



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA EN SISTEMAS – INGENIERÍA EN TRANSPORTE

UN MODELO DE SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN PARA MINIMIZAR
LOS NIVELES DE OVERSTOCK EN TIENDAS Y EN EL CENTRO DE
DISTRIBUCIÓN DE UN RETAILER

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. ALEJANDRA TORRES ROMERO

TUTORA
DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS FACULTAD DE INGENIERÍA

CDMX, MAYO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

GLOSARIO DE TÉRMINOS	4
ABREVIATURAS	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 1. La problemática del aprovisionamiento	10
1.1 El Contexto	10
1.1.1 La Cadena Comercial.....	11
1.1.2 El Estado Deseado	15
1.2. Los Problemas por Resolver.....	16
1.3. El Objetivo General	17
1.4. Los Objetivos Específicos	17
CAPÍTULO 2. La Revisión de la Literatura y el Marco Teórico	18
2.1 Los Modelos de Simulación	18
2.2 Los Métodos de Simulación-Optimización y Sus Aplicaciones.....	21
2.3 <i>Stochastic Trust Region Gradient-Free Method (STRONG)</i> – Un Nuevo Algoritmo Basado en la Superficie de Respuesta en Simulación – Optimización.	24
2.4 La Simulación – Optimización usando Metamodelos	27
2.5 Metamodeling para Aplicaciones de Simulación en Producción y Logística.	30
2.6 Una Solución de Simulación – Optimización para el Problema de Revisión Continua de Inventario con el Tamaño del Lote Dependiente del Tiempo de Entrega.....	34
2.7 La Metodología Simulación – Optimización.....	38
2.8 Software Utilizado en la Simulación-Optimización con su Aplicación en Cadena de Suministro.....	41
CAPÍTULO 3. Un Modelo de Simulación – Optimización de los Niveles de Stock para Minimizar Overstock y Faltantes	50
3.1 Modelo de Simulación de La Compañía	50
3.1.1 Principios de Aprovisionamiento	50
3.2 Modelo de Optimización de La Compañía	54
3.2.1 Cálculo del Sugerido	54
3.2.3 Órdenes de Compra.....	57
3.2.4 <i>Super Vendor</i>	59
3.2.5 <i>Sub Vendor</i>	60
3.2.6 <i>System Class</i>	61
3.2.7 <i>Buyer Class</i>	61
3.2.8 Excepciones Históricas	62
3.2.9 Módulos Avanzados	65
Capítulo 4. Escenarios para Minimizar los Niveles de Overstock en las Tiendas y el Centro de Distribución de La Compañía	69

4.1	Parámetros Operativos/Logísticos	69
4.1.1	Previsión de la Demanda	69
4.1.2	<i>Lead Time</i> (Tiempo requerido para entregar el producto al cliente).....	71
4.1.3	Inventario de seguridad	74
4.1.4	Ciclo de Pedido	78
4.2	Diseño de Escenarios	79
4.2.1	Planificación	79
4.2.2	Red Logística	80
4.2.3	Gestión de Transacciones	82
4.2.4	Gestión de Ingresos	83
4.2.5	Operación en Tiendas y Bodegas.....	83
4.2.6	Aprovisionamiento	84
4.2.7	Análisis de Resultados	84
	CONCLUSIONES.....	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	90
	WEBGRAFÍA	90

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Crossdock: La técnica *crossdock* es una práctica en logística que puede aportar rapidez y reactividad a la cadena de suministro. Una instalación *crossdock* es una plataforma logística donde las mercancías se descargan de los camiones de entrada, se clasifican, se envían y se vuelven a cargar en camiones de salida con poco o ningún almacenamiento intermedio.

Retailer: la venta al por menor son actividades comerciales involucradas en la venta de bienes y servicios a los consumidores para su uso personal, familiar o doméstico.¹

SKU: stock-keeping unit (por sus siglas en inglés), que se refiere a la unidad de mantenimiento de existencias, es un número o código asignado a un elemento para poder identificarlo en el inventario físico o financiero.

Pallet: es una paleta plana de madera, plástico u otro material empleado en el movimiento de carga, para facilitar el levantamiento y manejo con montacargas.

Picking: proceso de recogida de material extrayendo unidades de una unidad de empaquetado superior que contiene más unidades que las extraídas.

Lead time: (tiempo de entrega), cantidad de tiempo que toma desde que se crea una demanda de un componente específico hasta que se entrega al almacén requerido o ubicación adecuada, y se pone a disposición para el consumo.

Safety stock: (inventario de seguridad), nivel extra de existencias que se mantienen en almacén para hacer frente a las variaciones de demanda, suministro o producción.

Order cycle: (ciclo de pedido), tiempo transcurrido entre el momento en que se levanta un pedido, una orden de compra o una solicitud de servicio al proveedor y el momento en que el producto o servicio es recibido por el cliente.

Forecast: El pronóstico es el proceso de estimación en situaciones de incertidumbre.

Item: artículo

Overstock: Excedente de inventario

¹ (Evans, 2001)

ABREVIATURAS

ASR – *Advanced Store Replenishment*

AWR – *Advanced Warehouse Replenishment*

CEDIS / DC – *Centro de Distribución*

LT – *Lead Time*

SC – *Supply Chain*

PYMES – *Pequeñas y Medianas Empresas*

SKU - *stock-keeping unit*

NS – *Nivel de Servicio*

LP – *Linear Programming*

RSM – *Response Surface Methodology*

GA – *Genetic Algorithms*

ES – *Evolutionary Strategies*

SA – *Simulated Annealing*

TS – *Tabu Search*

SPO – *Sample Path Optimization*

TR – *Trust Region Method*

STRONG – *Stochastic Trust Region Gradient-free Method*

JIT – *Just In Time*

EOQ – *Economic Order Quantity*

SOQ – *Suggested Order Quantity*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

MADP – *Mean Absolute Deviation Percentage*

OPA – *Order Policy Analysis*

IOP – *Item Order Point*

OUTL – *Order Up To Level*

EOF – *Economic Order Frecuency*

IOC – *Item Order Cycle*

RESUMEN

Esta tesis se centra en la solución de los principales problemas de aprovisionamiento que presenta La Compañía; faltantes y *overstock*, en sus tiendas y en el Centro de Distribución. El objetivo principal de este documento es implementar un modelo de simulación-optimización para minimizar los niveles de *overstock* sin caer en faltantes, considerando ciertos parámetros operativos/logísticos como previsión de la demanda, tiempo de entrega, inventario de seguridad y ciclo de pedido.

Se realizó una investigación bibliográfica de los métodos de simulación-optimización y sus aplicaciones para reducir los niveles de inventario y gestión de aprovisionamiento, además de *softwares* de simulación-optimización especializados en cadena de suministro para compararlos con el *software* BlueYonder™, uno de los *softwares* más potentes en dicho mercado actualmente.

Se implementó un modelo de simulación-optimización en distintos escenarios para reducir los niveles de inventario en tiendas y en el Centro de Distribución de La Compañía, utilizando el *software* BlueYonder™, debido a las ventajas que ofrece sobre otros *softwares*, ya que permite un control de la cadena de suministro de principio a fin en tiempo real.

Los módulos del *software* BlueYonder™ implementados específicamente son: *Advanced Store Replenishment* (ASR) y *Advanced Warehouse Replenishment* (AWR), para gestionar el aprovisionamiento del Centro de Distribución a las tiendas y de los proveedores al Centro de Distribución, respectivamente.

Como parte de los resultados de la implementación de dicho modelo de simulación-optimización en La Compañía, se obtuvo una reducción en los niveles de inventario en un 55% del total del catálogo de artículos y un ahorro de tiempo del 40% en la gestión operativa/logística del proveedor.

ABSTRACT

This thesis focuses on the solution of the main supply problems that the Company presents; missing and overstock, in their stores and in the Distribution Center. The main objective of this document is to implement a simulation-optimization model to minimize overstock levels without missing, considering certain operational / logistics parameters such as demand forecast, lead time, safety stock and order cycle.

A bibliographic research was carried out on the simulation-optimization methods and their applications to reduce inventory levels and supply management, as well as simulation-optimization software specialized in supply chain to compare them with the BlueYonder™ software, one of the most powerful softwares on the market today.

A simulation-optimization model was implemented in different scenarios to reduce stock levels in stores and in the Company's Distribution Center, using the BlueYonder™ software, due to the advantages it offers over other softwares, since it allows control of supply chain from start to finish in real time.

The modules of the BlueYonder™ software specifically implemented are: Advanced Store Replenishment (ASR) and Advanced Warehouse Replenishment (AWR), to manage the supply from the Distribution Center to the stores and from the suppliers to the Distribution Center, respectively.

As part of the results of the implementation of the simulation-optimization model of the BlueYonder™ software in The Company, it was obtained a reduction in inventory levels by 55% of the total item catalog, and a time saving of 40% in the operational / logistics management of the supplier.

INTRODUCCIÓN

La Compañía, una de las cadenas comerciales de artículos de oficina y papelería líder en el mercado, presenta dos principales problemas de aprovisionamiento; faltantes y *overstock*, tanto en tiendas como en los Centros de Distribución, debido a que se busca cumplir con el nivel de servicio de cada uno de los artículos, al menor costo de inversión en inventario y espacio de almacenaje. La operación se complica, ya que La Compañía cuenta con 3,500 artículos activos, 1,251 proveedores nacionales e internacionales y 93 tiendas y cada artículo se comporta diferente, es decir, con niveles de servicio únicos y condiciones de compra específicas por parte de cada uno de los proveedores.

Reducir los niveles de inventario sin caer en faltantes, es un problema común entre los *retailers*, por lo que es un tema que ha sido estudiado por distintos autores en los últimos años, tales como Galina Merkurjeva en su artículo titulado “*Metamodelling* para aplicaciones de simulación en producción y logística” o Ibrahim Al-harkan y el Dr. Moncer Hariga en su artículo: “Una solución de simulación-optimización para el problema de revisión continua de inventario con el tamaño del lote dependiente del tiempo de entrega”, donde mencionan que han utilizado los métodos de simulación – optimización basados en metamodelos para encontrar la solución en distintos eslabones de la cadena de suministro, disminuyendo los costos y el tiempo necesarios para programar un modelo de simulación, ya que los metamodelos reproducen con precisión el modelo de simulación y son computacionalmente más eficientes que un modelo de simulación en sí.

Hoy en día, las grandes empresas de *retail* introducen en su operación algún *software* especializado en cadena de suministro que mejor se adapte a sus necesidades, principalmente porque gestionan un volumen importante de proveedores, artículos y clientes, el cual es imposible administrar de forma manual, por lo que recurren a la automatización de algunos procesos en la cadena, para cumplir con el nivel de servicio deseado al menor costo y en el menor tiempo posible.

Es importante evaluar las metodologías que utilizan cada *software*, para identificar cuál es el que mejor se adapta a la operación de cada compañía, sin embargo, la demanda se modifica constantemente, por lo que éstos deben actualizarse cada cierto periodo e incluir las mejoras necesarias para satisfacer dicha demanda.

En el caso de La Compañía que se torna en esta tesis, el objetivo principal es implementar un modelo de simulación-optimización para minimizar los niveles de *overstock* sin caer en faltantes, tanto en las tiendas como en el Centro de Distribución, que apoye la toma de decisiones para

una gestión de aprovisionamiento eficiente, considerando parámetros operativos/logísticos claves como previsión de la demanda, *lead time*, inventario de seguridad y ciclo de pedido.

