ello, la primera fase de este sistema hace referencia al correcto posicionamiento estratégico de estos puntos de abastecimiento de inventario llamados *buffers*. Se trata de una decisión estratégica que determina los plazos de entrega a los clientes, la inversión que se debe hacer en los inventarios y establece una independencia entre cada uno de los procesos que es la que hace que se mitigue el efecto látigo.

Para asegurarnos de que se da una variabilidad prácticamente inexistente en toda la cadena, una posible opción sería establecer buffers entre cada una de las operaciones o interacciones con los proveedores y fabricantes dentro de la cadena. Sin embargo, esto podría resultar contraproducente. El establecimiento de cada uno de los buffers implica un crecimiento del nivel de inventario global y de su coste de mantenimiento y almacenamiento. Además, puede que existan determinados procesos que no generen ningún tipo de variabilidad o no formen parte del camino crítico. Por esta razón, es importante determinar cuáles son aquellos puntos estratégicos donde se debe establecer un buffer para no incurrir en costes innecesarios y falta de eficiencia en la cadena. Para ello, DDMRP propone seis factores críticos a tener en cuenta (Ptak & Smith, 2016) descritos en la Tabla 1 a continuación:

Factor	Descripción
Tiempo de espera de los clientes	El tiempo que un cliente está dispuesto a esperar antes de optar por otra alternativa. Si no existe una presión por parte de los clientes en tener el producto en un determinado plazo, no tendría relevancia posicionar un buffer en ese punto.

El lead time del mercado	Dependiendo de en qué tipo de mercado o industria se esté implementando esta metodología, se deberá tener en cuenta el impacto que pueda producir un retraso en la cadena de suministro. En un entorno muy competitivo, un parón en la cadena de suministro puede llevar a la pérdida de gran parte de tu cuota de mercado.
Horizonte de visibilidad de la demanda	El margen de tiempo que se tarda en calcular los pedidos o la demanda actual que tendremos. Será interesante establecer un buffer en aquellos puntos de la cadena donde no se tenga una visibilidad clara de cuál va a ser la demanda esperada e implantar un buffer para mitigar aquellos picos que puedan sobrepasar la capacidad de nuestros recursos.
Apalancamiento y flexibilidad del inventario	Se deberán tener en cuenta los costes de almacenamiento propios de cada referencia de producto, el holding time y el lead time establecidos según la estructura de la BOM.
Variabilidad externa	Puede que existan ciertos puntos de la cadena de suministro que se vean condicionados por factores externos que generen variabilidad (estacionalidad, cambios políticos, nuevos competidores, políticas medioambientales, regulatorias...).
Operaciones críticas	Son áreas con una capacidad de producción limitada donde la calidad del producto final se puede ver alterada. Se deberá establecer un buffer solo en aquellas operaciones donde exista una acumulación de variabilidad y un pequeño parón pueda producir grandes retrasos en el resto de las operaciones.

Tabla 1: Criterios de posicionamiento de buffers (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

4.4.2 Perfil y nivel del buffer

El segundo paso dentro de la metodología DDMRP consiste en dimensionar correctamente la figura de los buffers para llevar un buen control del inventario y lograr unos niveles óptimos en cada momento. Esto es un paso fundamental dado que un exceso de inventario conlleva un aumento ineficiente de los recursos y capacidades necesarios para su almacenaje (dinero, materiales, espacio). Por el contrario, cuando una empresa tiene demasiado poco inventario, prevalece una escasez frecuente que puede provocar roturas de stock o pérdida de oportunidades de venta, además de costes excesivos derivados de pedidos urgentes para paliar la falta de stock interno (Ptak y Smith, 2016).

DDMRP define tres zonas del buffer muy diferenciadas entre sí y compuestas por una serie de parámetros y ecuaciones. La zona verde del buffer determina la frecuencia y tamaño de las órdenes de suministro que se van a generar cuando haya una necesidad de reabastecimiento del nivel de inventario del buffer. La zona amarilla corresponde al núcleo de la cobertura de la demanda del buffer y es donde se determina si es necesario que se cree una orden de reposición. Por último, la zona roja aporta el margen de seguridad insertado en el buffer para que no se produzcan roturas de stock.

Para poder proceder al cálculo de cada una de estas tres zonas, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Consumo Promedio Diario (CPD) o Average Daily Usage (ADU)** en inglés: es el promedio móvil de todos los registros históricos de los consumos diarios de un SKU o referencia de producto.
- **Tiempo de Espera Desacoplado o Decoupled Lead Time (DLT)**: es definido como el tiempo de procesado que tarda un producto en pasar por la secuencia más larga de una cadena de suministro no protegida por un buffer. Tiene una relación directa con el tamaño de cada una de las zonas del buffer.
- **Cantidad Mínima de Pedido o Minimum Order Quantity (MOQ)**: afecta principalmente a la zona verde del buffer y suele venir establecida por los proveedores como un mínimo de cantidad necesaria a producir para que haya una rentabilidad final del proceso.
- **Factor de Tiempo de Espera o Lead Time Factor (LTF)**: este parámetro viene determinado según la metodología DDMRP por una tabla en la que se establecen diferentes rangos según los tiempos de espera de cada producto.

Categoría de Lead Time	Factor de Lead Time	Número de días
Largo	0.20 a 0.40	68-100 días
Medio	0.41 a 0.60	34- 67 días
Corto	0.61 a 1	0-33 días

Tabla 2: Rango Factor Lead Time (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Según se observa en la Tabla 2, cuando se trata de productos con un lead time más largo, el factor de Lead Time deberá ser menor para que la zona verde del buffer sea más pequeña. De este modo, las órdenes de pedido se generarán con mayor frecuencia, ofreciendo tiempo suficiente para que el producto llegue antes de que se agote el inventario disponible.

- **Factor de variabilidad:** se utiliza para determinar la zona roja de seguridad del buffer y proteger el inventario de posibles picos de variabilidad en el consumo. Ptak y Smith (2016) establecieron tres categorías de variabilidad: alta, media y baja. Variabilidad alta hace referencia a picos de demanda muy frecuentes y difíciles de estimar. Variabilidad media asume picos ocasionales de la demanda y crean ciertos desequilibrios en la cadena dentro del lead time establecido. Variabilidad baja se trata de una demanda estable con ausencia de alteraciones o picos de variabilidad inesperados. Asumiendo estas tres categorías de variabilidad, la siguiente tabla asocia un factor de variabilidad a cada rango:

Categoría de Variabilidad	Rango del factor de variabilidad
Variabilidad alta	0.61 a 1+
Variabilidad media	0.41 a 0.60
Variabilidad baja	0.20 a 0.40

Tabla 3: Factor de Variabilidad (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

En este caso, como se aprecia en la Tabla 3, una mayor variabilidad irá asociada a un mayor factor que amplifique la cobertura de la zona roja de seguridad del buffer de tal forma que se pueda absorber toda esa incertidumbre generada por los picos en la demanda.

- **Frecuencia de orden:** hace referencia a la frecuencia con la que se realiza una orden de pedido.

Teniendo en cuenta todos estos parámetros, a continuación, se exponen en la Tabla 4 los cálculos necesarios para dimensionar cada una de las zonas del buffer según lo establece la metodología DDMRP.

Zona Verde*	Frecuencia de orden x CPD	*El método con mayor cantidad determina el tamaño de la zona verde
	CPD x LT x Factor del LT	
	MOQ	
Zona Amarilla	CPD x DLT	
Zona Roja Base	CPD x DLT x Factor de LT	
Zona Roja Seguridad	Zona base x Factor de variabilidad	

Tabla 4: Cálculo zonas del buffer (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

4.4.3 Ajustes dinámicos

La principal ventaja que ofrece la metodología DDMRP es ser capaz de adaptarse a los nuevos contextos de volatilidad e incertidumbre. Ya no es suficiente con realizar una buena previsión de ventas, sino que es necesario tener la capacidad de poder reaccionar de forma rápida a cualquier imprevisto que se pueda dar en la demanda.

En este sentido, los buffers ofrecen la funcionalidad de poder ser ajustados de forma periódica y dinámica según lo requiera el contexto. Estos ajustes dinámicos definen las fluctuaciones que se han de dar en el nivel de los amortiguadores en función de los parámetros operativos, los cambios en el mercado y los acontecimientos futuros planificados o conocidos (Ptak y Smith, 2016).

Al estar basados en la demanda actual, esto facilita que los buffers se retroalimenten en todo momento y que, el gerente de la fábrica, en previsión a las futuras promociones, picos de estacionalidad o la obsolescencia de los productos, pueda modificar los parámetros que definen el nivel de los buffers para que estos tengan la suficiente capacidad y margen de seguridad para soportar los cambios esperados.

Todos estos ajustes se recogen en un factor que se denomina DAF (Demand Adjustment Factor) y que solo se tendrá en cuenta dentro del modelo cuando se generen estos picos de inestabilidad. Para establecer esta variable se deben llevar a cabo una serie de cálculos estadísticos que no se proceden a valorar en este trabajo. Sin embargo, la metodología también propone que, a falta de estimaciones exactas para los cálculos matemáticos, se

podrá proceder a ajustar los buffers de acuerdo a la experiencia propia del responsable de logística y producción en base al conocimiento sobre el negocio y el mercado.

4.4.4 Planificación basada en la demanda

El objetivo de la metodología DDMRP es convertirse en una herramienta de gestión y control que ofrezca una visión en tiempo real de lo que está ocurriendo dentro de la cadena de suministro. De este modo, este cuarto paso de la metodología hace mención a la implementación de la Ecuación de Flujo Neto o Net Flow Equation (NFE), en inglés. Es decir, una vez el buffer ya ha sido correctamente posicionado en un punto estratégico de la cadena y se ha dimensionado acorde a cada una de las ecuaciones de la zona del buffer, ahora es el momento de identificar cuándo debe de ser reabastecido de inventario.

La Net Flow Equation es el proceso por el cual se generan las órdenes de suministro (órdenes de compra, órdenes de fabricación y órdenes de traslado) (Ptak y Smith, 2016). Es decir, haremos uso de esta ecuación de forma diaria para saber si debemos generar una orden de pedido para reabastecer nuestro buffer. Esta ecuación tiene en cuenta la siguiente fórmula para determinar la frecuencia y cantidad de la orden de suministro:

NFE: Inventario actual – demanda calificada + sugerencia de suministro

- **El inventario actual:** hace referencia a la cantidad de stock que tenemos actualmente disponible en el buffer.
- **La demanda calificada:** es equivalente al consumo que se esté generando más aquellos picos calificados o excesos de demanda puntuales que necesiten un mayor lead time de en el proceso de fabricación.
- **La sugerencia de suministro:** es la cantidad de pedido que el propio buffer nos indique que debemos suministrarle para que vuelva a estar dentro de los niveles óptimos.

El resultado de la Ecuación de Flujo Neto da respuesta a la pregunta de si un buffer debe de ser reabastecido o no y con qué cantidad. En este sentido, se creará una orden de pedido de reabastecimiento siempre que el resultado de la NFE sea inferior al tope de la zona amarilla o zona de reposición. La cantidad exacta de esta orden de pedido será igual a la diferencia entre el tope de la zona verde menos el resultado de la Ecuación de Flujo Neto, tal y como se observa en la Figura 8. Si, por el contrario, el resultado de la ecuación queda

por encima de la zona amarilla o, en otras palabras, cae en zona verde, esto significará que todavía no es necesario reabastecer el buffer de inventario.

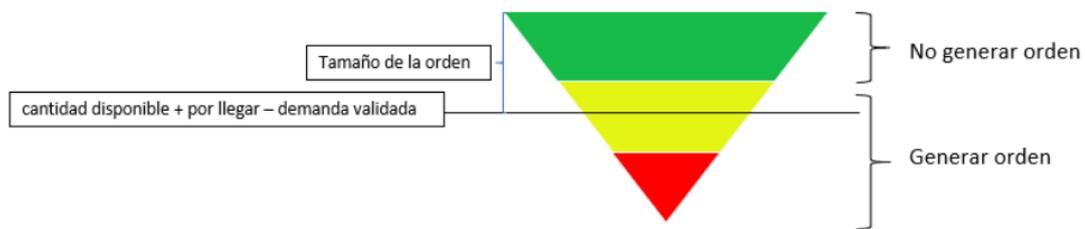


Figura 8: Representación gráfica NFE (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Por último, es importante recordar que no debemos guiarnos por el inventario actual del buffer sino por la Ecuación de Flujo Neto, que es el mayor indicador del estado del buffer. Aunque es cierto que la propia ecuación tiene en cuenta el inventario que tenemos disponible, no aportaría una visión real si no sumase las variables de demanda calificada y el inventario que se encuentra en camino. En resumen, ofrece una visión mucho más exacta y completa del estado de buffer.

4.4.5 Ejecución visible y colaborativa

Una vez se ha llevado a cabo todo el proceso de generación de órdenes de suministro, se da paso a la fase de ejecución. Para ello, la metodología DDMRP propone la gestión de estas órdenes de suministro pendientes a través de alertas codificadas por colores (verde, amarillo y rojo) según el orden de prioridad con el fin de promover y proteger el flujo de la propia cadena de suministro.

Hasta ahora, los sistemas MRP solo utilizaban la fecha de entrega como factor determinante a la hora de dar prioridad a una orden. Sin embargo, la fecha de entrega es una variable que se mantiene estable en el tiempo y no varía, mientras que la prioridad sí. Por eso, DDMRP apuesta por esta nueva metodología de priorización mucho más ajustada a la realidad del momento y las necesidades inmediatas de abastecimiento.

Como se observa en la Figura 9, los buffers generarán una alerta según el nivel en el que se encuentren. La alerta será de color verde cuando el nivel de inventario se encuentre por encima de la mitad de la zona amarilla, en cuyo caso no habría que hacer nada de forma inmediata. La alerta será amarilla cuando el nivel de inventario del buffer se encuentre

por debajo de la zona amarilla, en cuyo caso se debería empezar a dar prioridad a esta orden. Y, por último, la alerta será de color rojo, cuando el nivel del buffer se posicione por debajo de la mitad inferior de la zona roja requiriendo especial atención.

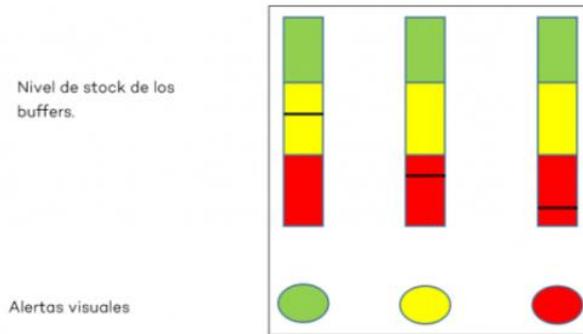


Figura 9: Alertas visuales (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

Para mayor exactitud, se puede asignar un porcentaje de prioridad dentro de aquellas órdenes de un mismo color. Esto permitirá saber qué órdenes necesitan especial atención dentro de una misma franja de prioridad. Para ello, se establece la siguiente fórmula:

$$\% \text{ prioridad} = (\text{Inventario disponible} / \text{zona roja}) * 100$$

Orden	Fecha de entrega	Estado buffer	Prioridad
Orden 1	15-03-2020	20%	1
Orden 2	16-03-2020	70%	3
Orden 3	14-03-2020	120%	4
Orden 4	15-03-2020	60%	2

Tabla 5: Orden de prioridad de alertas (Fuente: Ptack y Smith, 2016)

De esta forma, en el ejemplo de la Tabla 5, se observa cómo, en numerosas ocasiones, se puede dar el caso de que la orden con mayor prioridad no sea aquella con el tiempo de entrega más próximo, sino aquella con un buffer que contiene menor cantidad de inventario y, por tanto, un orden de prioridad mayor.

Ptak y Smith (2016), afirman que estas alertas facilitan la gestión eficiente de aquellas órdenes de pedido más críticas y que requieren atención inmediata frente a aquellas que

todavía tienen un margen de acción. Todo ello de una forma mucho más visual y dinámica basándose en el estado de la zona amarilla en vez de en la fecha de vencimiento.

Toda esta dinámica hace que se favorezca la flexibilidad ante la respuesta a cambios radicales en la demanda, habilitando a estos buffers de forma constante con una cantidad óptima de inventario capaz de dar respuesta a los clientes y mejorando el nivel de servicio. Como resultado de toda esta gestión eficiente, se logra una disminución en los tiempos de espera de los clientes, así como una bajada en el valor total del inventario y los costes asociados de mantenimiento.

5. ACTUALIDAD

5.1 Operativa tradicional de la gestión de stock respecto DDMRP

Durante las últimas décadas se ha observado como los sistemas de planificación y gestión de inventario presentan una serie de deficiencias que hacen que las cadenas de suministro no estén optimizadas y se incurra en costes innecesarios. Algunos de los errores más comunes por parte de las organizaciones a la hora de gestionar el inventario son la rotura de stock, el exceso de inventario, la estacionalidad, la gestión del espacio, la exactitud en las previsiones de la demanda, la duplicidad de tareas o la gestión de los productos obsoletos. Estas problemáticas derivan a su vez en fallos entorno a la toma de decisiones, la integración de todos los procesos en un mismo sistema o la medición de los KPIs (Powell, 2013).

A lo largo de la historia, se puede observar cómo, en los años sesenta, el principal elemento competitivo de las empresas era el coste y, por tanto, la estrategia de fabricación estaba basada en grandes volúmenes de producción que minimizasen los costes y ofreciesen estabilidad en la cadena. Sin embargo, a partir de los años ochenta, la calidad se convierte en un elemento fundamental para la competitividad y el éxito de las empresas (Rondeau y Litteral, 2001). Los proveedores tuvieron que adaptarse e innovar para crear nuevos productos y servicios que llegasen a tiempo y satisficieran las necesidades específicas de los clientes (McKenna, 1990). Con ello, nace el sistema MRP, uno de los métodos de tipo *push* más conocidos de gestión y planificación de inventarios que ha adquirido mayor popularidad en los últimos años desde que fue creado por Joe Orlicky's en 1975. Está basado en previsiones de la demanda y aunque presenta muchas mejoras, todavía cuenta con limitaciones a las que hacen frente las compañías hoy en día.

El principal problema con el que se encuentra el sistema MRP actualmente reside en las características del entorno en el que se desarrolla (Kraaijenbrink, 2018). A causa de la globalización, las cadenas de suministro se han vuelto cada vez más complejas, con clientes, proveedores y operadores logísticos muy deslocalizados (Viswanathan, 2010). Hace unos años, contábamos con cadenas de suministro mucho más lineales y adaptadas a un entorno poco variable. Sin embargo, el mercado actual presenta una mayor inestabilidad y variabilidad en cuanto a la demanda. Esto resulta en mayores dificultades para establecer previsiones seguras y, por tanto, genera nerviosismo y un efecto látigo mayor (Lee, 1992). Autores como Minifie y Davis (1990) afirman que este nerviosismo ocurre ante los cambios frecuentes en los esquemas de producción y es una de las mayores

causas de inestabilidad que impacta tanto al nivel de servicio como a los lead times. Se ha demostrado, por tanto, que las compañías que usan MRP actualmente han sufrido este tipo de problemas relacionados con el riesgo de variabilidad alta que hacen que este sistema MRP se vuelva incompatible con el nuevo entorno productivo Kortabarria (2018).

Frente a esta nueva normalidad, resulta indispensable replantear el proceso de planificación de la producción utilizado hasta ahora (Kumar y Meade, 2002). Por ello, se proponen nuevas implementaciones como la metodología DDMRP, que pretende minimizar el impacto de la variabilidad y la incertidumbre existente por medio de innovaciones como la creación de buffers de reabastecimiento y control de inventario (Ptak y Smith, 2011).

A continuación, se muestra una tabla que propone las principales diferencias y beneficios que ofrece la metodología DDMRP frente a los sistemas tradicionales MRP. Este análisis sirve para identificar los puntos fuertes y débiles de cada metodología y saber cuál utilizar según el tipo de entorno productivo en el que nos encontremos.

Sistemas tradicionales MRP - 1975	DDMRP - 2011
<i>Características</i>	
Tipo <i>push</i> .	Tipo <i>pull</i> .
Responde a la pregunta: “¿Cuánto inventario necesito?”	Responde a la pregunta: “¿Dónde posiciono mi inventario?”
Basado en pronósticos.	Basado en la demanda actual.
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> • Asegurar disponibilidad de materias primas para la producción y entrega. • Planificación de las actividades de la fabricación. • Cubrir niveles de inventario adecuados. 	Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> • Estabilizar el flujo de material e información. • Reducir la variabilidad en la cadena de suministro y el efecto látigo. • Crear interdependencia entre los procesos.

Stocks de seguridad estáticos.	Buffers de inventario dinámicos.
Lead time de fabricación o lead time acumulativo.	Lead time desacoplado, tiempo de la secuencia más larga desprotegida.
Orden de prioridad según la fecha de vencimiento.	Orden de prioridad según el estatus del buffer.
Master Production Schedule (MPS) para calcular los requerimientos de materiales. Carece de visibilidad en la ejecución.	5 componentes: posicionamiento, perfil de los buffers, ajustes dinámicos, planificación de la demanda y ejecución visible y colaborativa.
Realiza las órdenes de suministro lo más tarde posible para minimizar los costes de almacenamiento de inventario.	Realiza órdenes de suministro en el momento adecuado y cuando son realmente necesarias.
No tiene en cuenta las restricciones de capacidad.	Sí considera las restricciones de capacidad como factores limitantes de la cadena.
<i>Tipo de entorno</i>	
Exceso de demanda y orientación a la productividad.	Exceso de oferta en el mercado y orientación al servicio de las empresas.
Poca variabilidad, entorno estable, poco cambiante.	Entorno VUCA, volátil, incierto, complejo, ambiguo.
Trabaja en cadenas de suministro lineales.	Trabaja en redes de colaboración extensas y fragmentadas por todo el mundo.
Ciclos de vida de las referencias de producto largos y duraderos en el tiempo.	Ciclos de vida de las referencias de producto cortos y medidos en meses.
Tiempo de tolerancia o espera de los consumidores: largo.	Tiempo de tolerancia o espera de los consumidores: cortos. Muchas veces en menos de 24 horas.

Personalización: baja, productos muy estandarizados.	Personalización: alta. Muchos consumidores buscan customizar los productos según gustos y necesidades.
Variedad de producto: baja	Variedad de producto: alta. Muchas referencias y opciones para la elección del consumidor.
Exactitud en las previsiones: alta. Resultaba fácil realizar estimaciones de cuál iba a ser el consumo.	Exactitud en las previsiones: baja. Lucha constante de la mayoría de las empresas por mejorar la exactitud en sus previsiones de demanda.
Opciones limitadas a la hora de trabajar con proveedores. Difícil establecer negociaciones.	Muchas opciones en cuanto a proveedores, búsqueda del mejor precio, mayor competitividad.
<i>Limitantes y beneficios</i>	
Crea muchos stocks de seguridad para paliar la posible variación de demanda que aumentan el coste total.	Los buffers actúan como puntos de reabastecimiento de inventario en tiempo real según la demanda.
Cantidades de reposición fijas, no hay un sistema de alertas de reposición.	Reduce el riesgo de rotura de stock gracias al sistema de alertas de codificación por color.
La demanda siempre es estable, muy predecible, los lead times son fijos.	Existen picos de demanda calificados que se tienen en cuenta en la ecuación del flujo neto.
Poco flexible a las variaciones externas, cualquier cambio en la demanda afecta a todo el proceso en continuo.	Mejor adaptación a las variaciones externas o de estacionalidad, crea procesos independientes.
Suele presentar una distribución bi-modal.	Elimina la distribución bi-modal de los inventarios.

No está sincronizado con un sistema de control y planificación ni tiene en cuenta otras áreas de la compañía.	Incorpora los elementos necesarios de planificación estratégicos en el plan de ventas y operaciones.
---	--

Tabla 6: Comparativa sistemas MRP vs DDMRP (Fuente: Elaboración propia)

5.2 Gestión de las cadenas de suministro durante la crisis Covid-19

Sin lugar a duda, la crisis sanitaria del Covid-19 que comenzó en marzo de 2020 ha generado una necesidad crítica de replanteamiento de las cadenas de suministro y los procesos de gestión de inventario con los que se venía trabajando hasta ahora (Ivanov, 2020). Esta crisis ha supuesto un gran periodo de incertidumbre en la que, la flexibilidad y la colaboración de los distintos agentes de la cadena junto con la digitalización y agilidad de los modelos operativos, han sido los componentes claves para que ciertas empresas hayan sido capaces de superar estos meses y realizar una mejora en sus prácticas.

Durante los primeros inicios de la pandemia, China, lo que se conocía como “la fábrica del mundo”, realizó un corte inmediato de todo el flujo de materiales y mercancías que se suministraban al resto del mundo lo que provocó un parón a nivel mundial de todas las cadenas de suministro sufriendo retrasos en las entregas, desabastecimiento de producto y roturas de stock (The Economist, 2020). Esto hizo que muchas empresas de transporte y distribución se vieran obligadas a alargar los tiempos de entrega produciéndose un colapso en las líneas de transporte aéreo y marítimo que afectaron negativamente a la importación y exportación de la gran mayoría de países.

De esta forma, se dejaron de lado los objetivos estratégicos de las compañías y los esfuerzos del día a día fueron destinados a cubrir las necesidades básicas de la compañía para que el flujo de materiales siguiera fluyendo en la medida de lo posible y se cumpliera con los compromisos establecidos con los clientes. Sin embargo, muchos empresarios afirman, que la mala gestión de las cadenas de suministro en esta crisis, se debe principalmente a la falta de planes de contingencia y flexibilidad en las cadenas ante las distintas disrupciones (EIU, 2020). Por otro lado, también añaden, que el factor humano jugó un papel muy importante dentro de las organizaciones y que, por tanto, no

se supo gestionar de manera eficiente los cambios en el personal como cierres, cuarentenas, bajas, despidos...etc lo cual provocó alteraciones en la productividad y eficiencia de muchas de las cadenas de suministro.