Para La Compañía es de suma importancia reducir los niveles de inventario en las tiendas (para los artículos *crossdock*) y en el Centro de Distribución (para los artículos de *stock*). En el caso de los artículos de *stock*, generalmente pertenecen a proveedores con tiempos de entrega de hasta 3 meses, lo que implica pedir mayor volumen y almacenarlo, ya que se generan órdenes de compra con un alto valor monetario debido a los gastos logísticos involucrados, sin embargo, no se debe dejar de lado el espacio de almacenaje limitado y la demanda real de las tiendas, por lo que para La Compañía es complicado definir la frecuencia de pedido y la cantidad a pedir, evitando *overstock* y faltantes.

En el caso de los artículos *crossdock*, los pedidos se generan de la tienda al Proveedor, pero al igual que en el centro de distribución, las tiendas cuentan con un espacio para el *stock* limitado, además de que los proveedores tienen condiciones de compra y sus empaques son más grandes de lo que necesita una sola tienda, por lo que se debe hacer un *picking* en la bodega, antes de enviarlo a las tiendas. Para La Compañía es complicado definir la cantidad a ordenar, considerando la necesidad real de las tiendas de forma agrupada, y en la distribución conocer la demanda real de cada una de las tiendas, por lo que actualmente envían la misma cantidad a cada una de éstas.

En ambos casos, BlueYonder™ generará las órdenes de compra sugeridas de manera automática considerando cuatro principales factores; previsión de la demanda (de acuerdo con la demanda real), tiempo de entrega, inventario de seguridad y ciclo de pedido, todos a nivel artículo – tienda / artículo – CEDIS, permitiendo dar un seguimiento más detallado primero de forma individual y posteriormente por tienda, Centro de Distribución y proveedor evitando *overstock* y faltantes, además de reducir costos y tiempos de gestión por parte del proveedor.

CAPÍTULO 1. La problemática del aprovisionamiento

1.1 El Contexto

La cadena de suministro o “*supply chain*” (SC) es la agrupación de la serie de actividades asociadas con el flujo y la transformación de bienes desde la extracción de la materia prima hasta el consumidor final, así como los flujos de información asociados al proceso.² Es esencialmente un conjunto de proveedores y clientes conectados; donde cada cliente es a su vez proveedor de la siguiente organización hasta que el producto terminado alcanza al consumidor final (ver Ilustración 1):



Ilustración 1. Cadena de suministro. Fuente: Elaboración propia (2019).

El proceso de la cadena de suministro tiene 3 partes fundamentales; en primer lugar, el suministro, que se concentra en el cómo, dónde y cuándo se consiguen y suministran las materias primas para la fabricación. En segundo lugar, encontramos la fabricación, que convierte las materias primas en productos terminados. Por último, la distribución, que se asegura que dichos productos finales lleguen al consumidor final a través de una red de distribuidores, almacenes y comercios minoristas.

Entre los tres procesos anteriores debe haber una sincronización, ya que cualquier falla en algún punto de la cadena creará un efecto en cadena tanto hacia atrás como hacia adelante, provocando bloqueos.

En relación con las funciones de la cadena de suministro se encuentran 4 principales; administración del portafolio de productos y servicios, que es la oferta que La Compañía hace al mercado. Toda la cadena de suministro se diseña y ejecuta para soportar esta oferta. Otra de las funciones es de servicio al cliente, el cual es responsable de conectar la necesidad del cliente con la operación interna de La Compañía. El control de producción es otra funcionalidad derivada de las políticas particulares de servicio que tenga La Compañía y de la administración de la demanda, se encarga de programar la producción interna y como consecuencia dispara la actividad de abastecimiento de insumos. Por último, el abastecimiento que se encarga de custodiar insumos y producto terminado, hacerlo llegar a los clientes y a la red de distribución

² (Handfield, 1998)

que puede incluir otros almacenes o centros de distribución, según sea el caso. Estas 4 funciones deben operar coordinadamente para que la cadena de suministro interna sea eficiente y efectiva. En esta tesis nos concentraremos en el eslabón de la cadena de suministro; Minoristas, que se refiere a las compañías (que en un futuro llamaremos *retailer*) donde se distribuye finalmente el producto para que los clientes puedan adquirirlo.

1.1.1 La Cadena Comercial

Una de las cadenas comerciales de artículos de oficina y papelería líder en el ramo fue fundada en 1996 en la Ciudad de México (en adelante La Compañía), ofreciendo un amplio catálogo de productos de calidad con un servicio confiable que hoy los ha colocado dentro de la preferencia de diversos clientes que van desde estudiantes y padres de familia, micro-negocios y PYMES; hasta corporativos, instituciones educativas y de gobierno.

La Compañía brinda un servicio a lo largo de toda la República Mexicana. Su infraestructura consiste en 92 tiendas, un centro de distribución, un centro de Atención a Clientes, y cuenta con 80 representantes de ventas en campo y una tienda en línea; que en coordinación con su corporativo cumplen el objetivo de satisfacer las necesidades del lugar de trabajo, ya sea en la oficina o en el hogar. La localización de las tiendas y el CEDIS se indica en la Ilustración 2.



Ilustración 2. Ubicación de las tiendas y CEDIS en México.

Fuente: Elaboración propia (2019).

La Compañía diferencia sus tiendas como estándar y *express*. La Compañía además incluye un inventario de 3,500 artículos únicos (*SKU* activos) de 1,251 proveedores nacionales y extranjeros, que le permiten abastecer las 93 tiendas de La Compañía. La relación con los proveedores establece condiciones de compra con base en el peso, volumen, monto o cantidad, por lo que en ocasiones es necesario incluir de forma conjunta las necesidades de más de una tienda para poder cumplir con dichas restricciones. A nivel compañía se tiene un nivel de servicio del 95%. Sin embargo, puede haber proveedores con un nivel de servicio superior a éste debido al tipo de artículos que distribuyen.

Para realizar el aprovisionamiento de artículos de *stock* y artículos *crossdock*, en La Compañía existen diferentes flujos logísticos según los diferentes artículos.

- A. *Stock*: Los artículos que solicitan las tiendas al almacén asumiendo que existe suficiente inventario, por lo que el Centro de Distribución debe hacer los pedidos a proveedor oportunamente para poder satisfacer las necesidades de las tiendas.
- B. *Crossdock*: Los proveedores hacen la entrega de los artículos en el Centro de Distribución donde se abren los pallets y se hace *picking* para distribuir a las diferentes tiendas, nunca es almacenado este tipo de productos.

Gráficamente podemos identificar los flujos logísticos de la siguiente manera:

- A. Para los artículos parametrizados como *stock*, ver la Ilustración 3:

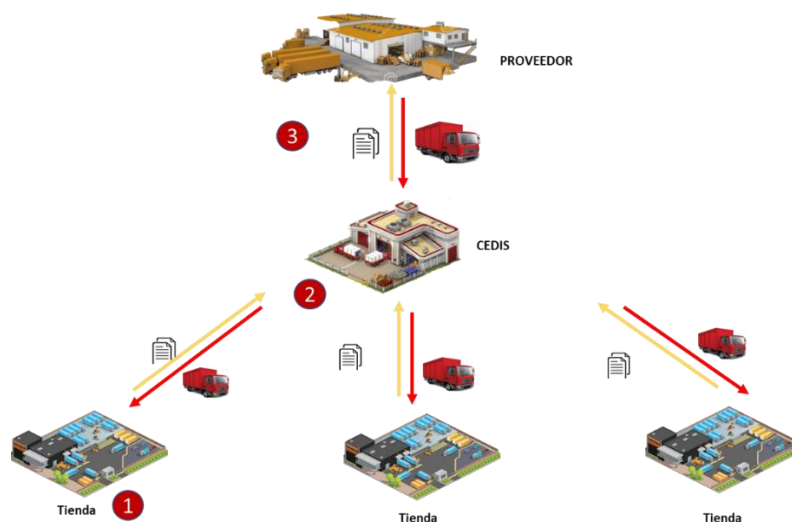


Ilustración 3. Flujo logístico – *STOCK*.

Fuente: Elaboración propia (2019).

Donde los pasos a seguir son los siguientes:

1. Las tiendas generan una orden de compra al almacén de acuerdo con sus necesidades y niveles de *stock*, suponiendo que habrá suficiente *stock* almacenado en el almacén.
2. El almacén genera una transferencia a las tiendas según lo solicitado por cada una de ellas. En caso de que no haya suficiente *stock*, se realiza una distribución a las tiendas de acuerdo con la disponible.
3. El almacén genera una orden de compra al proveedor teniendo en cuenta las necesidades y niveles de *stock* en las tiendas y el almacén.

B. Para los artículos parametrizados como *crossdock* ver la Ilustración 4:

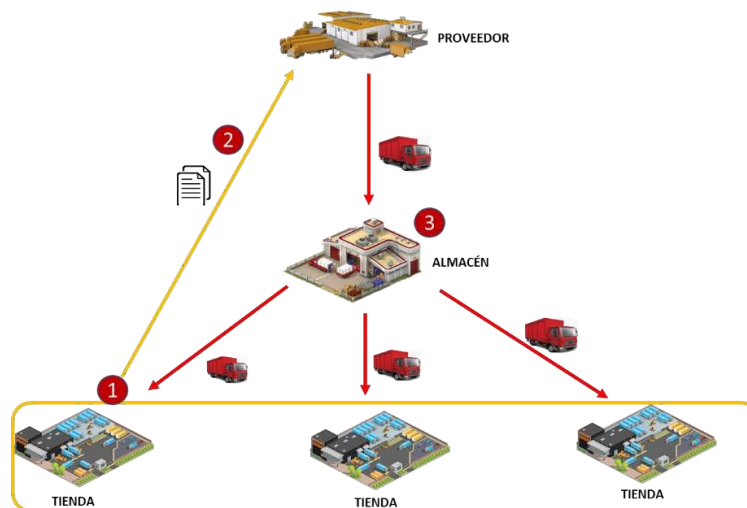


Ilustración 4. Flujo logístico – *CROSSDOCK*.

Fuente: Elaboración propia (2019).

Donde los pasos a seguir son los siguientes:

1. Se agrupan las necesidades de todas las tiendas
2. Se genera un orden de compra de Tienda a Proveedor, que además de agrupar las necesidades de todas las tiendas, emite un pedido con la cantidad necesaria para cada una de ellas.
3. La mercancía llega al CEDIS que funciona como *crossdock*, donde se realiza un *picking* y las cajas correspondientes se envían a cada tienda de acuerdo con los pedidos emitidos anteriormente.

Cabe señalar que, el 60% de los proveedores realizan la entrega de los artículos por el canal

logístico *crossdock*, lo que implica que pasan por el CEDIS y se debe considerar el espacio para almacenarlos mientras son enviados a las tiendas donde se solicite, sin embargo, el tiempo de almacenaje es muy corto. Por otro lado, el 40% de los pedidos se hacen de la tienda al almacén si es que en éste hay *stock* suficiente para cumplir con el requerimiento. El hecho de que sea menor el porcentaje de pedidos de tienda a CEDIS, es debido a que hay poco espacio de almacenaje.