Algunas de las medidas que decidieron fomentar las empresas para poder hacer frente a esta crisis fueron: la creación de equipos de emergencia para la toma de decisiones, el análisis de los riesgos clave y los cuellos de botella de las partes más críticas de la cadena, asegurar la comunicación y la transparencia entre todos los stakeholders, diversificar los proveedores con los que se trabaja y controlar el flujo de efectivo. La gestión de la interrupción de la cadena de suministro es un desafío para las empresas globales y locales y requiere un cálculo de riesgo versus eficiencia económica por parte de cada empresa (OECD, 2020). Empresas de distribución y logística que optaron por estas medidas, han logrado seguir abasteciendo de productos sanitarios a los países con mayor necesidad durante esta crisis según afirma la OMS (2020).

En resumen, cada discontinuidad histórica ha llevado consigo cambios en la forma de producir, crear negocios o relacionarse entre sí, creando empresas cada vez más resilientes e innovadoras. Sin duda, esta crisis sanitaria debe servir como oportunidad para que aquellas organizaciones con mayor visión de futuro, capacidades y recursos, vean esta situación como una oportunidad de lograr una ventaja competitiva. Para ello, esta transformación debe realizarse a través de la tecnología de última generación para poder optimizar y agilizar los procesos, reducir los tiempos de entrega y minimizar los costes asociados. De esta forma, se lograrán crear planes de gestión de riesgos en la cadena de suministro para evitar las principales amenazas futuras y cambios inesperados en la demanda o en el contexto internacional de las cadenas de suministro globales.

En este sentido, la metodología DDMRP, se presenta como una solución innovadora, capaz de dar respuesta a las inestabilidades causadas por una crisis. Este sistema puede ayudar a disminuir riesgos ante situaciones de falta de stocks con funcionalidades como el redimensionado del inventario en tiempo real a través del uso de buffers.

5.3 Nuevas tendencias en las cadenas de suministro

El actual ecosistema de producción ya se encontraba en plena transformación, pero el impacto del COVID-19, como se ha analizado en el punto anterior, ha puesto de manifiesto las debilidades que presentan las cadenas de suministro. Además, la crisis ha hecho que este proceso de transformación se acelere de forma vertiginosa hacia nuevas tendencias de consumo y, por tanto, de producción y distribución de esos bienes o servicios. Esto genera la necesidad de encontrar nuevos sistemas de planificación capaces de asimilar estos cambios de forma integral con procesos optimizados y fáciles de adaptar a las nuevas necesidades del mercado.

Varios informes de las principales consultoras españolas (COVID-19: El gran impacto sobre las cadenas de suministros | EY, 2021), (Supply-chain recovery in coronavirus times—plan for now and the future | McKinsey, 2021), (Managing Supply Chain Risk and Disruption: COVID-19 | Deloitte Global, 2021), (Liderazgo, agilidad e innovación en farma | Accenture, 2021) recogen las tendencias más recomendadas a seguir en el futuro de cara a la elaboración de nuevos sistemas de planificación de cadenas de suministro. Entre ellas, destacan las siguientes:

- Acelerar la transformación digital mediante el uso de nuevas tecnologías como la Inteligencia Artificial, el Big Data o el Blockchain.
- El uso de sistemas en la nube para el almacenamiento y el procesamiento de los datos que permitirá a las empresas optimizar los recursos y anticiparse en la toma de decisiones estratégicas.
- Creación de plantas de producción inteligentes con la implantación de robótica y automatización.
- Apostar por una supply chain colaborativa donde se garantice la integridad de todos los participantes y la trazabilidad a lo largo de toda la cadena dando visibilidad a todos los procesos.
- Crear un continuo flujo de información y datos en tiempo real que permitan aumentar la eficiencia de la cadena en base al consumo real.
- Transparencia en todos los procesos y en los niveles de inventario para un mayor control.
- Crear una red de proveedores donde también se permita cooperar con las empresas de la competencia.

- Desarrollar planes de gestión de riesgos que cubran todos los posibles escenarios.

En conclusión, se deben abordar, en primer lugar, los problemas más visibles del día a día que tienen un impacto directo en la resiliencia y efectividad de la cadena como son la gestión de la previsión de la demanda, la falta de inversión en tecnología o la escasa información y comunicación entre áreas. Y, en segundo lugar, se deben crear planes de continuidad que opten por un modelo de cadena de suministro más robusto y adaptable, que permita adecuarse a los cambios en la industria mediante una gestión global e integrada.

6. DESARROLLO DEL CASO PRÁCTICO

6.1 Introducción

En esta sección del trabajo se procede al desarrollo de la propuesta de implantación de la metodología DDMRP en un caso concreto de estudio de la cadena de suministro de fármacos de Servier España S.L.

Para la realización de esta simulación piloto, se utilizarán las siguientes fuentes de información: revisión de la literatura académica anterior, entrevistas semiestructuradas al responsable de logística de Servier, visitas de campo a las instalaciones de la fábrica, documentación de la empresa y su página web oficial. Todo ello servirá de referente para poder llevar a la práctica el modelo DDMRP en la cadena de suministro de Servier por medio del establecimiento de hipótesis de posicionamiento de buffers.

Con esta simulación, el objetivo es poder evidenciar la reducción de los niveles de inventario de producto terminado y el aumento en el nivel de servicio de los clientes tras la implementación de la metodología DDMRP. Finalmente, se pretende analizar la robustez del modelo e identificar los puntos fuertes y débiles a la hora de implementar esta metodología en la industria farmacéutica.

6.2 Contexto actual de la industria farmacéutica

La industria farmacéutica se engloba dentro de uno de los sectores más antiguos y estables en el tiempo. Sin embargo, se trata de uno de los ámbitos de la ciencia con mayor crecimiento en los últimos años y que se encuentra en constante desarrollo (Priede, 2008). Para España, la industria farmacéutica representa uno de los sectores industriales con mayor peso dentro de la economía, siendo el cuarto mercado farmacéutico en ventas en la UE y el quinto en referente a producción, según el informe anual de Farmaindustria (2019). Además, este informe señala que la industria química española, integrada por las actividades químicas y farmaquímicas, genera el 13,4% del Producto Interior Bruto del país, y da empleo al 3,5% de la población activa. Se trata, por tanto, de los sectores con mayor carácter innovador y de los que más invierte en I+ D. Sin embargo, es de uno de los sectores más regulados dado que pone en juego la salud de los pacientes. Por ejemplo, el desarrollo de un nuevo medicamento, se convierte en un proceso complejo, cada vez más costoso, y que está sometido a un ambiente de elevada incertidumbre y crecientes exigencias por parte de los organismos reguladores (COTEC, 2006).

En cuanto a la producción y distribución farmacéutica, viene muy marcada por cadenas de suministros complejas y compuestas por muchos agentes como los proveedores de materias primas, los laboratorios farmacéuticos, operadores logísticos, almacenes, farmacias, mayoristas y canales institucionales. Todos ellos forman parte de las cadenas de producción de principios activos, medicamentos, antibióticos, excipientes...etc con el objetivo de llegar al cliente final en el menor tiempo posible y asegurando una calidad de producto excepcional.

Según el Informe de Responsabilidad Social Empresarial del Sector Químico Español, (2018), el catálogo de entidades autorizadas de la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (Aemps) mostraba, a principios de 2019, un total de 384 almacenes legales adscritos a la patronal española de la distribución, Fedifar, más otra gran cantidad de operadores logísticos y laboratorios que suministran de forma directa a farmacias y hospitales. La empresa IQVIA, consultora líder en el análisis de datos de mercado de la industria farmacéutica española, afirma que el grupo Cofares continúa líder en la distribución de medicamentos seguido por Bidafarma.

Por lo general, las farmacéuticas trabajan con decenas de proveedores y cientos de referencias de productos terminados (o SKU's, Stock Keeping Units), que se subdividen a su vez en líneas o familias de producto y se distribuyen en diferentes líneas de producción. De este modo, una cadena de suministro puede resultar un sistema verdaderamente complejo donde la planificación juega un papel fundamental a la hora de sincronizar todas las operaciones industriales de cada uno de los SKU y la gestión de los cientos de clientes que demanda cada uno de ellos.

Dentro de la cadena de suministro de la industria farmacéutica, el flujo de necesidades suele nacer del consumidor final, en este caso el paciente, que es quién genera en primer lugar la demanda de fármacos que se traslada a las farmacias locales. A partir de ahí, toda la red de farmacias se abastece a través de diferentes distribuidores y mayoristas que son los encargados de llevar los medicamentos desde los laboratorios hasta las oficinas de farmacia. Por otro lado, también se puede dar el caso de que los mayoristas distribuyan directamente a entidades estatales, hospitales o clínicas. Finalmente, el flujo de demanda generado por el paciente suele acabar en los proveedores de materias primas que reciben las órdenes de pedido de los laboratorios farmacéuticos para poder fabricar los medicamentos.

Cabe tener en cuenta que, toda cadena de suministro no tiene únicamente un flujo de productos de proveedor a cliente final, sino que también genera un flujo de información en sentido contrario, de cliente final a proveedor. Este flujo de información es fundamental y es el que favorece que se produzca una buena sincronización entre todos los agentes de la cadena. Tener un flujo de información actualizado, transparente en todos los eslabones de la cadena y ajustado a la demanda real, es la mejor manera de optimizar los procesos de producción y asegurar un nivel de servicio óptimo para satisfacer al cliente final.

Sin embargo, es importante añadir que, los sistemas de gestión de las cadenas de suministro en la industria farmacéutica, también se ha visto afectado por la crisis sanitaria actual. Esto ha hecho que muchos de los procesos se hayan tenido que adaptar a las nuevas necesidades de la demanda y a las exigencias del gobierno para cubrir las necesidades básicas de los pacientes para hacer frente al Covid-19. Es por ello que, las compañías farmacéuticas, deben comprender que el modelo de interacción con los pacientes está evolucionando hacia uno mucho más omnicanal en el que la transformación digital coge mucho protagonismo y es la que permite que se den interacciones en tiempo real, aunque no sean en un mismo espacio físico. Actualmente, el sector farmacéutico reclama un replanteamiento de los nuevos modelos de desarrollo e investigación para saber adaptarse a las demandas del futuro de la salud.

6.3 Breve descripción de la farmacéutica Servier S.L.

Servier S.L. es un grupo farmacéutico francés comprometido con el progreso terapéutico para el beneficio de los pacientes y dirigido desde su creación en 1954 por una fundación sin ánimo de lucro. Se trata del 2º grupo farmacéutico más grande de Francia y el 32º de todo el mundo, presente en España desde 1957. Actualmente posee 4 institutos de investigación, 16 plantas de producción y 15 Centros Internacionales de Investigación Terapéutica. Servier cuenta, a nivel grupo, con 22.000 empleados que trabajan en cada una de las sedes de Servier en países como Hungría, Francia, España, Egipto, Irlanda, Polonia, China, Brasil, Méjico, Marruecos y Rusia como se muestra en el mapa de la Figura 10.



Figure 10: Mapa presencia Servier en el mundo (Fuente: documentación Servier)

En cuanto a cifras de negocio de Servier, en 2019 obtuvo 4,6 mil millones de euros siendo 3,2 mil millones de euros en base a medicamentos de la marca y 1,4 mil millones de euros derivados de genéricos. Sin embargo, es importante destacar que, de sus ganancias anuales, invierten el 25% directamente a I+D para el desarrollo y la investigación de nuevos medicamentos.

Finalmente, con respecto a la cultura corporativa, se trata de un grupo guiado por su visión a largo plazo: “Situación a los pacientes y la innovación en el centro de sus acciones, fomentar el compromiso individual y colectivo, garantizar independencia y ser un Grupo de alcance global”. Para ello, se sustentan en cuatro valores corporativos: CUIDAR, INNOVAR, CRECER y COMPROMETERSE que rigen las políticas internas de la empresa y toma de decisiones estratégicas.

6.3.1 Portafolio de productos

Servier trabaja en torno a cuatro áreas de desarrollo o familias de producto: el área cardiovascular, el área de la neuropsiquiatría, el área venosa y el área de la oncología. Se trata de una empresa líder en el ámbito de la cardiología que tiene la ambición de convertirse en un reconocido actor dentro del mundo de la oncología por el cual están apostando fuertemente a través de la investigación y acuerdos con otros laboratorios.

En España, Servier cuenta con una fábrica en la filial de Madrid donde procesan y acondicionan parte de su portafolio de productos y una planta química en Toledo donde producen un 41% de la cartera global de productos de Servier en desarrollo pre-clínico y

un 33% en desarrollo clínico. La planta de Toledo tiene una extensión de 25.767 m² y anualmente fabrican entre 220 y 250 toneladas de productos intermedios de síntesis y exportan el 100% de su producción (Página web Servier | Servier España, 2021).