Actualmente se generan pedidos de tienda a almacén (1) y de almacén a proveedor (2) manualmente por parte de los planificadores (ver Ilustración 5), quienes consultan el periodo de ventas más reciente y los niveles de *stock* en el momento, para establecer las cantidades de pedido por artículo, ocasionándoles a corto plazo problemas de *overstock* o rotura de *stock*.

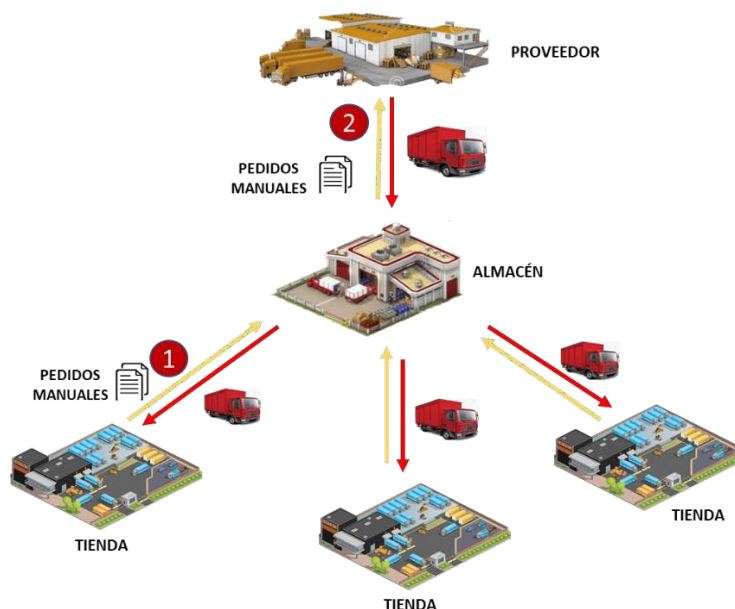


Ilustración 5. Flujo logístico para productos almacenados.

Fuente: Elaboración propia (2019).

Lo anterior debido a varias razones, como el que no tienen un registro del comportamiento de los artículos para saber si tienen estacionalidad, es decir, si son artículos de temporada con valles y crestas durante un periodo de tiempo definido, hacer pedidos grandes principalmente a los proveedores con un *Lead Time* (LT) o tiempo de entrega de varios días o con condiciones de compra estrictas, no contar con una previsión de la demanda por artículo y no establecer un *stock* de seguridad de acuerdo con el nivel de servicio asignado ya sea a nivel compañía, proveedor o artículo (*item*).

A nivel artículo se cuenta con una clasificación ABC, que se refiere a la rotación que tiene cada uno de los *items*. El 4% de los artículos de La compañía son A y tienen un nivel de servicio (NS)

del 98%, 26% de los *items* son B, 18% son C y el último 53% son clasificados como D. Los niveles de servicio son 97%, 95% y 90% respectivamente. Esta clasificación es muy importante ya que de acuerdo con ésta se define el inventario de seguridad para cada uno de los artículos.

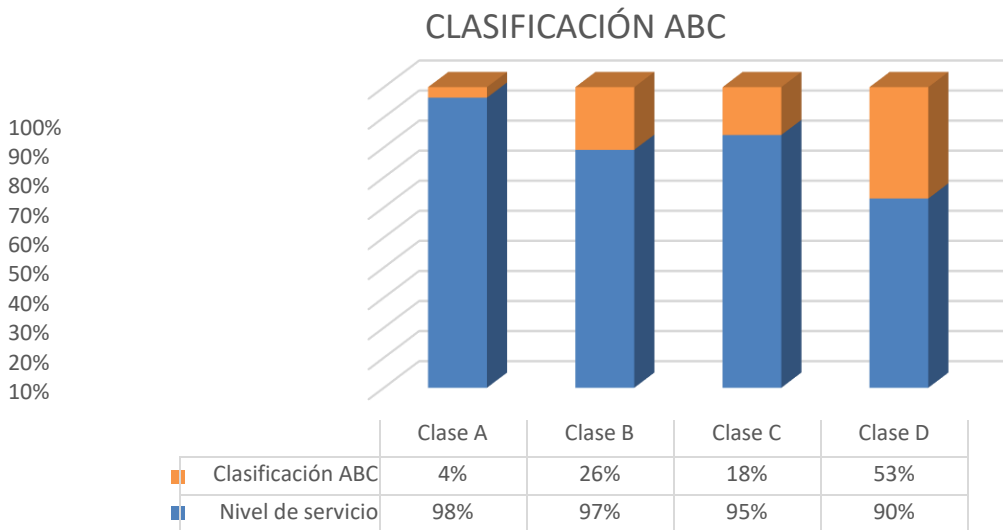


Ilustración 6. Clasificación ABC. Fuente: Elaboración propia (2019).

1.1.2 El Estado Deseado

La Compañía requiere el apoyo en la definición de las órdenes de compra que se deben colocar tanto a los proveedores como al CEDIS considerando la previsión de la demanda y los niveles de inventario de cada uno de los artículos, ya que existen algunos artículos que son considerados *slow movers* (de rotación lenta), lo que hace aún más complicado el aprovisionamiento. Además de las especificaciones impuestas por cada uno de los proveedores, ya que el objetivo es evitar ventas perdidas o *sobrestok*, debido a que éste último refleja una inversión de capital importante y mayor espacio de almacenaje. Mientras que las ventas perdidas, provocan menos ingresos y menor confiabilidad por parte del consumidor.

La capacidad de las tiendas es reducida, y la mayoría de los artículos son de volúmenes grandes, por lo que es importante se ordene sólo lo necesario y se revise cada noche la demanda real, la previsión y el *stock* de cada uno de los ítems en cada una de sus ubicaciones, por tal motivo La Compañía solicita se elaboren órdenes de compra a nivel *item – loc*, que se refiere a la localización del artículo en cada una de sus tiendas.

1.2. Los Problemas por Resolver

La compañía cuenta con más de 3,500 artículos únicos (*SKU* activos) para la venta y distribución, por lo que generalmente presenta problemas de aprovisionamiento, al desear cumplir con el nivel de servicio de cada uno de estos *items*, ya que esto requiere encontrar un balance entre aceptar cierto riesgo de venta perdida a cambio de un ahorro de inventario que haría falta para evitar esta pérdida.

Los principales problemas de aprovisionamiento que presenta La Compañía son tener faltantes o *overstock* tanto en CEDIS como en tiendas, debido a que cada *item* se comporta de manera diferente, es decir, tiene una previsión y un nivel de servicio únicos y cada proveedor tiene ciertas especificaciones que se deben cumplir, tales como *Lead Time* y Ciclo de Pedido, que es la frecuencia con la que se colocan las órdenes de pedido, según los costos de ordenar y almacenar.

Dentro de los factores que conllevan a esta problemática se encuentran los siguientes:

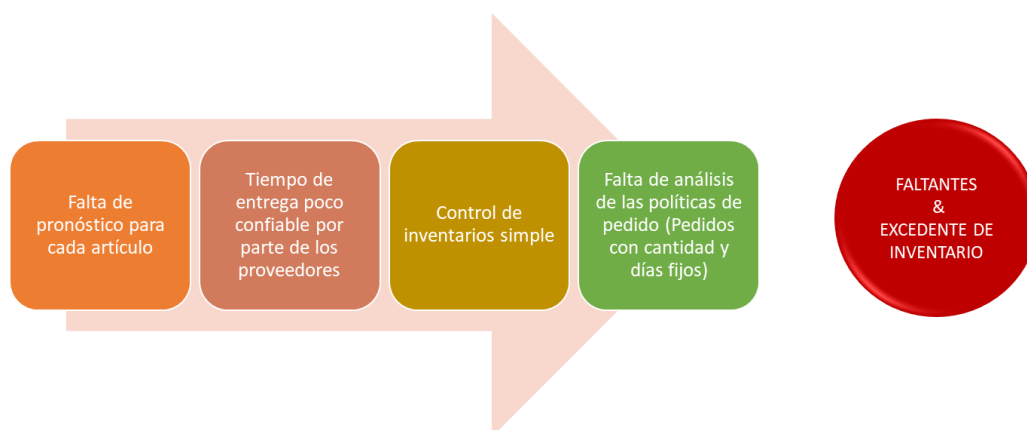


Ilustración 7. Factores que conllevan a faltantes y *overstock*.

Fuente: Elaboración propia (2019).

Los faltantes y el *overstock* son los principales problemas para resolver en esta tesis, ya que, de no hacerlo, puede ocasionar ventas perdidas y pérdida de dinero por tener tanto producto en *stock*, debido a que en ocasiones los artículos pierden sus características después de cierto tiempo almacenado.

1.3. El Objetivo General

Implementar un modelo de simulación-optimización para minimizar los niveles de *overstock* en las tiendas y del Centro de Distribución de La Compañía, que apoye la toma de decisiones en la gestión de aprovisionamiento eficiente, considerando parámetros operativos/logísticos como previsión de la demanda, *lead time*, inventario de seguridad y ciclo de pedido.

1.4. Los Objetivos Específicos

- Revisar literatura relacionada con los métodos y las aplicaciones de simulación – optimización de niveles de inventario y gestión de aprovisionamiento. Revisar la literatura relacionada con la metodología de simulación-optimización. Revisar la literatura acerca del *software* utilizado en la simulación-optimización con su aplicación en cadena de suministro.
- Implementar un modelo de simulación – optimización de los niveles de *stock* de cada tienda y del Centro de Distribución de La Compañía utilizando el *software* BlueYonder™.
- Diseñar los escenarios de simulación considerando parámetros operativos/logísticos como previsión de la demanda, *lead time*, inventario de seguridad y ciclo de pedido para minimizar los niveles de *overstock* en las tiendas y el Centro de Distribución de La Compañía.

CAPÍTULO 2. La Revisión de la Literatura y el Marco Teórico

En este capítulo se revisa la literatura relacionada con los métodos y las aplicaciones de simulación – optimización de niveles de inventario y gestión de aprovisionamiento. También se revisa la literatura relacionada con la metodología de simulación-optimización. Finalmente, se revisa la literatura acerca del *software* utilizado en la simulación-optimización con su aplicación en cadena de suministro.

2.1 Los Modelos de Simulación

El modelado es una de las formas más utilizadas para resolver problemas de la vida real sin requerir esfuerzos extremos o alterar las condiciones actuales. Construir un modelo (representación simplificada de un sistema real) elaborada para comprender, predecir y controlar el comportamiento de dicho sistema, sin experimentar riesgos por errores y pudiendo definir qué detalles son relevantes y cuáles no para la solución de dicho problema, probándolo en n ocasiones.

En la actualidad la computadora nos proporciona un mundo virtual donde podemos crear y modelar cualquier situación que nos imaginamos. Existen herramientas de modelado de simulación – optimización que se utilizan para explorar diversos sistemas dinámicos en infinidad de entornos, además de los mercados de consumo que es el tema que nos concierne en esta tesis.

En muchas compañías se comenzó y en algunas se continúa utilizando el *excel* como *software* de modelado para planeación estratégica, procesos de optimización, ventas, *forecast*, logística, *marketing*, gestión de proyectos y recursos humanos, entre otros. Dentro de las ventajas de esta herramienta es que se puede instalar en cualquier computadora y es fácil de gestionar, además de ser muy flexible y adaptarse a las necesidades del negocio por medio de una cadena de fórmulas que ligan los valores de entrada (*input*) con los de salida (*output*). Sin embargo, la operación cada vez es más dinámica y menos estática, lo que conlleva a las empresas a adquirir tecnologías de modelado que son diseñadas específicamente para el análisis de sistemas dinámicos, e implican un modelado de simulación.