En la Tabla 7 aparecen recogidos sus principales medicamentos junto con las patologías que cubren:

Portafolio de productos de Servier S.L.		
Área	Patología	Medicamento
Cardiovascular	Hipercolesterolemia	Lipocom
Cardiovascular	Diabetes mellitus tipo 2	Diamicron
Cardiovascular	Hipertensión	Bripeterax
Cardiovascular	Hipertensión	Viacoram
Cardiovascular	Hipertensión	Viacorlix
Cardiovascular	Insuficiencia cardiaca	Procoralán
Cardiovascular	Insuficiencia cardiaca	Carevalán
Neuropsiquiatría	Depresión	Valdoxán
Neuropsiquiatría	Depresión	Enzude
Venosa	Enfermedad Venosa Crónica	Daflón
Venosa	Enfermedad Venosa Crónica	Cedraflón
Oncología	Cáncer colorrectal metastásico	Lonsurf
Oncología	Linfoma No Hodgkin	Pixuvri
Oncología	Leucemia linfoblástica aguda	Oncaspar
Oncología	Cáncer pancreático metastásico	Onivyde

Tabla 7: Portafolio de Productos Servier S.L. (Fuente: responsable logística Servier)

6.3.2 Cadena de suministro de Servier

El flujo de la cadena de suministro de la planta de Madrid comienza con los proveedores de materias primas. Existen dos tipos de proveedores con los que trabaja Servier, externos e internos, según el tipo de materia prima del que se trate. Por lo general, todos los principios activos de los fármacos que fabrican son suministrados desde la planta química de Bolbec (Normandía) que fue creada en 1960 y actúa como proveedor interno para todo el Grupo Servier. Por otro lado, todo el material de excipientes y acondicionado se suministra a través de proveedores externos locales. Una vez se recibe toda la materia prima, ésta pasa a ser almacenada a través de *Alloga*, uno de los partners logísticos de Servier. Esta intermediación se lleva a cabo debido a que la planta de Madrid no cuenta con suficiente espacio de almacenamiento para todo el material. A continuación, en la planta de producción de Madrid es donde se lleva a cabo la fase de transformación de los principios activos y excipientes en los comprimidos farmacéuticos a través de diferentes

procesos fisicoquímicos que veremos más adelante. Finalmente, el producto semiterminado pasa a ser acondicionado y empaquetado en estuches para su posterior distribución. *Logista Pharma* será el intermediario encargado de distribuir el producto terminado tanto a los mayoristas como a los hospitales u oficinas de farmacia. El 90% de los productos comercializados irán destinados al mercado español con una media de 8,5 millones de cajas fabricadas al año según los datos de 2019 de la empresa. En la Figura 11, se puede ver una descripción gráfica del proceso descrito anteriormente tanto de materiales de proveedores a clientes como el flujo de información en sentido contrario.

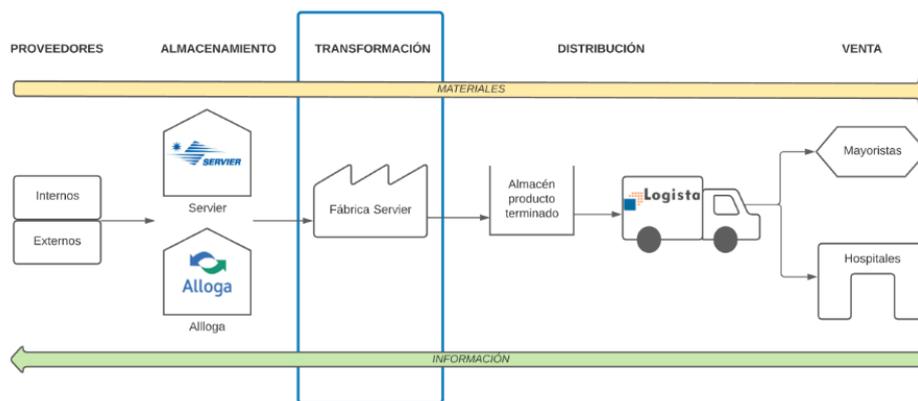


Figura 11: Cadena de Suministro Servier S.L. (Fuente: Elaboración propia)

6.3.3 Distribución de la planta

En la Figura 12, se puede observar cómo se encuentra distribuida la planta de Madrid donde se llevan a cabo todos los procesos de almacenaje, producción, control y distribución de los medicamentos.



Figura 12: Distribución Planta Servier S.L. (Fuente: documentación Servier)

La mayor parte de la superficie está destinada a la zona de fabricación seguida por la zona de almacenaje de materias primas donde se reciben los materiales que van a ser

utilizadas en los próximos días. El almacén posee una estructura de tipo bodega silo y sigue un sistema de stock caótico o aleatorio a través de un apilado vertical de la mercancía en estanterías, pero no existen ubicaciones predefinidas para los productos. Al ser un almacén pequeño, la gestión de stock no se hace a través de ningún Warehouse Management System (WMS) sino que se lleva un control mediante el ERP interno de la empresa.

Por otro lado, al tratarse de productos químicos, las condiciones de mantenimiento en el almacén son muy exhaustivas y se monitorizan continuamente. Es fundamental que exista una buena instalación climática para el control de la humedad relativa, la presión y la temperatura, así como un sistema de filtración y ventilación que asegure las condiciones idóneas. Esto lo hacen a través de un sistema BMS (Building Management System) de automatización que controla toda la climatización de la planta.

La zona de acondicionado representa la última fase del proceso de transformación que veremos en el epígrafe *6.3.4 Fase de transformación*. De ahí, sale el producto ya empaquetado que se almacenará durante un periodo corto de tiempo en la zona de almacén de producto terminado de la planta que a su vez sirve como lanzadera para que *Logista* recoja la mercancía y la lleve a sus centros de distribución.

Por último, la zona del laboratorio está destinada principalmente a la gestión de los controles de calidad que se realizan a las muestras de producto en distintos puntos de la cadena de producción.

6.3.4 Fase de transformación

A continuación, se realiza un enfoque más detallado de todas las fases que componen el proceso de transformación dentro de la cadena de suministro de Servier. Este proceso tiene lugar en la fábrica de Madrid y en ella se dan diariamente todos los procedimientos de transformación de materias primas en producto terminado.

En la Figura 13, se observa de manera gráfica cada uno de los procesos que forman parte de la cadena de producción de los comprimidos farmacéuticos:

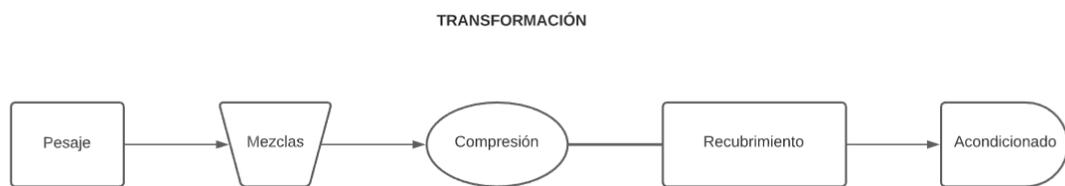


Figura 13: Cadena de Producción Servier S.L. (Fuente: Elaboración propia)

En cuanto se origina una orden de pedido, la primera fase que entra en juego es la de Pesaje o dispense. Por lo general, los medicamentos siguen unos procesos validados y declarados en la Agencia Española del medicamento que establece una serie de criterios en cuanto a medidas y cantidades estipuladas para cada composición. Todos los productos sanitarios llevan por tanto un dossier de fabricación y unos requisitos que no se pueden cambiar. En la zona de pesaje se aseguran de que las cantidades que van a ser producidas se ajusten a estos estándares de calidad establecidos. Cualquier mínima desviación en este aspecto puede alterar mucho la composición del medicamento y derivar en grandes perjuicios para el usuario final.

La segunda fase después del pesaje es la de mezclado en la que, a través de máquinas mezcladoras, se agregan los principios activos con los excipientes para crear el granulado húmedo. A continuación, se procede a la retirada de la humedad a través de una máquina de lecho fluido. Esta máquina introduce aire caliente que mantiene las partículas en suspensión para que, a la vez que el aire se enfría, se vaya retirando la humedad. Este proceso se repite hasta llegar al porcentaje de humedad requerido. Seguidamente, esta mezcla se pulveriza para lograr que todas las partículas del granulado tengan el mismo tamaño. Como última fase del proceso de mezcla, el granulado se homogeneiza a través de un contenedor que da vueltas y para asegurar una misma textura, densidad y proporción en todas las partes de la mezcla. Estos contenedores que guardan la mezcla ya homogeneizada son llevados a la siguiente fase, la de compresión, donde terminan su ciclo. Ahí son liberados, limpiados y vuelven de nuevo a mezclas. Es importante resaltar, antes de continuar con la descripción del resto de fases, que existen una serie de recursos limitantes en la cadena, como es el caso de estos contenedores. Servier cuenta únicamente con 12 contenedores para el almacenaje de la mezcla entre la fase de mezclas y compresión. Esto quiere decir que la planificación de la producción debe hacerse teniendo en consideración estos factores para dimensionar los tiempos y cantidades de acuerdo con ellos.

En la Figura 14, se representa el ciclo y la rotación de cada uno de los recursos de almacenaje disponibles durante todo el proceso de fabricación, así como los lead times entre cada una de las fases (dato que tendremos en cuenta posteriormente en el desarrollo del modelo práctico). Por último, también se muestra el holding time, asumido como el tiempo de espera que puede estar un producto parado entre una fase y otra.

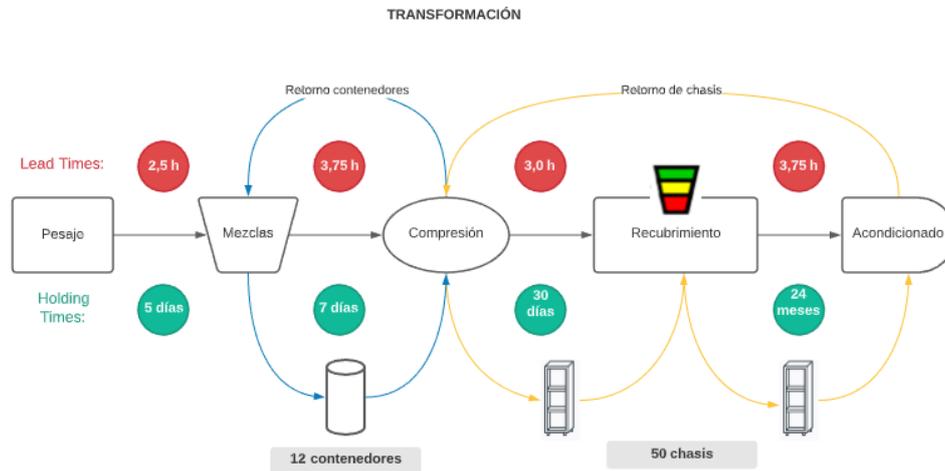


Figura 14: Recursos y holding times (Fuente: Elaboración propia)

La siguiente fase del proceso de producción es la Compresión, donde llegan los contenedores con el granulado y se transforman en comprimidos para que el medicamento pueda ser suministrado como forma oral sólida. Este proceso se realiza a través de una máquina de compresión con dos punzones, uno inferior y otro superior que funciona a una velocidad de 200.000 comprimidos por minuto. Al ser procesos muy abrasivos, los comprimidos también pasan por un detector de metales que extrae cualquier partícula metálica que se haya podido desprender durante el proceso de compresión.

Estos comprimidos se recogen en unas bolsas grandes de almacenaje llamadas minibags que se sustentan sobre chasis que constituyen el segundo factor limitante de almacenaje en la cadena como se observa en la Figura 14. Cada lote que se comprime cabe en dos chasis con dos minibags que son etiquetados y van siempre juntos para evitar la contaminación cruzada. En este sentido, si tienen un total de 50 chasis, tendrían capacidad para tener un pull máximo de 25 lotes en circulación, aunque esto supondría su máximo de producción, es decir, no podrían fabricar más hasta que uno de esos chasis se liberase.

Una vez finalizado el proceso de compresión, los chasis pasan a la zona de recubrimiento. Este paso es fundamental dado que, en él, se les adhiere a todos los comprimidos, usando un proceso de pulverización, una película que les dota de una mayor suavidad a la hora

de ser ingeridos por un paciente. Para esta fase, y una vez que el lote de comprimidos ya haya sido recubierto, se utilizan los mismos minibags y chasis para llevarlos a la fase de acondicionado donde finaliza el ciclo de los chasis y regresan a la fase de compresión.

La fase de acondicionado representa el último paso de la cadena de producción de los fármacos. El producto semiterminado llega a esta zona y a través de dos máquinas de acondicionado y serialización, se empaquetan todos los comprimidos en blísters y estuches para ser distribuidos. A partir de ahí, termina el ciclo de transformación en la planta y se realiza outsourcing con un operador logístico que es el encargado de llevar el producto terminado a los mayoristas y oficinas de farmacia.

6.4 Simulación de DDMRP en la cadena de suministro de Servier S.L.

6.4.1 Posicionamiento de los buffers

Una vez habiendo analizado todas las fases que constituyen la cadena de producción de Servier, se puede proceder a establecer cuál sería el posicionamiento ideal de los buffers como primer paso en la implantación de DDMRP.

Según la teoría descrita por Ptak y Smith (2016) analizada anteriormente, los autores establecen una serie de factores críticos a tener en cuenta a la hora de determinar cuál es punto estratégico de la cadena en el que debe situarse un buffer. Para el desarrollo de este caso práctico y la simplicidad de las operaciones, se ha determinado establecer un único buffer en la fase de recubrimiento como se apreciaba en la Figura 14. Esta decisión está sustentada en la experiencia en logística aportada por el gerente de producción de la fábrica de Servier junto con el análisis en profundidad de cada uno de los factores críticos que propone el modelo DDMRP.