El modelado de simulación se puede ejecutar tantas veces sea necesario o se hagan cambios en los parámetros involucrados. Se puede considerar el modelado de simulación como un conjunto de reglas que muestran cómo obtener el siguiente estado del sistema, tomando en cuenta el sistema actual. Dichas reglas involucran ecuaciones diferenciales, gráficos de estado,

diagramas de flujo del proceso, horarios, entre otros. Las salidas del modelo se producen y se observan a medida que el modelo se ejecuta. Generalmente, los grandes negocios gestionan bases de datos con mucha información, lo cual es complicado trabajar con un *excel*, y es por eso por lo que invierten en la implementación y capacitación de un *software* de modelado de simulación que reduzca costos y tiempos de gestión.

Dentro de las ventajas del modelado de simulación se encuentran el análisis y las soluciones donde otros métodos han fallado, ser un proceso más directo que el modelado analítico, reflejar la estructura del sistema real, manejar un lenguaje sencillo por lo que es fácil comunicar a la gente, medir cualquier valor y rastrear cualquier entidad que no esté por debajo del nivel de abstracción y jugar y manipular el comportamiento del sistema en tiempo, lo que ayuda al momento de justificar alguna propuesta.

El modelado de simulación se ha implementado en un amplio rango de aplicaciones a distintos niveles de abstracción conforme se van desarrollando nuevos métodos y tecnologías. Se tienen tres niveles de abstracción; baja, media, alta.³ En el nivel de abstracción baja se encuentran modelos donde los objetos del mundo real se representan con los máximos detalles, se tiene interacción física, es decir, modelado de eventos discretos. Los modelos de abstracción alta son aquellos que se gestionan a nivel macro, donde se definen las estrategias, como sistemas sociales, ecosistemas, economía, y en general todos aquellos sistemas dinámicos. Por último, están los modelos de abstracción media que representan el nivel táctico de las operaciones en transporte, almacenes, aeropuertos, procesos de negocio, entre otros, considerando un modelado basado en agentes. Seleccionar el nivel de abstracción es esencial para un modelado exitoso, una vez se decida qué incluir en el modelo, la elección del método de modelado y la codificación real del modelo son bastante sencillas.

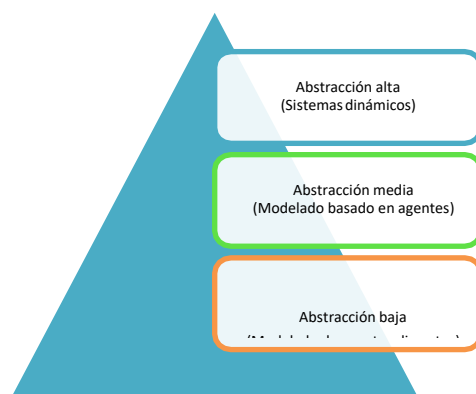


Ilustración 8. Modelos de Simulación

Fuente: Elaboración propia (2020).

³ (Borshchev, 2013)

Actualmente existen 3 métodos mencionados anteriormente; sistemas dinámicos, modelado de eventos discretos y modelado basado en agentes, los cuales son un marco de referencia para el modelado de simulación.

Los sistemas dinámicos tienen antecedentes de ciencia e ingeniería, adoptan un punto de vista endógeno modelando el sistema como una estructura causalmente cerrada que define su comportamiento, tomando en cuenta los circuitos de retroalimentación como punto principal de la dinámica del sistema, identificando también acumulaciones y flujos que lo alteren. En general, considera los eventos y las decisiones individuales como fenómenos superficiales borrosos, basados en una estructura oculta y en el comportamiento del sistema. ⁴

El modelado de eventos discretos considera que el sistema se está modelando como un proceso, como una secuencia de operaciones que se realizan entre entidades, generalmente las empresas utilizan diagramas de flujo para ejemplificar los procesos, y es por esto por lo que el modelado de eventos discretos es comúnmente utilizado en los negocios. Los modelos de eventos discretos son estocásticos ya que deben ejecutarse por un periodo de tiempo determinado y un cierto número de repeticiones antes de obtener una salida significativa, tales como utilización de recursos, longitudes de cola, rendimiento del sistema, cuellos de botella y costos.

El modelado basado en agentes es el más reciente de los tres métodos mencionados, y se utiliza generalmente cuando se requiere una visión más profunda de los sistemas, debido a los grandes avances en tecnología que permiten un modelado orientado a objetos (agentes) y gráficos de estado. En ocasiones no se tiene claridad del comportamiento del sistema, de las variables clave o de los flujos de proceso, por lo que por medio del comportamiento de los agentes se puede comenzar a construir el modelo. Los agentes se pueden conectar entre ellos para interactuar o colocar en un ambiente donde definan su propia dinámica.⁵ En ocasiones las dinámicas entre los agentes pueden ser capturados utilizando sistemas dinámicos o eventos discretos, colocándole un diagrama de flujo al agente, por lo que un gran porcentaje de los modelos basados en agentes, son modelos con multi métodos.

Una vez revisados los tres métodos utilizados en el modelado de simulación, el que más se ajusta a las necesidades y operación de La Compañía en estudio, son los sistemas dinámicos, ya que uno de los principales objetivos, es pronosticar las ventas lo más asertivo posible y considerar los niveles de inventario actualizados entre otros parámetros como *Lead Time* y frecuencia de

⁴ (Sterman, 2000) (System Dynamics Society, 2013)

⁵ (Borshchev, 2013)

pedido, para solucionar las dos problemáticas mencionadas al inicio de este documento; faltante y sobre inventario en tiendas y bodega.

Uno de los softwares más utilizados para el modelado de sistemas dinámicos es AnyLogic que ofrece matrices más poderosas y flexibles, por lo que se utilizará en esta tesis para hacer un comparativo en la cantidad sugerida de pedido entre ésta y las herramientas BlueYonder™ Advanced Store Replenishment y BlueYonder™ Advanced Warehouse Replenishment implementadas en La Compañía recientemente. Se utilizarán datos reales en ambos entornos y misma parametrización.

2.2 Los Métodos de Simulación-Optimización y Sus Aplicaciones

Simulation – Optimization se puede definir como el proceso de encontrar los mejores valores de las variables de entrada entre todas las posibilidades, sin evaluar explícitamente cada una de éstas. El objetivo de la *simulation – optimization* es minimizar los recursos gastados mientras maximiza la información obtenida en un experimento de simulación.⁶

Cuando se estudia el modelo matemático de un sistema usando simulación, se llama modelo de simulación, el cual, comprende n variables de entrada y m variables de salida. La salida de un modelo de simulación es utilizada por una estrategia de optimización para proporcionar comentarios sobre el progreso de la búsqueda de la solución óptima. Esto a su vez guía la entrada adicional al modelo de simulación.

Las seis categorías principales de métodos de *simulation – optimization* son:⁷

2.2.1 Los métodos de búsqueda basados en gradientes

Los métodos en esta categoría estiman la función de respuesta gradiente (∇f) para evaluar la forma de la función objetivo y emplear técnicas de programación matemática determinista. Los métodos de estimación de gradiente utilizados con frecuencia se describen a continuación.⁸

- Diferencias finitas: Para estimar el gradiente en un valor específico de x , se deben ejecutar al menos $n+1$ configuraciones del modelo de simulación. Para obtener una estimación más confiable de (∇f) puede haber una necesidad de múltiples observaciones para cada derivada parcial.⁷
- *Likelihood Ratios* (LR): En el método de razón de probabilidad, también llamado función de puntuación, el gradiente del valor esperado de una variable de salida con respecto a una variable de entrada se expresa como el valor esperado de una función

⁶ (Yolanda Carson, 1997)

⁷ (Maria, Simulation Optimization: Methods and applications, 1997)

⁸ (Yolanda Carson, 1997)

de a) parámetros de entrada, y b) parámetros de simulación.⁸

- *Perturbation Analysis (PA)*: En el análisis de perturbación infinitesimal (IPA), todos los gradientes parciales de una función objetivo se estiman a partir de una sola ejecución de simulación. La idea es que, en un sistema, si una variable de entrada es perturbada por una cantidad infinitesimal, la sensibilidad de la variable de salida al parámetro puede estimarse trazando su patrón de propagación.⁷
- *Frequency Domain Method (FDM)*: Morrice y Schruben (1989), definen a este método como un experimento de dominio de frecuencia en el que los parámetros de entrada seleccionados se oscilan sinusoidalmente en diferentes frecuencias durante una larga ejecución de simulación. Los valores de las variables de salida están sujetos a espectros, es decir, retrocediendo contra sinusoides* en las frecuencias de conducción de entrada. Si la variable de salida es sensible a un parámetro de entrada, la oscilación sinusoidal de ese parámetro debe inducir las oscilaciones correspondientes (amplificadas) en la respuesta.⁷

2.2.2 La optimización estocástica

La optimización estocástica es el problema de encontrar un óptimo local para una función objetivo cuyos valores no se conocen analíticamente, pero se pueden estimar o medir. La palabra estocástico es sinónimo de aleatorio, los procesos estocásticos son modelos matemáticos que estudian los fenómenos aleatorios que evolucionan en el tiempo.

Shapiro (1996), menciona que en el método de contraparte estocástico (también conocido como optimización de ruta de muestra) se genera una muestra relativamente grande y la función de valor esperado se aproxima por la función promedio correspondiente. La función promedio se optimiza utilizando un método de *Linear Programming (LP)* determinista, lo cual, permite incorporar la inferencia estadística al algoritmo de optimización que aborda la mayoría de las dificultades en optimización estocástica y aumenta la eficiencia del método.⁹

2.2.3 Response Surface Methodology (RSM)

La metodología de superficie de respuesta es un procedimiento para ajustar una serie de modelos de regresión a la variable de salida de un modelo de simulación (evaluándolo en varios valores variables de entrada) y optimizando la función de regresión resultante. En general, RSM requiere un menor número de experimentos de simulación.⁸

2.2.4 Los métodos heurísticos

Los métodos heurísticos requieren sólo valores de función que se utilizan con frecuencia para la

⁹ (Yolanda Carson, 1997)

optimización de la simulación. Muchas de estas técnicas equilibran la exploración con la explotación, lo que da como resultado estrategias de búsqueda global eficientes. Algunos de los métodos involucrados son:⁸

- *Genetic Algorithms* (GA): Holland (1992), define a los algoritmos genéticos como una estrategia de búsqueda que emplea una elección aleatoria para guiar una búsqueda altamente explotadora, logrando un equilibrio entre la exploración del dominio factible y la explotación de soluciones "buenas".⁸
- *Evolutionary Strategies* (ES): Similar a GA, *Evolutionary Strategies* (ES) son algoritmos que imitan los principios de la evolución natural como un método para resolver problemas de optimización de parámetros.⁸
- *Simulated Annealing* (SA): El recocido simulado es un método de búsqueda estocástico análogo al proceso de recocido físico en el que una aleación se enfría gradualmente para lograr un estado de energía mínimo. SA evita quedarse atascado en los óptimos locales (escalada) y realiza un seguimiento del mejor valor objetivo en general. SA funciona bien en problemas combinatorios.¹⁰
- *Tabu Search* (TS): La búsqueda tabú fue desarrollada por Fred Glover (1989, 1990) para optimizar una función objetivo con una característica especial diseñada para evitar quedar atrapado en los mínimos locales. TS se utiliza para resolver problemas de optimización combinatoria que van desde la teoría de grafos hasta problemas de programación de enteros puros y mixtos.⁹
- Búsqueda Simplex: La búsqueda comienza con puntos en un simplex que consiste en vértices $p + 1$ (no todos en el mismo plano) en la región factible. Continúa cayendo continuamente el peor punto en el simplex y agregando un nuevo punto determinado por el reflejo del peor punto a través del centroide de los vértices restantes.⁹