Como resultado, se identifica que la fase de recubrimiento es la que constriñe o limita más el proceso de transformación. Esto es debido principalmente a la maquinaria y recursos disponibles. La fase de recubrimiento cuenta únicamente con una máquina de pulverización que trabaja a una velocidad menor en comparación con el resto de maquinaria de otras fases y que, por lo tanto, supone un cuello de botella para la cadena. Además, es la fase que necesita mayor supervisión por parte del personal de fábrica y la que más fallos suele generar, según afirma el responsable de logística de Servier.

Establecer un buffer de inventario en este punto, supondría un mayor control del stock de comprimidos que tenemos. La demanda que se esté produciendo vendría dada por la siguiente fase del proceso, es decir, la de acondicionado y, el consumo, se realizaría en base a la cantidad de comprimidos que lleguen por parte de la fase anterior, la de compresión. Esto nos permite calcular cuál es el margen de seguridad de stock necesario con el que se debe trabajar en cada momento para que el buffer pueda paliar las distintas modificaciones en la demanda que se puedan originar sin generar un exceso de inventario.

6.4.2 Perfil y nivel del buffer

Una vez habiendo identificado correctamente el posicionamiento del buffer, se procede a través de diferentes parámetros, al dimensionamiento del mismo. Esto dará lugar a las diferentes zonas de nivel de inventario (verde, amarillo y roja) y establecerá los límites de cada una de ellas para un determinado lead time y consumo.

Para ello, primero es necesario establecer cuáles son las unidades de medida estándares de fabricación de Servier y cómo se van a adaptar en esta simulación para poder trabajar con ellas de una manera más sencilla.

Servier realiza su planificación en base a diferentes unidades de medida estándar según la fase del proceso de producción en la que se encuentre:

- Fase de pesaje y mezcla: *kilogramos y lotes*
- Fase de compresión y recubrimiento: *comprimidos*
- Fase de acondicionado y venta: *comprimidos y estuches*

En nuestro caso, como el buffer está posicionado en la fase de recubrimiento, trabajaremos con número de comprimidos como unidad de medida estándar y se utilizarán las siguientes equivalencias para proceder a los cálculos posteriores:

1 lote = 273 kg de principios activos y excipientes

1 lote = 420.000 comprimidos

1 lote = 6890 estuches de comprimidos

1 estuche = 60 comprimidos

Se ha de tener en cuenta que, para la simplicidad de los cálculos en este trabajo, todos los valores relacionados con número de comprimidos serán divididos entre 1000 para una mayor facilidad a la hora del manejo de los datos.

A continuación, se toman en consideración todos los parámetros asignados por la metodología DDMRP para el establecimiento del perfil y nivel de los buffers, y se aplican de manera práctica a través de estimaciones como se observa en la Tabla 8, siguiendo las indicaciones referidas por el responsable de logística de Servier para la elaboración del buffer.

Dimensionamiento del buffer		
Parámetro	Valor	Descripción
Consumo promedio diario (CPD)	190	Se considera que un mes tipo de ventas equivale a 70.000 estuches que entre 22 días de ventas al mes son 3.182 estuches al día = 190.000 comprimidos al día.
Factor Lead time (FLT)	0,4	Se establece un factor de lead time medio debido a que el tiempo de espera desde que se lanza la orden de pedido de materias primas hasta que el comprimido llega al buffer es de 35 días
Factor Variabilidad (FV)	0,2	La demanda de fármacos es bastante estable a lo largo del año, con pocos picos de inestabilidad por lo que se asume un factor de variabilidad bajo de 0,2
MOQ	100	Se establecen un pedido mínimo de 1.666 estuches diarios = 100.000 cpr al día para que la producción sea rentable
Frecuencia de orden (FO)	24	Se asume que se genera una orden de trabajo al día, es decir, cada 24 horas
Lead time Desacoplado (DLT)	20	Se asumen 20 horas como la suma del tiempo de espera de la secuencia más larga de la cadena sin proteger

Tabla 8: Parámetros del buffer (Fuente: Elaboración propia)

Es importante recalcar que el buffer es una herramienta dinámica que aumenta y disminuye de tamaño según la demanda o consumo que se esté generando diariamente, entre otras variables. Por lo tanto, la Tabla 8 es una foto fija o ejemplo de los valores que adquiere el buffer para un determinado momento. Estos valores se trasladan de forma gráfica en un buffer como se muestra en la Figura 15. Los cálculos que se han utilizado para la elaboración de este buffer son los sugeridos por Ptack y Smith (2016) en la Tabla 4 del epígrafe 4.4.2 *Perfil y Nivel del buffer*.

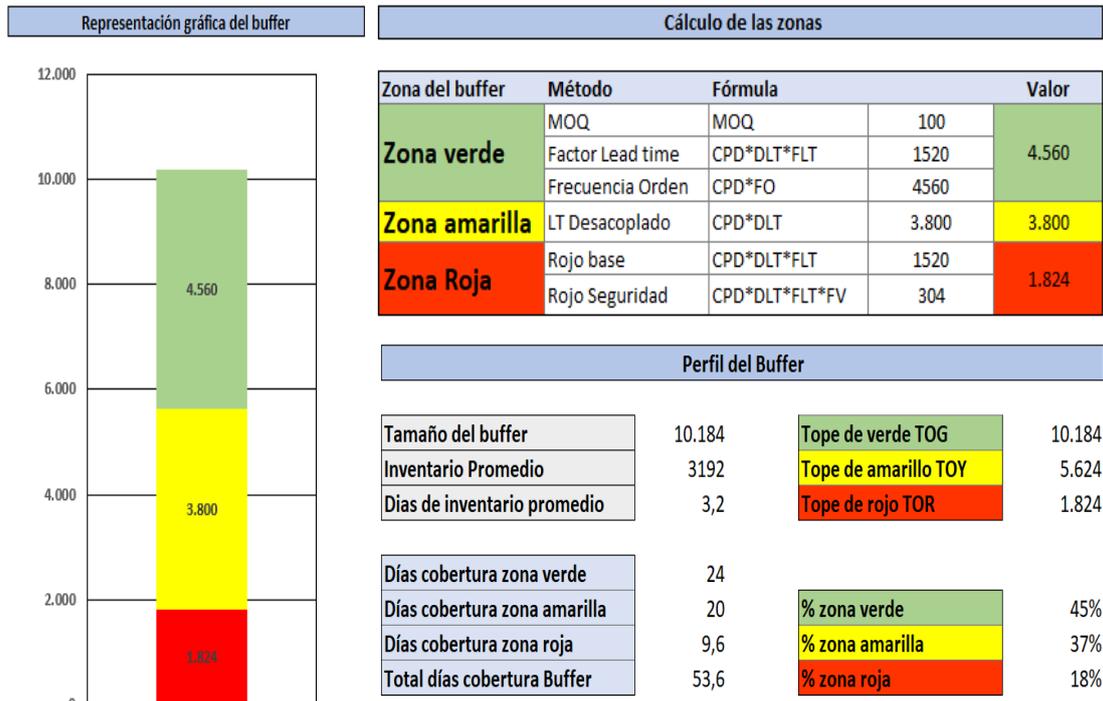


Figura 15: Perfil buffer de recubrimiento (Fuente: Elaboración propia)

6.4.3 Ajustes dinámicos

Como se mencionaba anteriormente, un buffer es una herramienta dinámica que puede ser modificada con variaciones en los parámetros que lo forman para adaptarse mejor a la demanda y a los cambios que se estén produciendo en la cadena de suministro. Esta sensibilidad del buffer se puede ver representada a través del siguiente ejemplo práctico.

Se asumen dos casos, cada uno de ellos con un cambio en una de las variables marcado en amarillo. Para el Caso 1, la variable a modificar es el Lead Time Desacoplado y para el Caso 2 es el Factor de variabilidad.

En el primer caso, según se observa en la Figura 16, se plantean tres tipos de escenarios en los que se asume que la variable DLT disminuye mientras el resto de parámetros se mantienen constantes. Esta disminución en el Lead Time desacoplado puede venir dada, por ejemplo, por un aumento en los recursos de producción de la fábrica de Servier o por un posible aumento de los turnos de trabajo que haga que se acelere la producción y se disminuya el tiempo de espera.

Dimensionamiento del buffer				Cálculo de las zonas					
Caso 1: cambio en la variable de Lead Time Desacoplado				Caso 1: cambio en la variable de Lead Time Desacoplado					
Parámetro	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Zona del buffer	Método	Esc.1	Esc.2	Esc.3	
Consumo promedio diario (CPD)	190	190	190	Zona verde	MOQ	100	100	100	
Factor Lead time (FLT)	0,4	0,4	0,4		Factor Lead time	1520	4.560	1140	4.560
Factor Variabilidad (FV)	0,2	0,2	0,2		Frecuencia Orden	4560	4560	4560	4560
MOQ	100	100	100	Zona amarilla	LT Desacoplado	3.800	3.800	2.850	1.900
Frecuencia de orden (FO)	24	24	24	Zona Roja	Rojo base	1520	1.824	1140	760
Lead time Desacoplado (DLT)	20	15	10		Rojo Seguridad	304	304	228	152

Figura 16: Perfil del buffer - Caso 1 (Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 17, se muestra gráficamente cómo quedaría el perfil del buffer ante cada uno de los distintos escenarios.

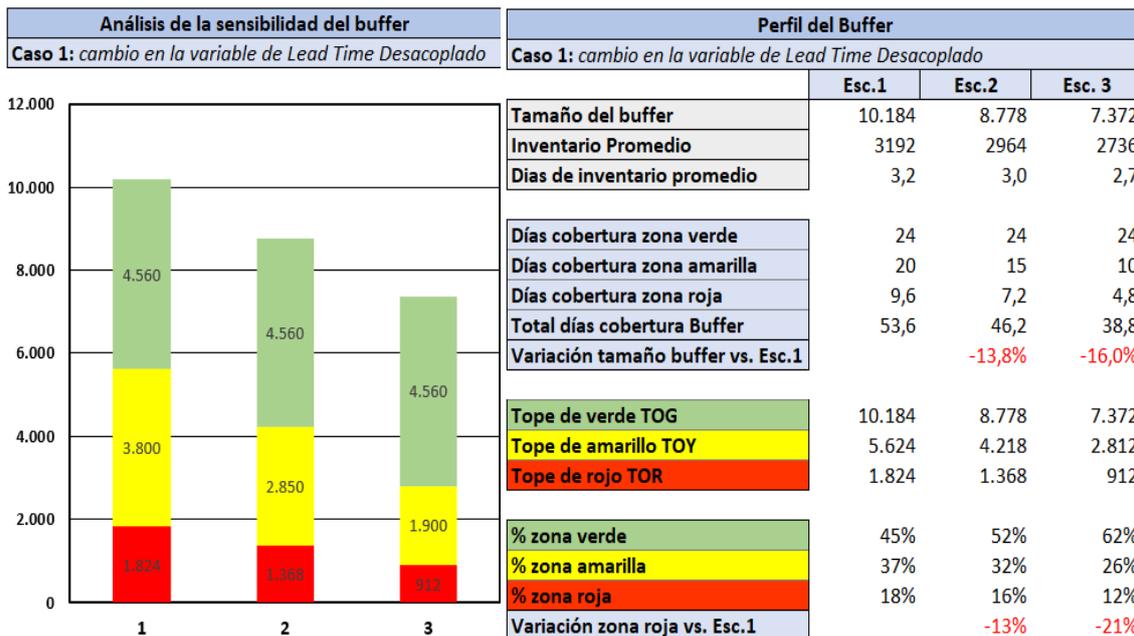


Figura 17: Tamaño del buffer - Caso 1 (Fuente: Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 17, la reducción de 20 a 15 horas en el Lead Time Desacoplado del escenario 2 respecto al escenario 1, ha provocado una disminución en el tamaño del buffer de casi un 14% de su capacidad. Esto implica una bajada del nivel de inventario y con ello de los costes de almacenamiento asociados. La reducción de 5 horas más adicionales conlleva un 2% más de baja del tamaño del buffer respecto al escenario inicial. Adicionalmente, también es relevante destacar como una baja del Lead Time Desacoplado, tiene su mayor impacto principalmente en la zona roja del buffer. En el escenario 3 respecto al 1 se observa una disminución de un 21% de la franja roja lo que conlleva a un menor margen de seguridad. Es decir, ante un pico inesperado de demanda el buffer podría quedar a niveles cercanos a la rotura de stock.

Para el segundo caso, también se establecen 3 posibles escenarios con el factor de variabilidad como parámetro a alterar en esta ocasión y manteniendo el resto constantes para los tres escenarios como se muestra en la Figura 18.

Dimensionamiento del buffer				Cálculo de las zonas							
Caso 2: cambio en el Factor de Variabilidad				Caso 2: cambio en el Factor de Variabilidad							
Parámetro	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Zona del buffer	Método	Esc.1	Esc.2	Esc.3			
Consumo promedio diario (CPD)	190	190	190	Zona verde	MOQ	100	100	100			
Factor Lead time (FLT)	0,4	0,4	0,4		Factor Lead time	1520	4.560	1520	4.560	1520	4.560
Factor Variabilidad (FV)	0,2	1	0		Frecuencia Orden	4560	4560	4560	4560	4560	4560
MOQ	100	100	100	Zona amarilla	LT Desacoplado	3.800	3.800	3.800	3.800	3.800	3.800
Frecuencia de orden (FO)	24	24	24	Zona Roja	Rojo base	1520	1.824	1520	3.040	1520	1.520
Lead time Desacoplado (DLT)	20	20	20		Rojo Seguridad	304	1520	1520	0	1520	1.520

Figura 18: Perfil del buffer - Caso 2 (Fuente: Elaboración propia)

A partir de ahí, se llevan a cabo los mismos cálculos que se han realizado para el Caso 1 y se presenta la figura del buffer ante los tres posibles escenarios (ver figura 19). Los resultados que se obtienen en este caso reflejan que, tras haber aumentado la variabilidad de la demanda en el escenario 2 en un 80%, el tamaño del buffer también ha aumentado un 12% para paliar esa variabilidad adicional y asegurar una mayor cobertura de stock. Sin embargo, en el escenario 3, en el cual se anula todo tipo de variabilidad, se asume un factor de variabilidad 0 y, por tanto, se logra una disminución del tamaño del buffer de un -13% respecto al escenario inicial.

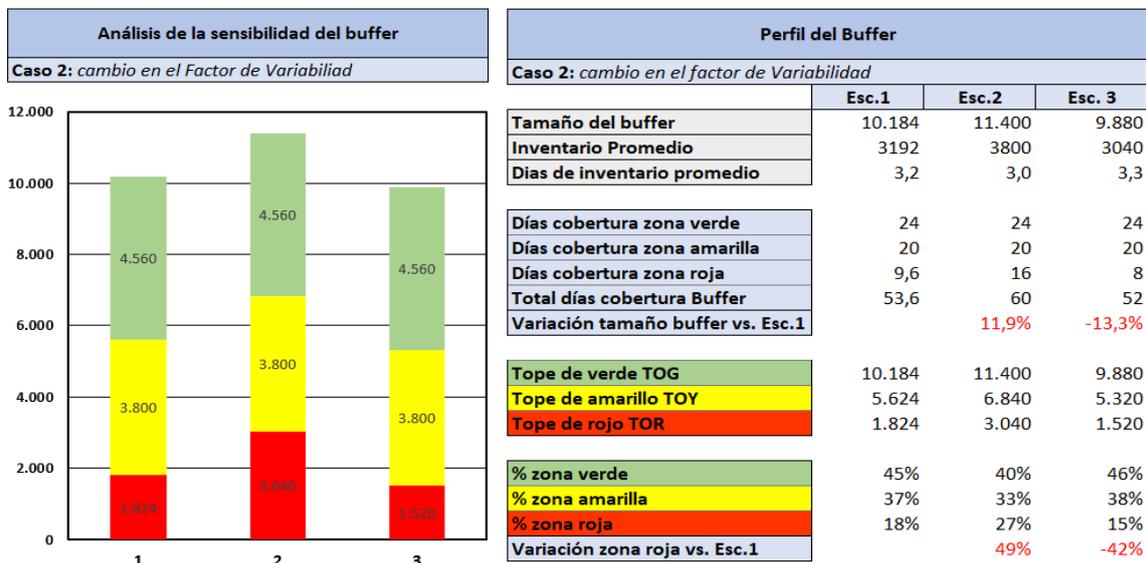


Figura 19: Tamaño del buffer - Caso 2 (Fuente: Elaboración propia)

Tras haber desarrollado ambos casos de análisis de la sensibilidad del buffer ante cambios en los parámetros, se puede concluir que un menor Lead Time Desacoplado resulta beneficioso para la compañía dado que se reduce los niveles de inventario. Por el contrario, también aumenta la sensibilidad del buffer y el riesgo de rotura de stock ante

posibles imprevistos de la demanda. Por último, se concluye, tras el segundo caso, que un mayor factor de variabilidad implica que hay un mayor riesgo existente y por tanto es necesario ampliar la cobertura de la zona roja de seguridad del buffer y aumentar el nivel de inventario para absorber todos esos picos de demanda.

6.4.4 Planificación basada en la demanda

Este siguiente bloque del planteamiento DDMRP hace referencia al corazón de la metodología. En él, se establece a través de la ecuación de Flujo Neto, las alertas de reposición del buffer según el consumo de inventario y la demanda que esté habiendo para cada periodo de tiempo. El objetivo de esta simulación es mostrar de manera simplificada, y a través de una hoja de cálculo, cómo sería la implantación de un software de DDMRP dentro de la cadena de suministro de Servier.

Actualmente, el sistema de previsión de la demanda que utiliza Servier se denomina *Prevision Glissantes* y se hace a través de hojas de cálculo que se alimentan de forma manual cada mes con el cierre de producción. En función de la previsión de ventas proporcionada por el departamento financiero, estas necesidades de fabricación se escalan a producción apoyándose en sistemas MRP y CRP (Capacity Resource Planning) que analizan los recursos disponibles y la cobertura de stock necesaria para cada momento.

Establecimiento de los datos

En primer lugar, se toman 60 valores de consumo diario de una referencia de producto elegida, en este caso, *Daflón 500gr* por ser el producto estrella para Servier a nivel de volumen de producción y que lleva más de 25 años en el mercado. Se trata de un medicamento venotónico con principio activo de base flavonoica que actúa como antiinflamatorio en las paredes venosas aumentando la resistencia de los capilares o vasos sanguíneos y aliviando los síntomas de la insuficiencia sanguínea.

Para el desarrollo del caso, se parte de los datos históricos de ventas de *Daflón 500* que ha tenido Servier para los meses de octubre y noviembre de 2020. Servier trabaja con “estuches” como medida estándar para las ventas por lo que es importante tener en cuenta la equivalencia de $1 \text{ estuche} = 60 \text{ comprimidos}$ dado que todos los cálculos están en base a número de comprimidos.

Zonas del buffer

En segundo lugar, se toman los parámetros descritos en el epígrafe 4.4.2 *Perfil y Nivel del buffer* sobre el dimensionamiento de nuestro buffer y se recrean las que serían las distintas zonas del buffer según los valores de consumo establecidos. En la imagen Tabla 9, se muestran únicamente los 22 primeros periodos con sus zonas del buffer correspondientes. La columna del ADU (Average Daily Usage) representa el consumo promedio diario de *Daflón 500 gr* de los últimos 60 consumos anteriores. Esta es la medida de consumo medio que adopta el buffer para hacer una previsión del tamaño que van a adquirir sus tres zonas en base a los datos de consumo pasados que ha habido. A continuación, las siguientes columnas muestran el valor que toman cada una de las zonas del buffer según el consumo o la demanda que se esté generando para cada periodo.

Dimensionamiento del buffer									
Per.	Fecha	Consumo	ADU	zona roja	zona amarilla	Zona verde	TOR	TOY	TOG
1	01/10/2020	46							
2	02/10/2020	512	189	1815	3780	4536	1815	5595	10131
3	03/10/2020	254	196	1882	3920	4704	1882	5802	10506
4	06/10/2020	253	199	1911	3980	4776	1911	5891	10667
5	07/10/2020	310	201	1930	4020	4824	1930	5950	10774
6	08/10/2020	58	206	1978	4120	4944	1978	6098	11042
7	09/10/2020	32	206	1978	4120	4944	1978	6098	11042
8	12/10/2020	42	203	1949	4060	4872	1949	6009	10881
9	13/10/2020	14	199	1911	3980	4776	1911	5891	10667
10	14/10/2020	64	198	1901	3960	4752	1901	5861	10613
11	15/10/2020	225	197	1892	3940	4728	1892	5832	10560
12	16/10/2020	13	200	1920	4000	4800	1920	5920	10720
13	19/10/2020	23	200	1920	4000	4800	1920	5920	10720
14	20/10/2020	5	199	1911	3980	4776	1911	5891	10667
15	21/10/2020	10	190	1824	3800	4560	1824	5624	10184
16	22/10/2020	2	177	1700	3540	4248	1700	5240	9488
17	23/10/2020	947	173	1661	3460	4152	1661	5121	9273
18	26/10/2020	104	177	1700	3540	4248	1700	5240	9488
19	27/10/2020	115	174	1671	3480	4176	1671	5151	9327
20	28/10/2020	63	175	1680	3500	4200	1680	5180	9380
21	29/10/2020	400	175	1680	3500	4200	1680	5180	9380
22	30/10/2020	77	173	1661	3460	4152	1661	5121	9273

Tabla 9: Dimensionamiento del buffer para 22 periodos (Fuente: Elaboración propia)

Ecuación de flujo neto

A continuación, se da paso a la parte más fundamental del modelo DDMRP en el que se hace uso de la ecuación de flujo neto (NFE):

$$NFE: \text{Inventario actual} - \text{demanda calificada} + \text{sugerencia de suministro}$$

A través de esta ecuación, es posible calcular cuándo se debe producir una orden de reabastecimiento del buffer. En la Tabla 10, se pueden observar una simulación de los parámetros que va tomando la ecuación según el consumo que se esté produciendo.

Net Flow Equation									
Per.	Fecha	Consumo	ADU	On-hand	Demanda calificada	NFE	Sugerencia	Ingreso	Inv. Fin
1	01/10/2020	46						0	4000
2	02/10/2020	512	189	4000	512	3488	6643	0	3488
3	03/10/2020	254	196	3488	254	9877	0	0	3234
4	06/10/2020	253	199	3234	253	9624	0	0	2981
5	07/10/2020	310	201	2981	310	9314	0	0	2671
6	08/10/2020	58	206	2671	58	9256	0	0	2613
7	09/10/2020	32	206	2613	32	9224	0	0	2581
8	12/10/2020	42	203	2581	42	9182	0	0	2539
9	13/10/2020	14	199	2539	14	9168	0	0	2525
10	14/10/2020	64	198	2525	64	9104	0	0	2461
11	15/10/2020	225	197	2461	225	8879	0	0	2236
12	16/10/2020	13	200	2236	13	8866	0	0	2223
13	19/10/2020	23	200	2223	23	8843	0	0	2200
14	20/10/2020	5	199	2200	5	8838	0	0	2195
15	21/10/2020	10	190	2195	10	8828	0	0	2185
16	22/10/2020	2	177	2185	2	8826	0	0	2183
17	23/10/2020	947	173	2183	947	7879	0	0	1236
18	26/10/2020	104	177	1236	104	7775	0	0	1132
19	27/10/2020	115	174	1132	115	7660	0	0	1017
20	28/10/2020	63	175	1017	63	7597	0	0	954
21	29/10/2020	400	175	954	400	7197	0	6643	7197
22	30/10/2020	77	173	7197	77	13763	0	0	7120

Tabla 10: NFE para 22 periodos (Fuente: Elaboración propia)

- **On-hand:** hace referencia al inventario actual que hay disponible en el buffer en un momento dado, el pull de recubrimiento será igual al inventario final del día anterior.
- **Demanda calificada:** equivale al consumo que se está generado, es decir, cuántos comprimidos están entrando actualmente en la máquina de recubrimiento para pasar posteriormente a la fase de acondicionado. Es importante recordar que todos los datos están en base mil.
- **Sugerencia de suministro:** se producirá una sugerencia de suministro cuando el resultado de la ecuación de flujo neto sea inferior al tope de la zona amarilla (TOY). Esto generará una alerta de reposición de inventario en ese buffer. Esta alerta se producirá con suficiente antelación de tal forma que el ingreso de esa nueva cantidad de inventario requerido se realice a tiempo antes de que el buffer se quede sin stock.

- **Ingreso:** el ingreso será igual a la diferencia entre el tope de la zona verde del buffer (TOG), es decir, su máximo de capacidad, menos el resultado de la NFE. En otras palabras, se estará reponiendo la misma cantidad que se ha consumido de tal forma que el buffer siempre se mantenga con niveles óptimos de inventario. Es importante tener en cuenta que el ingreso se producirá 20 días después de que salte la sugerencia o alerta de reposición. Estos 20 días es el lead time desacoplado que se establece en los parámetros del buffer. Hace referencia al tiempo que tardan los materiales en llegar al buffer desde que se realiza la orden de pedido a los proveedores de materia prima.

Se toma el periodo 21 que se observa en la Tabla 9 como ejemplo para entender el funcionamiento de la NFE:

$$NFE = \text{Inventario actual} - \text{demanda calificada} + \text{sugerencia de suministro}$$

$$NFE = 954 - 400 + 6643 = 7197$$

Esto quiere decir que, a fecha 29 de octubre, en el buffer había 954 (mil) comprimidos, de los cuales se produjo un consumo en el día de 400 (mil). Además, se ingresaron 6643 (mil) comprimidos que equivalen a la sugerencia que se produjo en el periodo 2, de tal forma que, al terminar el día, el buffer se habrá reabastecido de forma automática y se encontrará de nuevo en un nivel de inventario óptimo.