2.2.5 A-Teams

A-Teams es un proceso que implica combinar varias estrategias de resolución de problemas para que puedan interactuar sinérgicamente. Los *A-Teams* son inherentemente adecuados para problemas de optimización de simulación de criterios múltiples y, por lo tanto, representa una de las áreas de más rápido crecimiento de la investigación de *simulation - optimization*.⁹

2.2.6 Los métodos de estadística

- Métodos de muestreo de importancia: Shahabuddin (1995), menciona el muestreo de importancia se ha utilizado de manera efectiva para lograr aceleraciones significativas en simulaciones que involucran eventos raros, como fallas en un sistema informático confiable. La idea básica del muestreo de importancia es simular el sistema bajo una medida de probabilidad diferente (por ejemplo, con diferentes distribuciones de

¹⁰ (Yolanda Carson, 1997)

probabilidad subyacentes) para aumentar la probabilidad de rutas de muestra típicas que involucran el evento de interés raro.⁹

- Clasificación y selección: Los métodos de clasificación y selección se emplean con frecuencia para problemas prácticos, por ejemplo, encontrar la mejor combinación de piezas fabricadas en varias máquinas para maximizar la productividad, o encontrar la mejor ubicación para una nueva instalación para minimizar costos.⁹
- Múltiples comparaciones con los mejores: Si el problema es seleccionar lo mejor de un número finito de diseños de sistemas, la comparación múltiple con los mejores (MCB) es una alternativa al *ranking* y la selección. En los procedimientos de MCB, se proporciona una inferencia sobre el rendimiento relativo de todas las alternativas probadas.¹¹

En general, los métodos *simulation – optimization* se han aplicado a aplicaciones con un solo objetivo, o que requieren la optimización de múltiples criterios, o con objetivos no paramétricos.

Un objetivo a largo plazo entre algunos de los profesionales de la simulación y teóricos era poder guiar una serie de simulaciones de la manera más efectiva en lugar de realizar experimentos "a ciegas" y asumir que al menos uno de los experimentos dará la mejor alternativa para implementar.

Muchos desarrolladores de *software* de simulación hoy en día se han vuelto más conscientes de la importancia de encontrar soluciones óptimas o casi óptimas para aplicaciones en minutos, en lugar de realizar un examen exhaustivo de alternativas que lleve días o meses. Algunos de estos *softwares* de simulación son: *ProModel*, *AutoMod*, *Micro Saint*, *LayOPT*, y *FactoryOPT*.

2.3 *Stochastic Trust Region Gradient-Free Method (STRONG)* – Un Nuevo Algoritmo Basado en la Superficie de Respuesta en Simulación – Optimización.

De acuerdo con el artículo, *Stochastic Trust Region Gradient-Free Method (STRONG)* un nuevo algoritmo basado en la superficie de respuesta en la optimización de simulación.¹² *Response Surface Methodology (RSM)* es un método de optimización basado en metamodelos. Su estrategia es explorar pequeñas subregiones del espacio de parámetros en sucesión en lugar de intentar explorar todo el espacio de parámetros directamente. Este método ha sido ampliamente utilizado en la optimización de la simulación.

¹¹ (Yolanda Carson, 1997)

¹² (Kuo Hao Chang, 2007)

Baton y Meckesheimer¹³, definen *simulation – optimization* como “un análisis repetido de la simulación modelo con diferentes valores de parámetros de diseño, en un intento de identificar el mejor rendimiento del sistema simulado”.

Las metodologías de optimización de simulación pueden ser generalmente clasificado en tres categorías, *Simulated Annealing* (SA), *Sample Path Optimization* (SPO) y *Response Surface Methodology* (RSM).

El método de *Stochastic Optimization* intenta imitar el método de búsqueda de gradiente determinista (por ejemplo, método de descenso más pronunciado), es decir, es un proceso iterativo de pasar de una solución a otra en función de la estimación de gradiente.

SPO utiliza la función promedio para aproximar la función objetivo original y luego optimizarla aplicando un método de optimización determinista.

Response Surface Methodology (RSM) es un procedimiento secuencial para construir una relación (funciones polinómicas) entre las variables de entrada y salida y optimizar estas funciones polinómicas. El éxito de RSM se basa en la validez de la curva localizada repetida, el ajuste y la optimización posterior.¹⁴ RSM tiene a su disposición un arsenal de poderosas herramientas estadísticas que incluyen regresión y análisis de varianza.¹⁵

Por otro lado, existe otro método de programación no lineal, determinista de nombre *Trust Region Method* (TR) o Método de Región de Confianza que tiene un marco similar a la Metodología de Superficie de respuesta. TR define una región de confianza alrededor de la iteración actual, construye un modelo cuadrático de aproximación, encuentra la solución óptima dentro de la región de confianza (basada en este modelo cuadrático) y luego pasa a la solución óptima (si es satisfactoria por cierto criterio).

Myers y Montgomery¹⁶ mencionan que el marco fundamental de RSM puede ser brevemente descrito en 2 etapas:

ETAPA I

1. Planificar y ejecutar un diseño factorial (o factorial fraccional) más los puntos centrales en la región de interés.

¹³ (Meckesheimer, 2006)

¹⁴ (Spall, 2003)

¹⁵ (Fu, 1994)

¹⁶ (Montgomery, 2002)

2. Hacer la prueba de curvatura. Si la prueba de curvatura no es significativa, ir al paso 3. De lo contrario, pasar a la Etapa II.
3. Ajustar un modelo de regresión lineal a los datos.
4. Determinar el camino del descenso más empinado (si es un problema de minimización).
5. Avanzar por el camino de descenso más pronunciado hasta que la respuesta ya no mejore.

NOTA: La etapa I se repetirá hasta que la superficie de respuesta lineal se vuelva inadecuado.

ETAPA II

1. Ejecutar un diseño compuesto central y ajustar un modelo cuadrático.
2. Basado en el modelo cuadrático, encuentre la solución óptima.

Ambos construyen el modelo lineal / cuadrático local para cada iteración y lo usan para generar la dirección de búsqueda. Sin embargo, existe alguna diferencia entre ellos, como:

- TR no puede usarse en los problemas estocásticos.
- RSM y TR generan pasos basados en el modelo local, pero usan el modelo de manera diferente.
- RSM comienza con modelos lineales y construye un modelo cuadrático solo en el último paso.
- RSM es un método heurístico sin garantía de convergencia, mientras que TR proporciona garantía de convergencia.
- RSM requiere implicaciones humanas, pero TR es un algoritmo automatizado.

Dado que RSM y TR tienen sus ventajas y desventajas, se propuso un método llamado STRONG (*Stochastic trust región Gradient-Free Method*) que combina ambos métodos, para resolver los problemas de optimización estocástica sin restricciones.

STRONG consta de dos algoritmos, el algoritmo principal y sub-algoritmo. El algoritmo principal es el marco principal que se acerca a una región "mejorada" mientras que el sub-algoritmo es encontrar una solución "satisfactoria" dentro de la región de confianza.

En resumen, STRONG está automatizado y se ha demostrado que converge a la solución óptima local con probabilidad 1. Además, de que tiene una estrategia secuencial flexible e "inteligente" para construir los metamodelos que pueden mitigar en gran medida las cargas computacionales.

2.4 La Simulación – Optimización usando Metamodelos

Muchos métodos de optimización iterativos están diseñados para ser utilizados en conjunto con funciones objetivas deterministas. Un metamodelo es una representación compacta de la estructura de una familia de modelos que permite un desarrollo de aplicaciones más rápido y eficiente, ayuda a la optimización de la simulación al proporcionar un objetivo determinístico con tiempos de ejecución que generalmente son mucho más cortos que la simulación original de eventos discretos.

Los modelos de simulación proporcionan información sobre el comportamiento de sistemas y productos reales. A menudo, la construcción, la verificación y la validación de un modelo de simulación son seguidas por un ejercicio *ad-hoc* del modelo para explorar escenarios de "qué pasaría si". Cuando los objetivos de gestión pueden especificarse claramente, el simulacionista desea ejercer el modelo de simulación con diferentes configuraciones de parámetros de entrada para encontrar configuraciones que cumplan los objetivos.¹⁷

Los autores identifican una serie de estrategias empleadas para la optimización de la simulación:⁸

- Clasificación y selección
- Métodos basados en metamodelos (él llama RSM)
- Procedimientos basados en gradientes
- Búsqueda aleatoria
- Optimización de ruta de muestra
- Metaheurística
- Métodos basados en modelos que ponen una distribución de probabilidad en posibles soluciones

Una estrategia de optimización basada en metamodelos tiene los siguientes elementos:⁸

- Identificar una forma de metamodelo
- Diseñar un experimento que se ajuste al metamodelo
- Realizar el experimento de simulación
- Ajustar el metamodelo y validar la calidad de su ajuste
- Optimizar el metamodelo (o usarlo para proporcionar una dirección de búsqueda)
- Comprobar el rendimiento de la simulación en el óptimo predicho por metamodelo (o siguiendo la dirección de búsqueda determinada por el metamodelo)

¹⁷ (Barton, 2009)

En algunos casos, este proceso se repite, con el nuevo diseño del experimento centrado en la vecindad de la óptima predicha. Se han utilizado dos estrategias generales para la optimización de simulación basada en metamodelos: ajuste global de metamodelos, seguido de optimización y metamodelos locales iterados. En las estrategias globales de ajuste de metamodelos, se explora toda la región de interés (en términos de θ), y los resultados experimentales se utilizan para ajustar una aproximación global. La aproximación global se explora iterativamente en el proceso de optimización. Para las estrategias de ajuste local, los pasos de ajuste y optimización se alternan: a medida que se mueve la búsqueda de optimización, se exploran nuevas regiones locales del espacio θ y se ajustan nuevas aproximaciones de metamodelos.

La estrategia de metamodelado local se usa comúnmente con metamodelos polinomiales de bajo orden. El metamodelo lineal o cuadrático se utiliza para determinar una dirección de búsqueda de optimización. Esto es seguido por una búsqueda de línea, típicamente evaluando el modelo de simulación directamente (promediado en varias réplicas quizás). Debido a que los metamodelos son locales, el teorema de *Taylor* implica que los modelos polinomiales lineales y cuadráticos pueden proporcionar un ajuste adecuado. Este es el escenario para la metodología de la superficie de respuesta.

La optimización global basada en metamodelos rara vez se basa en metamodelos de superficie de respuesta polinómica. En su lugar, se utilizan *spline*, red neuronal, correlación espacial o aproximaciones de función de base radial.