6.4.5 Ejecución visible y colaborativa

Como último paso de la metodología DDMRP, se ha llevado a cabo una gráfica que representa el inventario actual del buffer como resultado para los 60 periodos estudiados. En la Figura 20, se observa cómo el inventario disponible en el buffer va variando conforme a la demanda que se genera. Como se explicaba anteriormente, en el periodo 21 y en el 55, se observa un ingreso de inventario. Ambas alertas de reposición fueron generadas 20 días antes de tal forma que cuando el nivel del buffer se acerca a la zona roja, automáticamente se produce el ingreso de inventario que hace que el buffer recupere su estabilidad. Esa orden de ingreso será equivalente al inventario del buffer consumido desde la última reposición.

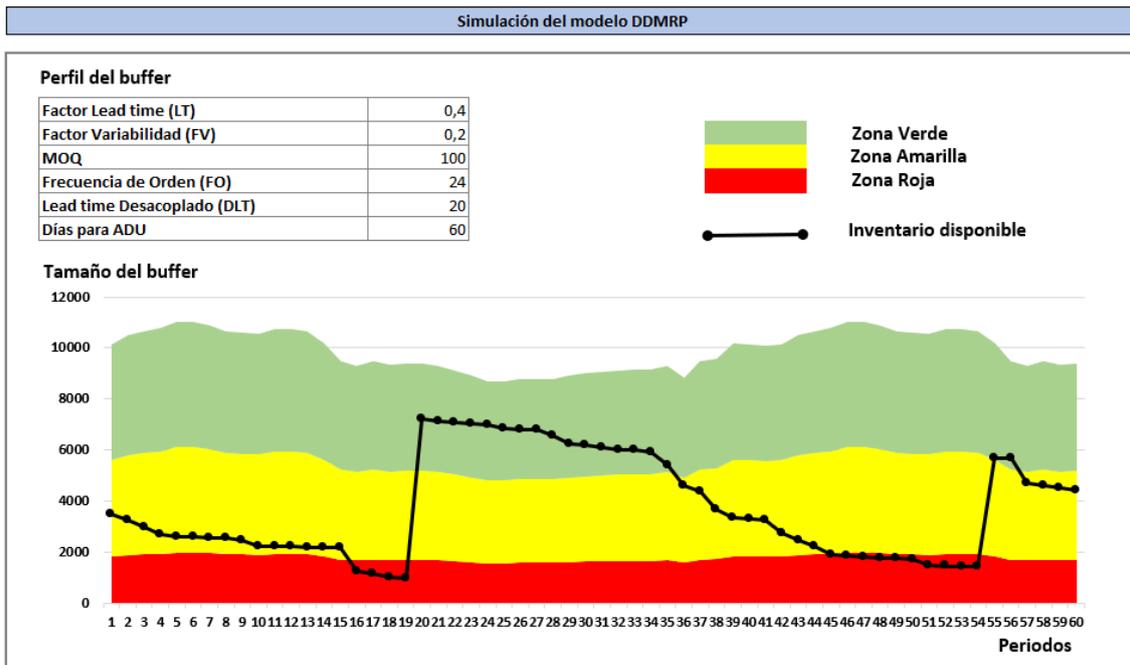


Figura 20: Simulación final del modelo DDMRP (Fuente: Elaboración propia)

6.5 Discusión sobre los resultados obtenidos

El estudio de caso de la implantación del modelo DDMRP por medio del posicionamiento de un buffer de recubrimiento, demuestra la validez del modelo en la gestión y planificación del inventario de la planta farmacéutica de Madrid de Servier. Sin embargo, al tratarse de un caso que no ha sido implantado en la realidad, sino que es solo una simulación por medio de hipótesis, el modelo no permite sacar las métricas exactas del impacto de los resultados obtenidos, pero sí establecer las siguientes conclusiones:

1. El modelo tiene suficiente capacidad y robustez para reaccionar a los cambios generados en la demanda. Esto permite tener un control en tiempo real de las necesidades de abastecimiento reduciendo considerablemente el riesgo de roturas de stock por falta de inventario.
2. El análisis de sensibilidad realizado evidencia que el modelo es muy sensible a parámetros como el lead time y el factor de variabilidad. Por ello, es fundamental establecer procesos más eficientes que reduzcan estos factores críticos.
3. La implementación de DDMRP proporciona una mejora en el nivel de servicio percibido por el cliente final al asegurar el cumplimiento de los tiempos de entrega. Esto tiene como beneficio a largo plazo, que los clientes estén más satisfechos y, por tanto, aumenten las ventas.

4. Con el control de inventario en base a las necesidades actuales de la demanda, se produce una reducción en los niveles de stock globales, lo cual disminuye el espacio de almacenamiento requerido, así como los costes de mantenimiento asociados.
5. DDMRP proporciona un sistema de priorización de las alertas de reposición para un mayor control y visibilidad, que genera una mayor exactitud en los procesos y una mejora en el flujo de información de la cadena.

7. CONCLUSIONES

Al comienzo de este trabajo de investigación, se planteaban una serie de objetivos fundamentales en relación al análisis de la metodología Demand Driven Material Requirements Planning entre los que destacan los tres más importantes: (i) analizar de forma descriptiva la metodología con un estudio detallado de sus componentes y funcionalidades, (ii) aportar una visión comparativa respecto al tradicional sistema de MRP mediante el análisis de los puntos fuertes y débiles, (iii) realizar una simulación del modelo propuesto en la cadena de suministro de Servier a fin de mostrar la operabilidad de la metodología DDRMP.

Para dar respuesta a los objetivos propuestos, se ha diseñado una metodología basada principalmente en la revisión de literatura tanto académica, (con búsquedas en bases de datos como Google Scholar, EBSCO, etc.) como no académica (divulgativa, de actualidad y por expertos en el sector). Adicionalmente, se ha aplicado la metodología de estudio de caso para evaluar la implementación de DDMRP en la cadena de suministro de la empresa Servier, del sector de Farmacia. Para ello, se ha procedido a realizar una revisión de documentación del sector, la industria y la propia empresa; se han realizado entrevistas al personal directivo de la empresa y visita a las instalaciones de la fábrica; y se ha hecho uso de métodos cuantitativos en base a los datos proporcionados por la empresa para poder hacer los cálculos necesarios para el desarrollo del modelo.

Esta metodología ha permitido dar respuesta a los objetivos de la siguiente forma. En el Marco Teórico (Sección 4) se da respuesta al objetivo (i) sobre el análisis de los componentes fundamentales de la metodología DDMRP. Se concluye, por tanto, que DDMRP es un modelo de planificación y ejecución de inventario que promueve y protege el flujo de información a través del uso de buffers como puntos de desacople de las variaciones que se den en la demanda. Consiste en una metodología que recoge las aportaciones más innovadoras de sistemas como Lean, DRP, Six Sigma y TOC en base a los fundamentos del MRP y ofrece un planteamiento de previsión y gestión de la demanda mucho más eficaz y en tiempo real. A partir de este marco teórico conceptual, se han identificado las mejoras principales que ofrece el sistema DDMRP frente a sus antecesores. Algunas de estas mejoras son: el uso de buffers de reabastecimiento, la emisión de pedidos en base a la demanda real o el establecimiento de un sistema integrado y más visual de alertas de reposición.

Este marco conceptual sirve como base para la elaboración de la Tabla 6 de la Sección 5 que ofrece una comparativa detallada de DDMRP respecto el sistema tradicional MRP, dando respuesta al objetivo (ii) planteado. Esta visión permite observar, de manera clara, las diferencias que presentan ambos sistemas, así como los puntos fuertes y débiles. Como conclusión de este análisis, el sistema MRP resulta cada vez más inadecuado para la operativa de cadenas de suministro ya que presenta muchas carencias a la hora de operar en un entorno de alta volatilidad y complejidad como el actual. Este sistema realiza la generación de pedidos de suministro en base a las previsiones de ventas futuras, en lugar de basarse en los pedidos de venta de los clientes o las señales internas de reposición de los buffers. Esto presenta una gran desventaja frente a sistemas más flexibles y adaptativos como DDMRP. Este planteamiento se ve reforzado en la sección 5.2 y 5.3 donde se analizan y se detallan los problemas actuales que se dan en la planificación de materiales, tanto antes de la llegada de la pandemia como más recientemente y cómo DDMRP puede paliar estas ineficiencias. Además, en estas secciones, se identifican las nuevas tendencias en la gestión de inventarios siendo, la automatización de los procesos y el uso de tecnología, las principales fuentes de éxito para el futuro de las cadenas de suministro.

Por último, tras conocer el contexto de la industria farmacéutica y, en específico, el funcionamiento de la cadena de producción de Servier, se lleva a cabo la implementación de la metodología DDMRP en su cadena de suministro como último objetivo de la investigación. Al realizar el caso de estudio, las ventajas que propone la metodología DDMRP se ven claramente reflejadas con una reducción en los niveles de inventario de la compañía, así como una mejora en el nivel de servicio.

Por esta razón, DDMRP nace como una nueva propuesta para las organizaciones que ofrece la posibilidad de mantener una producción alineada con la demanda real del mercado facilitando la toma de decisiones y la sincronización con todos los agentes de la cadena. Esta metodología introduce cambios que, tarde o temprano, todas las empresas deben adoptar para alcanzar un crecimiento sostenible a futuro dentro de un marco económico y social cada vez más dinámico e impredecible.

8. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación presenta limitaciones porque es un caso concreto dentro de un sector en el mismo grupo empresarial. En este sentido, la investigación se podría ampliar hacia el estudio de la implantación de esta misma metodología en otras industrias o sectores y comprobar la validez del modelo para distintos tipos de cadenas de suministro.

Se trata de un estudio de caso basado en datos reales de una empresa, pero cuyos resultados de la implantación no han sido testeados. A través del uso de otras metodologías más cuantitativas se podría evaluar, en términos financieros, el ahorro en costes que supone la reducción de los niveles de inventario tras el uso de esta metodología a largo plazo.

Este estudio de investigación presenta interés desde un punto de vista académico porque da pie al estudio de este tema en industrias como la farmacéutica o post-covid, tratándose, además, de un tema de actualidad que hace mención a muchas de las necesidades y problemáticas a las que hacen frente las compañías hoy en día. La investigación presenta implicaciones y resultados relevantes para la dirección de las empresas que pueden ser interesantes para personas que dirijan entornos de producción.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Accenture.com. (2021). Liderazgo, agilidad e innovación en farma | Accenture. [online] Available at: <<https://www.accenture.com/es-es/insights/life-sciences/coronavirus-medtech-rapid-response>> [Accessed 5 November 2020].
- [2]. Alessandri A, Gaggero M and Tonelli F (2011) “*Min-Max and Predictive Control for the Management of Distribution in Supply Chains (Transactions on Control Systems Technology)*”.
- [3]. Antony, J. (2002) “*Design for Six- Sigma: a breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage*”. Work Study, 51.
- [4]. Antony, J. and Banuelas, R. (2002). “*Critical success factors for the successful implementation of Six-Sigma projects in organizations.*” The TQM Magazine,14, 2: 92–99
- [5]. A. Velasco Acosta, Christian Mascle & Pierre Baptiste (2020) “*Applicability of Demand-Driven MRP in a complex manufacturing environment,*” International Journal of Production Research, 58:14, 4233-4245,
- [6]. APICS (Ed.) (2008). APICS dictionary. The essential supply reference (15th ed). Chicago, IL: APICS
- [7]. Boyd, L.; Gupta, M. (2004) “*Constraints management: what is the theory?*” International Journal of Operations & Production Management, n. 4, p. 370–371.
- [8]. Chan, Joseph W. K. , and N. D.Burns (2002). “*Benchmarking Manufacturing Planning and Control (MPC) Systems an Empirical Study of Hong Kong Supply Chains.*” Benchmarking: An International Journal 9 (3): 256–277.
- [9]. COTEC (2006): “*Informes sobre el sistema español de innovación. Biotecnología en la medicina del futuro.*” COTEC. FARMAINDUSTRIA (2006): Memoria anual.
- [10]. Cox, J.F., Blackstone, J.H. and Schleier, J.G. (2003), “*Managing Operations: A Focus on Excellence*”, North River Press, Great Barrington, MA
- [11]. Deloitte. (2021). “*Managing Supply Chain Risk and Disruption: COVID-19 | DeloitteGlobal.*” [online] Available at: <<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/risk/articles/covid-19-managing-supply-chain-risk-and-disruption.html>> [Accessed 5 December 2020].
- [12]. E. Deming (1993), “*The New Economics- For Industry, Government and Education*”, MIT Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, 1993.

- [13]. Eisenhardt, K.M.; Graebner, M.E (2007). “*Theory building from cases: Opportunities and challenges*”. Acad. Manag. J. 2007, 50, 25–32.
- [14]. EIU. (2020). “*The Great Unwinding Covid-19 And The Regionalisation Of Global Supply Chains*”. The Economist, The Economist Intelligence Unit, London.
- [15]. Esmaeilian, Behzad , SaraBehdad, and BenWang (2016). “*The Evolution and Future of Manufacturing: A Review.*” Journal of Manufacturing Systems.
- [16]. EY.com. (2021). “*COVID-19: El gran impacto sobre las cadenas de suministros.*” [online] Available at: <https://www.ey.com/es_pe/supply-chain/gran-impacto-cadenas-de-suministros> [Accessed 5 December 2020].
- [17]. FarmaIndustria. 2021. FarmaIndustria - El Valor del Medicamento. [online] Available at: <<https://www.farmaindustria.es/web/memoria-anual-2019/>> [Accessed 10 January 2021].
- [18]. Feique.org. 2018. “*Informe De Responsabilidad Social Empresarial Del Sector Químico Español*”. [online] Available at: <<https://www.feique.org/pdfs/informeRSE.pdf>> [Accessed 5 January 2021].
- [19]. F. Wallace, (1984) Dictionary, “*American Production and Inventory Control Society*”, Falls Church, VA, 1984
- [20]. Harry, M. and Schroeder, R. (2000). “*Six-Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world’s top corporations*”. Doubleday Currency, New York, NY
- [21]. Hopp, W. , and M. Spearman . (1996). “*Factory Physics: Foundations of Factory Management*”. Chicago, IL: InvinIMcGraw Hill
- [22]. Iqvia.com.(2021). Informes mensuales. [online] Available at: <<https://www.iqvia.com/es-es/locations/spain/informes-mensuales>> [Accessed 10 January 2021].
- [23]. Ivanov, D. (2020). “*Predicting The Impacts Of Epidemic Outbreaks On Global Supply Chains: A Simulation-Based Analysis On The Coronavirus Outbreak (Covid-19/Sars-Cov-2) Case.*” Transportation Research Part E, 136
- [24]. J.Lamothe, S.A. Melnyk, R. Miclo, F. Fontanili, and M. Lauras (2018) “*Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management*” Int. J. Prod. Res., vol.57, no.1,pp.166-181, Jan 2018.
- [25]. J. Martin (1985), “*DRP (Distribution Resource Planning)- can you afford not to have it?*”- Material Handling Engineering, 40, 131-139,1985

- [26]. J. Martin (1983) *“Distribution Research Planning”*, Essex Junction, VT (Oliver Weight Publications Inc.)
- [27]. J. Kraaijenbrink (2018), *“What Does VUCA Really Mean?”*, Forbes.
- [28]. Koh, S. C. L. , S. M.Saad, and M. H.Jones (2002). *“Uncertainty Under MRP-Planned Manufacture: Review and Categorization.”* International Journal of Production.
- [29]. Kortabarria, A., Apaolaza, U., Lizarralde, A., & Amorrortu, I. (2018). *“Material management without forecasting: From MRP to demand driven MRP.”* Journal of Industrial Engineering and Management, 11, 632-650.
- [30]. Kumar, Sameer, and David Meade (2002). *“Has MRP Run Its Course? A Review of Contemporary Developments in Planning Systems.”* Industrial Management & Data Systems 102
- [31]. Lee and C. Billington (1992) *“Managing Supply Chain Inventory – Pitfalls and Opportunities”* Sloan Management Review 33, no 3 (SPR 1992): 65-73.
- [32]. Lee, H., P. Padmanabhan, S. Whang. (1997). *“The bullwhip effect in supply chains”*. Sloan Management Rev. 38 93–102.
- [33]. Mabin, V.J., & Balderstone, S.J. (2003). *“The performance of the theory of Constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications”*. International Journal of Operations & Production Management.
- [34]. Matthias Thürer, Nuno O. Fernandes & Mark Stevenson (2020) *“Production planning and control in multi-stage assembly systems: an assessment of Kanban, MRP, OPT (DBR) and DDMRP by simulation”*, International Journal of Production Research.
- [35]. McKenna, R. (1990). *“Marketing is everything”*. Harvard Business Review, 69(1), 65-79.
- [36]. McKinsey. (2021). *“Supply-chain recovery in coronavirus times—plan for now and the future.”* [online] Available at: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/supply-chain-recovery-in-coronavirus-times-plan-for-now-and-the-future>> [Accessed 5 December 2020].
- [37]. M. Goldratt (1990) *“What is the thing called Theory of Constraints?”* NY: The North River Press, 1990.
- [38]. M.Goldratt, and J. Cox . (1992). *“The Goal: A Process of Ongoing Improvement”*. Great Barrington, MA: North River Press.

- [39]. Miclo, F. Fontanili, M. Lauras, J. Lamothe and B. Milian. (2016) “*MRP vs. Demand Driven MRP: Towards an Objective Comparison*”. Proceeding of the 6th IESM conference, oct.2015.
- [40]. Miclo, R. (2016). “*Challenging the “Demand Driven MRP” Promises: a Discrete Event Simulation Approach.*”
- [41]. Miclo, R. (2016). “*An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP*”.
- [42]. Minifie, J.R. & Davis, R.A. (1990) “*Interaction effects on MRP nervousness*”. *International Journal of Production Research*, 173- 183.
- [43]. Mohebb E., Choobineh F., Pattanayak A. (2007). “*Capacity- driven vs. demand-driven material procurement Systems*”. *Int. J. Production Economics*. 107:451-466
- [44]. N. Viswanathan (2010), “*Enabling supply chain visibility and collaboration in the cloud*” (Aberdeen Publication, 2010) p. 4.
- [45]. Ohno, T. (1988). “*Toyota Production System: Beyond Large-scale Production*”. Boca Raton, FL: CRC Press
- [46]. Olhager, J. (2013). “*Evolution of Operations Planning and Control: From Production to Supply Chains.*” *International Journal of Production Research* 51: 6836–6843
- [47]. OECD. (2020). “*Evaluating The Initial Impact Of Covid-19 Containment Measures On Economic Activity.*” Organization For Economic Co-Operation And Development, Paris.
- [48]. OMS. (2020). “*Actualización De La Estrategia Frente A La Covid-19.*” Organización Mundial De La Salud.
- [49]. Optiproerp, (2019) “*MRP vs MRP II vs ERP: An introduction for Manufactures,*” 2019
- [50]. Orlicky, J. (1975). “*MaterialRequirementsPlanning*”. NewYork, NY: McGraw-Hill.
- [51]. Pande, P. and Holpp, L. (2002). “*What is Six-Sigma*”, McGraw-Hill, New York, NY.
- [52]. Powel, D. J., I. Bas and E. Alfnes (2013). “*Integrating Lean and MRP: A taxonomy of the literature*” IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains, 485-492.

- [53]. Priede Bergamini, T. (2008). “*Sector De La Fabricación De Productos Farmacéuticos En España. Representación De Las Empresas De Participación En La Industria*”. Investigaciones Europeas De Dirección Y Economía De La Empresa, Pp.Vol. 15, Nº 1, 2009, Pp. 137-147, ISSN: 1135-2523.
- [54]. Ptak, C., & Smith, C. (2011). “*Orlicky’s Material Requirements Planning 3/E*.” New York: McGraw Hill Professional.
- [55]. Ptak, C., & Smith, C. (2016). “*Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*”. Norwalk, CT: Industrial Press
- [56]. Rondeau, P., & Litteral, L.A. (2001). “*The evolution of manufacturing planning and control systems: From reorderpoint to enterprise resource planning.*” Production and Inventory Management Journal, Second Quarter, 1-7
- [57]. Servier.es. (2021). Página de Inicio Servier | Servier España. [online] Available at: <<https://www.servier.es/>> [Accessed 21 March 2021].
- [58]. Snee, R.D. (1999), “*Why should statisticians pay attention to Six Sigma?*” Quality Progress, September, pp. 100-3.
- [59]. Sugimori, Y. , K. Kusunoki , F. Cho , and S. Uchikawa . 1977. “*Toyota Production System and Kanban System Materialization of Just-in-time and Respect-for-Human System.*” International Journal of Production Research 15 (6): 553–564.10
- [60]. Taylor, S.J. y Bogdan R. (1987) “*Introducción a los métodos cualitativos de investigación: La búsqueda de significados*”. Editorial Paidós Básica. 1987 de todas las ediciones en castellano. pp. 100-132
- [61]. Tersine, R. J., and Tersine, M. G. (1988). “*Instructor's Manual to Principles of Inventory and Materials Management*”. North-Holland.
- [62]. The Economist. (15 de february de 2020a). “*The New Coronavirus could have a lasting impact on global supply chains.*” The Economist.
- [63]. Wilson, J. M. (2016). “*The Origin of Material Requirements Planning in Frederick W. Taylor’s Planning Office.*” International Journal of Production Research 54 (5): 1535–1553.
- [64]. Yin, R.K. (2017), *Case Study Research and Applications: Design and Methods, 6th ed.*; Sage Publications: Thousand Oaks, CA, USA, 2017
- [65]. Yunkung Chung, Gary W. Fischer (1994). “*A conceptual structure and issues for an object-oriented bill of materials (BOM) data model, Computers & Industrial Engineering*”, Volume 26, Issue 2,1994, Pages 321-339

10.ANEXOS

Guion entrevista al gerente de fábrica de Servier:

1. ¿Cómo está dividida la planta?
2. ¿Qué tipo de productos se fabrican?
3. ¿Por qué procesos pasan?
4. ¿Cómo se realizan las previsiones de demanda? ¿Se suelen ajustar a la demanda real?
5. ¿Cómo se gestiona el stock?
6. ¿Habéis reducido los niveles de inventario?
7. ¿Qué KPI's tenéis en cuenta a la hora de medir la eficiencia de la cadena de suministro?
8. ¿Cuáles son vuestros mayores costes de producción?
9. ¿Cómo gestionáis a los proveedores de materia prima?
10. ¿Cómo mejoráis el nivel de servicio?
11. ¿Qué sistemas o herramientas usáis para el control del abastecimiento?
12. ¿Cuál es el tiempo medio de fabricación de un producto?
13. ¿Contáis con almacenes? ¿Tenéis mucho producto terminado que no se venda?
14. ¿Qué porcentaje de roturas de stock se producen?
15. ¿Cómo habéis gestionado la situación Covid-19 en cuanto a el inventario?
16. ¿Cuál es la cobertura media con la que trabajáis?
17. ¿Qué hacéis en caso de fallo en alguna máquina y parada temporal del proceso de fabricación?
18. ¿Tenéis muchos cambios inesperados en la programación de la producción?
19. ¿Cómo se mide el desempeño de la cadena de suministros?
20. ¿Cómo gestionáis la variabilidad que pueda haber en la demanda? ¿Tenéis picos de estacionalidad o momentos puntuales de cambios repentinos en la demanda?

Comentarios relevantes del responsable de logística y operaciones de Servier, extraídos de la visita a la fábrica de Madrid:

- “En la planificación es de igual de importante el funcionamiento de las maquinas como la gestión del espacio de almacenamiento”

- “Dimensiono y planifico de tal manera que salga todo el producto, no se pare la fábrica, se cubran las ventas y que siempre haya rotación de stock”
- “Trabajamos con mucha planificación con el objetivo de mover el producto y que haya un flujo constante”
- “Buscar un equilibrio con los proveedores porque hay veces que interesa más la cercanía que un precio más competitivo”
- “Contamos con un stock de producto terminado para cubrir 2 o 3 meses para dar margen a posibles imprevistos. Además, calculamos el stock valorado, no por meses ni por stock físico”
- “No solemos tener problemas de calidad porque trabajamos con proveedores auditados, pero a veces los proveedores hacen outsourcing y se producen pequeños fallos en la logística, llegan sacos rotos...etc.”
- “Debemos tener en cuenta que, dentro de una misma fábrica, trabajas dentro de una planificación maestra con varios tipos de referencias de producto. Por lo tanto, para que las máquinas no estén infrautilizadas, se debe crear una buena planificación entre los tiempos de espera y los tres tipos de limpiezas que realizamos (L1- cada día, L2- cambio de un producto a otro, L3- cuando pasan más de 7 días o limpieza de refuerzo).”
- “Aunque haya un total de 50 chasis en circulación, es importante tener en cuenta que solo tengo 25 chasis disponibles para almacenar nuevo producto. Es decir, aunque quisiera aumentar el buffer de capacidad, debería tener en consideración este factor limitante. Si aumento la producción, el flujo se paralizaría porque no hay suficiente chasis disponibles para el almacenaje momentáneo de los comprimidos para pasar de una fase a otra de la cadena.”
- “Al tratarse de una metodología muy dinámica, en el caso de querer contar con un mayor margen para paliar las posibles interrupciones que se generan en la cadena, lo más interesante sería ajustar el LT para reducirlo y que la alerta del buffer saltase con antelación y siempre se asegure una cobertura de stock mayor. Este puede ser el caso de un periodo de campaña de marketing de *Daflón500* que produzca un exceso de ventas y se necesite ganar capacidad para incrementar la producción.”
- “Fiabilidad del planning de las previsiones (como limitante del proyecto). Las métricas con las que trabajamos principalmente son: indicadores de supply, volumen full rate (tasa de servicio) tasa de accuracy, ver si tu producción ha

asegurado las ventas. Objetivo es tener el menor stock posible para asegurar las ventas. El mejor stock es el que no tienes, cuanto más stock, más dinero inmovilizado que no está creando valor.”

- “Hay que convencerse de que la señal para decidir qué comprar y qué lanzar a fábrica procede de la demanda real y no de las previsiones.”