Las aproximaciones a las funciones de respuesta entrada-salida de simulación tienen las ventajas de forma explícita, respuesta determinista y eficiencia computacional. Los tipos de metamodelos, propiedades y diseños experimentales para ajustarlos se muestran a continuación.⁸

TIPO DE METAMODELO	APROXIMACIÓN LOCAL	APROXIMACIÓN GLOBAL	DISEÑOS EXPERIMENTALES	RESPUESTA ESTOCÁSTICA O DETERMINISTA
POLINOMIO LINEAL Y CUADRÁTICO	YES	NO	ACTORIAL FRACCIONAL COMPUESTO CENTRAL COMPUESTO PEQUEÑO	ESTOCÁSTICO
POLINOMIO DE ORDEN SUPERIOR	NO	NO RECOMENDADO	FACTORIAL FACTORIAL FRACCIONAL	ESTOCÁSTICO
REGRESIÓN LINEAL	NO	FENÓMENO ESPECÍFICO	FACTORIAL	ESTOCÁSTICO
FUNCIÓN DE BASE RADIAL	NO	YES	DISEÑOS DE RELLENO DE ESPACIOS: MAXIMIN, MATRIZ	DETERMINISTA
CORRELACIÓN ESPACIAL	NO	YES	ORTOGONAL, HIPERCUBO LATINO DISEÑO UNIFORME IMPULSADO	DETERMINISTA O ESTOCÁSTICO
REDES NEURONALES	NO	YES	POR LA APLICACIÓN	ESTOCÁSTICO O DETERMINISTA
SPLINES	NO	YES	FACTORIAL	ESTOCÁSTICO O DETERMINISTA

Tabla 1. Tipos de metamodelos, propiedades y diseños experimentales para ajustarlos.

Fuente: Russell R. Barton (2009).

Los tipos de metamodelos en la tabla anterior se separan en dos categorías: polinomios de bajo orden para una estrategia local de optimización basada en metamodelos (también llamada metodología de superficie de respuesta), y todos los demás modelos son para estrategias globales de optimización de simulación basadas en metamodelos.

Response Surface Methodology (RSM) tiene su origen en el trabajo de Box y Wilson (1951). Desarrollaron el enfoque mientras trabajaban con una compañía para determinar las condiciones óptimas de operación para los procesos químicos.

RSM generalmente se aplica en configuraciones de optimización sin restricciones. Sin embargo, Kleijnen y coautores han ampliado formalmente el método para incorporar restricciones.

La flexibilidad de las redes neuronales, las funciones de base radial, las *splines* y los modelos de correlación espacial (*kriging*) presentan una oportunidad para ajustar y optimizar un solo metamodelo, eliminando la necesidad de diseñar repetidamente experimentos, realizar corridas y ajustar una secuencia de metamodelos locales. Esto elimina la necesidad de decisiones secuenciales sobre el tipo de metamodelo que se ajustará y el tipo de diseño de experimento que se utilizará para el ajuste, y permite una automatización más completa del proceso de optimización. Sin embargo, la simulación global basada en metamodelos no requiere una estrategia de diseño simultánea. Los métodos de optimización globales más complejos basados en metamodelos actualizan el ajuste global seleccionando ejecuciones de simulación adicionales a medida que avanza la optimización.

La siguiente tabla resume los desarrollos recientes en la optimización de simulación basada en metamodelos:⁸

ARTÍCULO	TIPOS DE METAMODELO	RESPUESTA MODELADA COMO DETERMINISTA O ESTOCÁSTICA	VARIABLES CONTINUAS, ENTERAS O MIXTAS	OPTIMIZACIÓN RESTRINGIDA OSIN RESTRICCIONES	DOE SIMULTÁNEO O SECUENCIAL	MODELOS LOCALES O MODELO GLOBAL
KLEIJNEN 2008	LINEAL Y CUADRÁTICO	ESTOCÁSTICO	CONTINUO	RESTRINGIDO	SECUENCIAL	LOCAL
CHANG ET AL. 2007	LINEAL Y CUADRÁTICO	ESTOCÁSTICO	CONTINUO	SIN RESTRICCIÓN	SECUENCIAL	LOCAL
OOON AND LEE 2006	LINEAL Y CUADRÁTICO	ESTOCÁSTICO	CONTINUO	SIN RESTRICCIÓN	SECUENCIAL	LOCAL
BILES ET AL. 2007; KLEIJNEN ET AL. 2009	<i>KRIGING</i>	DETERMINISTA	CONTINUO	RESTRINGIDO	SIMULTÁNEO	GLOBAL
HUANG ET AL. 2006	<i>KRIGING</i>	ESTOCÁSTICO	CONTINUO	SIN RESTRICCIÓN	SECUENCIAL	GLOBAL
WANG 2005	RED NEURONAL	DETERMINISTA	CONTINUO	RESTRINGIDO	SIMULTÁNEO	GLOBAL

Tabla 2. Resumen de los desarrollos recientes en la optimización de simulación basada en metamodelos.

Fuente: Russell R. Barton (2009).

2.5 Metamodeling para Aplicaciones de Simulación en Producción y Logística.

Los metamodelos en la simulación por computadora se usan para sustituir un modelo de simulación por uno más eficiente computacionalmente o para facilitar un estudio de simulación usando metamodelos analíticos tradicionales o técnicas avanzadas de inteligencia informática como redes neuronales, aprendizaje de reglas o lógica difusa.

Los modelos de simulación son abstracciones de una realidad, que simplifican o eliminan algunas de sus características para obtener información sobre las interconexiones y el comportamiento de otros aspectos de un sistema.

Al mismo tiempo, las modernas tecnologías de simulación permiten disminuir significativamente los costos y el tiempo necesarios para programar un modelo de simulación. Como resultado, esto permite mejorar la salida de los estudios de simulación mediante el análisis del comportamiento de los modelos de simulación, mejorando el análisis de los datos de salida recibidos de los experimentos de simulación y resolviendo el problema de optimización.

Tradicionalmente, las técnicas de metamodelado se colocan dentro del dominio de los experimentos de simulación diseñados estadísticamente donde el metamodelado se usa

implícitamente. Al mismo tiempo, el metamodelo de simulación podría definirse como un modelo que desempeña el papel de un modelo para otro modelo. Los metamodelos estadísticos del tipo de regresión son tradicionales en la literatura y más desarrollados en la práctica.

Los metamodelos en la simulación por computadora podrían usarse al menos para cuatro objetivos principales:¹⁸

1. Comprensión del comportamiento interno del sistema real
2. Predicción y planificación del comportamiento del sistema, es decir, realización de análisis de "qué pasaría si"
3. Optimización de los parámetros del modelo de simulación
4. Validación del modelo de simulación

El procedimiento de simulación que incluye metamodelado contiene la secuencia de los siguientes pasos principales: 1) definición del problema; 2) análisis de sistemas y recopilación de datos; 3) diseñar un modelo de simulación con un diagrama de flujo o algún otro tipo de modelo abstracto y probar su validez; 4) construir un código de programa modelo de simulación por computadora, verificar el programa de simulación y validar el modelo; 5) realización de diseño experimental; 6) ejecutar experimentos de simulación; 7) construir un metamodelo; 8) realizar análisis estadísticos adicionales si es necesario, 9) resolver el problema utilizando los resultados del estudio de simulación realizado.⁹

Al ejecutar experimentos de simulación con un modelo de simulación y construir un metamodelo, verificar y validar el último, se utilizan diferentes técnicas que crean el marco de la metodología de metamodelado de simulación.

El enfoque general de metamodelado se basa en los datos de la experimentación con un modelo de simulación, como resultados de salida de simulación o archivos de rastreo. Los siguientes son los dos requisitos principales para los metamodelos de simulación: 1) reproducir con precisión el modelo de simulación y 2) ser computacionalmente más eficiente que un modelo de simulación en sí.

La construcción de un metamodelo podría realizarse al menos de dos maneras: incluyendo conocimiento *a priori* o sin conocimiento *a priori* basado solo en el conjunto de datos de los experimentos de simulación y supone construir un metamodelo directamente a partir de los datos de salida de la simulación.

¹⁸ (Merkuryeva, 2005)

Las técnicas tradicionales de metamodelado estadístico aplican medios estadísticos y, en general, utilizan el conocimiento *a priori* para encontrar el tipo de función. Los modelos de regresión lineal son más populares en la práctica, ya que los modelos resultantes son fáciles de manejar e interpretar, y los métodos estadísticos como las pruebas t y las pruebas F se pueden usar para validar el metamodelo. Por lo tanto, aunque posiblemente pierda precisión al pasar del modelo de simulación a su metamodelo, el usuario podría perder el rico marco estocástico de la simulación.⁸

Las técnicas de metamodelado en *Response Surface Methodology* (RSM) se basan en la aproximación local de la superficie de respuesta de simulación mediante un metamodelo de tipo de regresión en una pequeña región de factores independientes. La exploración y optimización de las aproximaciones de la función de superficie de respuesta resultante proporcionan herramientas efectivas para la optimización iterativa de la función de respuesta de simulación aplicable para un pequeño número de observaciones en condiciones de experimentos de simulación costosos y que consumen mucho tiempo.

Las técnicas avanzadas de metamodelado se basan en enfoques del área de aprendizaje automático y tecnologías adaptativas, como redes neuronales, aprendizaje de reglas y lógica difusa. Solo usan datos experimentales de la simulación para entrenar a los aproximadores de funciones del modelo de simulación o generar un conjunto de reglas.

La revisión de las aplicaciones de modelado de simulación en la fabricación se utiliza para la planificación y el control de la producción, la fabricación y el control del flujo del taller, la logística de emergencia y la programación del transporte. Estas aplicaciones demuestran que "los metamodelos son más fáciles de administrar y proporcionan más información que la simulación sola".⁹

A continuación, se mencionan dos casos prácticos; uno para el análisis de operaciones de transbordo en empresa de producción, mientras que el otro realizó un análisis de operaciones logísticas en una terminal de contenedores. Para el primer caso, la aplicación tenía como objetivo encontrar un plan de almacenamiento efectivo de materias primas para mejorar las operaciones de transbordo relacionadas con la entrega de piezas, su plan de almacenamiento y el transporte a la planta de producción. Para resolver el problema, se utilizó un procedimiento heurístico como modelo básico destinado a encontrar un plan inicial de almacenamiento factible de los tipos de piezas. Un modelo de simulación estocástica desempeñó el papel de un metamodelo que se utilizó para explorar un plan de almacenamiento inicial y su ajuste. El procedimiento heurístico

se basó en las siguientes reglas: (1) las ubicaciones ubicadas en el área de almacenamiento se definieron de acuerdo con la frecuencia de las piezas de producción solicitadas, (2) el tipo de ubicación se definió de acuerdo con la cantidad de demanda de piezas y la capacidad de la ubicación de la tienda.

En el otro caso práctico sobre un análisis de operaciones logísticas en la terminal de contenedores. La aplicación tenía como objetivo analizar la utilización de los medios de transporte interno y evaluar las posibles decisiones para mejorar los procesos logísticos en la terminal de contenedores. El modelo básico es un modelo de simulación estocástica de la terminal de contenedores desarrollado dentro del entorno de simulación. Éste describe las siguientes operaciones logísticas en la terminal: operaciones de descarga y carga de contenedores en el caso de su transporte por mar, ferrocarril y camiones; transporte de contenedores dentro del área de la terminal, operaciones de almacenamiento de contenedores en los patios y operaciones de procesamiento de contenedores, incluida la verificación de contenedores y el procesamiento de la documentación adjunta.

En resumen, entre los principales beneficios del uso de metamodelado en aplicaciones de simulación se encuentran:⁹

- El análisis de las aplicaciones de simulación y, en particular, en las áreas de producción y logística demuestra que "los metamodelos son más fáciles de administrar y proporcionan más información que la simulación sola".
- Los metamodelos en los proyectos de simulación podrían usarse al menos para cuatro objetivos principales: comprensión del comportamiento interno del sistema real; predicción y planificación del comportamiento de los sistemas, es decir, realización de análisis de "qué pasaría si"; optimización de los parámetros del modelo de simulación; y validación del modelo de simulación.
- La aplicación del metamodelado proporciona una mejor comprensión del modelo de simulación complejo resultante, sustituyendo el posterior por uno más simple y menos costoso.
- Colocar el metamodelo en contexto dentro del diseño y análisis de experimentos estadísticos y proponer una estructura para la organización y categorización de la investigación de metamodelos de simulación proporciona ayudas para transformar el diseño de proyectos de simulación del arte a la ciencia.
- Colocar el metamodelo dentro del análisis de salida posterior a la simulación podría proporcionar una exploración mejorada de los resultados de modelado con los objetivos de la optimización del modelo, la interpretación de su salida y el análisis de sensibilidad.

- El uso de la metodología RSM en problemas de optimización permite disminuir significativamente el número de experimentos de simulación requeridos.
- El metamodelo analítico más simple también se puede utilizar para sustituir los experimentos de simulación, ya que ha superado la ejecución y la reejecución de un costoso programa de simulación.

2.6 Una Solución de Simulación – Optimización para el Problema de Revisión Continua de Inventario con el Tamaño del Lote Dependiente del Tiempo de Entrega.

En el modelo de revisión continua clásica (Q, r) , el tiempo de entrega de adquisición se considera un parámetro de entrada constante o sigue una distribución de probabilidad estacionaria cuando se trata como una variable aleatoria. En otras palabras, se supone que el tiempo de entrega es una entrada dada al modelo y no está sujeto a control. Sin embargo, esta suposición no es realista desde un punto de vista operativo, ya que el tiempo de espera se puede acortar al reducir algunos de sus componentes, como el tiempo de ejecución (tamaño del lote), el tiempo de configuración, el tiempo de movimiento y el tiempo de espera.

Un ejemplo de lo anterior es la implementación exitosa del JIT (*Just-in-Time*) japonés, el cual ha revelado muchos beneficios al considerar el tiempo de entrega como una variable controlable. De hecho, la reducción del tiempo de entrega puede generar un inventario de seguridad más pequeño, un menor riesgo de escasez y, en consecuencia, un mejor servicio al cliente, lo cual ayuda a evitar los problemas de faltantes y *overstock*, que son las principales problemáticas del aprovisionamiento.

Recientemente, Silver¹⁹ introdujo el enfoque "*Changing the Givens*" en el desarrollo de modelos de inventario más realistas. Afirmó que si los modelos matemáticos son ayudas más útiles para la toma de decisiones gerenciales, entonces deben representar formulaciones de problemas más realistas, particularmente permitiendo que algunos de los *Givens* sean tratados como variables de decisión. Los *Givens* son los parámetros que tradicionalmente se tratan como fijos, como el tiempo de configuración, el costo de configuración, la tasa de producción, el tiempo de entrega, entre otros.

El trabajo de Kim y Benton²⁰ se encuentra entre los primeros intentos de relajar la suposición de

¹⁹ (Silver, 1992)

²⁰ (Benton, 1995)

un tiempo de entrega determinado. Incorporaron una relación lineal entre el tiempo de entrega y el tamaño del lote en el modelo de revisión continua de inventario (Q, r) . Asumiendo una distribución normal para la demanda diaria y siguiendo el enfoque de análisis marginal, su algoritmo primero ajusta la expresión de *Economic Order Quantity* (EOQ) para incluir los efectos de la frecuencia del pedido y el tiempo de entrega.

Para las distribuciones de demanda diaria general, el modelo de revisión continua de inventario con tiempo de entrega e interacción de tamaño de lote se vuelve muy difícil de resolver analíticamente. Por lo tanto, para tales casos, la simulación es más apropiada como herramienta para determinar la política de ordenamiento óptima (Q, r) que los métodos analíticos. Para problemas generales de control de inventario, (Browne) enumeró varios beneficios de usar el modelado de simulación en lugar del modelado analítico tradicional. Mencionó que los modelos de simulación podrían proporcionar mayor precisión, flexibilidad y resultados más informativos. También afirmó que los modelos de simulación son más fáciles de modelar y comprender además de ser más adecuados para la gestión. Además, según Banks y Malave²¹, el control de inventario es la segunda área de aplicación más frecuente para la simulación después de los sistemas de colas.

La simulación de eventos discretos se ha utilizado ampliamente para evaluar el rendimiento de sistemas complejos como los sistemas de fabricación y cadena de suministro. La simulación también se usa para modelar y analizar sistemas de inventario cuando la solución analítica es imposible o extremadamente compleja. La falta de disponibilidad y la complejidad de la solución analítica se deben principalmente a la aleatoriedad en la demanda y / o el tiempo de entrega. De hecho, para la demanda estocástica y el tiempo de entrega, la mayoría de los modelos de inventario son aproximaciones heurísticas a los sistemas de inventario del mundo real Hadley y Whitin²¹. Sin embargo, se puede obtener una solución analítica para el problema de revisión continua (Q, r) cuando se supone que el tiempo de entrega es independiente del tamaño del lote de pedido, Q , y el tiempo que se agota en un ciclo es pequeño en comparación a la duración del ciclo.

En un sistema de inventario de revisión continua estocástica (Q, r) , el nivel de existencias de un solo artículo se observa después de cada ocurrencia de demanda. Se realiza un pedido de tamaño Q siempre que la posición de inventario (disponible + en tránsito) cae por debajo del punto de pedido, r . La cantidad de pedido se recibirá después de un tiempo fijo, $L(Q)$, llamado tiempo de entrega. Asumimos una relación lineal entre el tiempo de entrega y el tamaño del lote

²¹ (Malave, 1984)

como en Kim y Benton.²² Matemáticamente, esta relación se puede escribir como:

$$L(Q) = (\theta + PQ)\delta$$

Ecuación 1

donde:

θ = tiempo de configuración en días

P = unidad de tiempo de producción en días

δ = factor de cola de la tienda con $\delta > 1$

Por lo que, se puede concluir que el tiempo de entrega puede escribirse como la suma del tiempo productivo (tiempo de ejecución + tiempo de configuración) y una variable aleatoria que representa el tiempo no productivo, como los tiempos de movimiento y espera.

Una vez revisada la literatura de interés para el objetivo de esta tesis, a continuación, se muestra un cuadro resumen de los modelos utilizados para la solución de algunos de los temas involucrados en la problemática planteada en esta tesis.

²² Whitin, 1966)

ARTÍCULO	AUTOR (ES)	FECHA DE ELABORACIÓN	MÉTODOS DE SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN	APLICACIONES
MÉTODOS Y APLICACIONES	YOLANDA CARSON ANU MARIA	1997	MÉTODOS DE BÚSQUEDA BASADOS EN GRADIENTES OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA <i>RESPONSE SURFACE METHODOLOGY</i> (RSM) MÉTODOS HEURÍSTICOS A - <i>TEAMS</i> MÉTODOS DE ESTADÍSTICA	APLICACIONES CON UN SOLO OBJETIVO APLICACIONES QUE REQUIEREN LA OPTIMIZACIÓN DE CRITERIOS MÚLTIPLES APLICACIONES CON OBJETIVOS NO PARAMÉTRICOS
<i>STOCHASTIC TRUST REGION GRADIENT-FREE METHOD (STRONG)</i> - UN NUEVO ALGORITMO BASADO EN LA SUPERFICIE DE RESPUESTA EN SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN	UO-HAO CHANG JEFF HONG HONG WAN	2007	<i>RESPONSE SURFACE METHODOLOGY</i> (RSM) <i>TRUST REGION METHOD</i> (TR) MÉTODO LIBRE DE GRADIENTE DE LA REGIÓN DE CONFIANZA ESTOCÁSTICA	CONVERGER A LA SOLUCIÓN ÓPTIMA INDEPENDIENTEMENTE DE LA UBICACIÓN DE LA SOLUCIÓN INICIAL
SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN USANDO METAMODELOS	USELL R. BARTON	2009	METAMODELOS <i>RESPONSE SURFACE METHODOLOGY</i> (RSM) SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN BASADA EN METAMODELOS	DISEÑOS EXPERIMENTALES
METAMODELLING PARA APLICACIONES DE SIMULACIÓN EN PRODUCCIÓN Y LOGÍSTICA	GALINA MERKURYEVA	2005	METAMODELOS <i>RESPONSE SURFACE METHODOLOGY</i> (RSM) SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN BASADA EN METAMODELOS	APLICACIONES DE SIMULACIÓN EN PRODUCCIÓN Y LOGÍSTICA
UNA SOLUCIÓN DE SIMULACIÓN - OPTIMIZACIÓN PARA EL PROBLEMA DE REVISIÓN CONTINUA DE INVENTARIO CON EL TAMAÑO DEL LOTE DEPENDIENTE DEL TIEMPO DE ENTREGA	IBRAHIM AL- HARKAN MONCER HARIGA	2007	SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN BASADA EN METAMODELOS	SIMULACIÓN - OPTIMIZACIÓN PARA EL PROBLEMA DE REVISIÓN CONTINUA DE INVENTARIO CON EL TAMAÑO DEL LOTE DEPENDIENTE DEL TIEMPO DE ENTREGA

Tabla 3. Resumen de la literatura revisada para la solución de la problemática planteada en esta tesis.

Fuente: Elaboración propia (2019).

2.7 La Metodología Simulación – Optimización

La cadena de suministro es un sistema integrado con varios niveles de proveedores, por lo que es complicado el análisis, la coordinación y el planteamiento de mejoras en los distintos eslabones para cumplir con la demanda en cada uno de éstos y satisfacer las necesidades del consumidor final en tiempo y forma.

El diseño y la optimización de la configuración de la cadena de suministro es algo que se gestiona en el nivel más alto, ya que se deben tomar decisiones estratégicas donde cada una de las partes esté de acuerdo con las funciones que les corresponden, tales como; definir la ubicación de la instalación y del almacenamiento, ya que sería muy costoso cerrar una instalación o trasladarla a una ubicación diferente porque tendría efectos directos en los costos de producción, inventario y transporte, además de definir las políticas y capacidad de producción, la distribución y los modos de transporte.

Una gran cantidad de publicaciones sobre gestión de la cadena de suministro pone énfasis en la integración de los diferentes componentes de ésta, por lo que encontrar la estrategia correcta que sea óptima en toda la cadena de suministro es un gran desafío,²³ principalmente porque las diferentes partes de la cadena (*stakeholders*) tienen objetivos diferentes, y al ser un sistema dinámico que evoluciona con el tiempo, cambia constantemente la demanda de los clientes, las capacidades de los proveedores y sobre todo las relaciones entre las partes.

Por lo tanto, el objetivo de la optimización de la configuración de la cadena de suministro es encontrar la mejor alternativa con la que se pueda lograr un alto nivel de rendimiento. Generalmente, hay dos categorías de decisiones en el diseño de la cadena de suministro; decisiones estructurales: localización, capacidad y canal de distribución, y decisiones de coordinación: selección del proveedor, asociación, propiedad del inventario, intercambio de información sobre ventas, previsión de la demanda, plan de producción e inventarios.

Actualmente las compañías diseñan la red logística de múltiples productos para optimizar los flujos desde los proveedores hasta los puntos de distribución o clientes finales, lo que ocasiona la necesidad de un modelo de programación para decidir qué productos producir o comprar, dónde y cómo producirlos o comprarlos, qué mercados buscar y qué recursos utilizar siempre al menor costo y en el menor tiempo posible.

En esta tesis se han revisado diferentes metodologías de simulación – optimización de la bibliografía más reciente para identificar la que mejor se adapta a la solución de las problemáticas

²³ (Benton, 1995)

de aprovisionamiento de la compañía planteada anteriormente, optimizando los niveles de *stock* en tiendas y almacén, para de esta forma evitar faltantes y *overstock*.

La solución de Simulación – Optimización que mejor se adapta a las problemáticas planteadas en el modelo de negocio en estudio, es la implementación exitosa del JIT (*Just-in-Time*) japonés, el cual ha revelado muchos beneficios al considerar el tiempo de entrega como una variable controlable, ya que de este factor dependen otros que son igual de importantes para un aprovisionamiento exitoso, tales como, el inventario de seguridad, nivel de servicio y frecuencia de pedido, además de permitir mayor variación en la demanda.

La simulación – optimización es un proceso en el que se buscan los mejores valores de las variables de entre todas las opciones, ya que el objetivo en general es minimizar los recursos y maximizar la información obtenida de la simulación, por lo que es de suma importancia realizar una parametrización con datos reales.

Dentro de La Compañía se realizó la implementación de dos módulos de aprovisionamiento de un software especializado de simulación – optimización en cadena de suministro llamado BlueYonder™. Los módulos de aprovisionamiento son ASR (*Advanced Store Replenishment*) y AWR (*Advanced Warehouse Replenishment*), donde ASR comprende dos flujos logísticos; aprovisionamiento de Proveedor – Tienda y de Bodega a Tienda, mientras que AWR gestiona el aprovisionamiento de Proveedor a Bodega. Ambos módulos consideran distintas variables para optimizar los cálculos de las cantidades a pedir y la frecuencia con la que se deben realizar, para evitar los principales problemas de la empresa; faltantes y *overstock*.

Para la implementación, primero se presentaron las cuatro principales variables que considera el *software* para desarrollar el modelo de simulación de acuerdo con la operación de La Compañía. Entre las variables se encuentran; la previsión de la demanda (*forecast*), el *lead time*, el inventario de seguridad y la frecuencia de pedido óptima.

La previsión de la demanda es calculada por la herramienta, tomando en cuenta la última demanda, la tendencia y la previsión anterior para artículos que no son de temporada, ya que para los artículos de temporada se mira el histórico de demanda real de hasta 3 años, para definir la estacionalidad y previsión del siguiente periodo a nivel artículo – tienda o a nivel artículo incluyendo todas las tiendas, según sea el caso. Cada periodo corresponde a una de las 52 semanas que conforman el año.

Existen tres tipos de *Lead Time*; *Lead Time Quoted*, que es el que cada proveedor define de

acuerdo con su logística y generalmente son los que se establecen en el contrato. El *Lead Time Forecast* que representa el tiempo de entrega real tomando en cuenta las fechas en que se ordena al proveedor y se recibe la mercancía en la Bodega, ya que muchas veces por razones extraordinarias los proveedores no cumplen con los tiempos de entrega establecidos. Adicionado a esto, es que se tiene un *Lead Time Variance* que corresponde a un porcentaje de confiabilidad del proveedor y se utiliza para calcular el *safety stock* de los artículos.

Como se mencionó anteriormente uno de los factores que más influyen en el cálculo del inventario de seguridad, es la variación, sea en los tiempos de entrega o en la previsión de la demanda, porque mientras menos asertivos sean estos parámetros, mayor inventario de seguridad requeriremos para evitar problemas de *overstock* o faltantes. Aunado a estos factores, está el nivel de servicio que indica el porcentaje de tiempo en el que una ubicación puede estar sin *stock*, por lo que, a mayor nivel de servicio, mayor *safety stock*.

El *Order Cycle* es calculado a nivel proveedor, e indica la frecuencia de pedido más rentable, buscando un equilibrio entre los costos de adquisición (costo a ordenar) y costos de posesión (costos de mantener el inventario almacenado), ya que, si se compra una vez al año, los costos de adquisición son bajos pero los de posesión son altos, porque se hace un pedido más grande, mientras que, si compras varias veces al año, los costos de adquisición son altos pero los de posesión bajos.

Cada una de las variables mencionadas anteriormente son calculadas por la herramienta, sin embargo, requieren información actualizada de la base de datos de La Compañía; como la demanda real, el *lead time* definido por el proveedor, las fechas a ordenar y recibir la mercancía, nivel de servicio de los artículos y costos de adquisición y posesión, lo cual el cliente deberá enviar cada noche por medio de *interfaces* para que la herramienta realice los cálculos correspondientes durante un proceso nocturno llamado *daily*.

Posteriormente, como parte de la optimización de los niveles de inventario, se busca definir la cantidad óptima a ordenar y el momento ideal en el que se debe realizar el pedido para evitar problemas de *overstock* y faltantes. Por tal motivo, es que el *software* especializado presentado en esta tesis calcula la cantidad sugerida de pedido con sus siglas en inglés SOQ (*Suggested Order Quantity*), en el momento indicado, tomando en cuenta los parámetros previamente definidos, además del inventario disponible, el inventario en tránsito y el múltiplo de compra. Este cálculo también se realiza en el proceso nocturno *daily*, y en el capítulo 3 se desarrollará detalladamente.

Los escenarios para evaluar con el modelo de simulación – optimización mencionado anteriormente, son la generación de pedidos óptimos para cada uno de los flujos logísticos que opera La Compañía, dependiendo si los artículos son de *stock* o *crossdock*, donde los artículos de stock deben mantener inventario disponible suficiente en el Centro de Distribución para aprovisionar las tiendas de acuerdo a demanda, mientras que los artículos de *crossdock*, agrupan las necesidades de las tiendas y generan una orden de compra directa al proveedor, la cual se recibe en el Centro de Distribución pero sólo para realizar un *picking*, ya que generalmente los empaques que emite el proveedor son bastante grandes y es por esto que se dividen en partes más pequeñas para cada una de las tiendas.

Por último, se hará una evaluación de los niveles de inventario tanto en las tiendas como en el Centro de Distribución para validar si efectivamente se redujeron los niveles de inventario al igual que el listado de artículos con *overstock* y faltantes.

2.8 Software Utilizado en la Simulación-Optimización con su Aplicación en Cadena de Suministro

Dentro de los *softwares* utilizados en la simulación-optimización de uno o varios eslabones de la cadena de suministro se encuentran; *AnyLogic*, *AnyLogistix*, SIMIO, *Slim4*, además de BlueYonder™ software, el cual fue implementado en La Compañía para minimizar los niveles de *stock* en las tiendas y en el centro de distribución. En los capítulos 3 y 4 se desarrolla el modelo de simulación y algunos escenarios aplicados a La Compañía.

Para introducir los *softwares* mencionados en el párrafo anterior, comenzaré con *AnyLogic*, que es un software de simulación – optimización de uso general de la empresa *AnyLogic Company* que opera desde Estados Unidos y Europa con una red global de socios. Este software ha ampliado su aplicación en entornos empresariales complejos creando modelos de simulación, permitiendo a los usuarios capturar la complejidad de los sistemas, con cualquier nivel de detalle.

El *software* de simulación – optimización *AnyLogic* ayuda a gestionar los desafíos de distintas industrias, proporcionando claridad de análisis y realización de pronósticos para una buena toma de decisiones, ya que se pueden explorar los eventos interrelacionados, dinámicos y aleatorios que influyen en el negocio. También se pueden realizar pruebas de estrés en el sistema y perfeccionar las estrategias utilizando datos en tiempo real, además de los escenarios hipotéticos.

En resumen, los modelos de simulación de *AnyLogic* permiten obtener mayor conocimiento y con esto optimizar sistemas y procesos complejos. Es una herramienta de análisis capaz de integrarse al flujo de trabajo actual.

AnyLogic incluye un lenguaje de modelado gráfico que permite a los usuarios ampliar los modelos de simulación con código de Java, los cuales pueden ser modificados para requisitos particulares y crear *applets* en cualquier navegador estándar. Estos *applets* permiten compartir los modelos *AnyLogic* por correo o localizarlos en cualquier *website*. Además de los *applets* de Java, la versión profesional permite la creación y distribución de aplicaciones completas. ²⁴

Se puede hacer una descarga gratuita de *AnyLogic* a manera de aprendizaje personal para principiantes y estudiantes en el siguiente *link*: <https://www.anylogic.com/downloads/>. En el caso de empresas y organizaciones gubernamentales, se puede solicitar un presupuesto y una prueba gratuita durante 30 días en el mismo *link*.

La lógica incorporada en el modelo de simulación – optimización utilizada por *Anylogic* incluye un algoritmo de reabastecimiento. Este algoritmo toma en cuenta ventas planificadas, *stock* en tiempo real, tiempo de entrega y el tamaño mínimo del pedido. Posteriormente, genera los requisitos para el reabastecimiento, identificando los periodos de tiempo en los que el *stock* será inferior al regular para tomar medidas y evitar diferencias en la cobertura. Algunos ejemplos gráficos de este *software* se muestran a continuación.

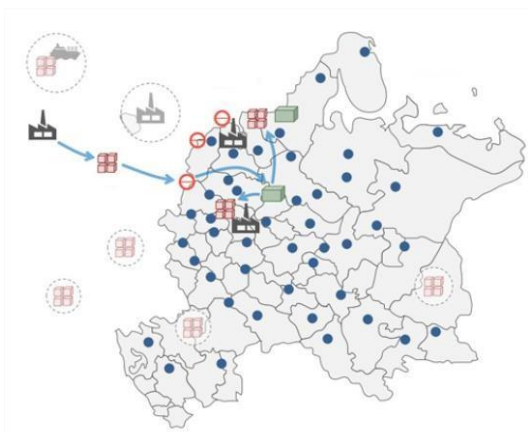


Ilustración 9. Modelo de optimización logística

Fuente: Anylogic (2000).

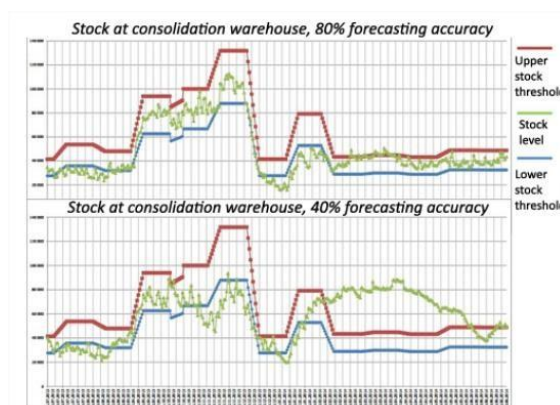


Ilustración 10. Resultados del modelo de optimización de una red logística

Fuente: Anylogic (2000).

AnyLogic cuenta con un *software* especializado en cadena de suministro de nombre *AnyLogistix*, el cual busca que dicha cadena sea esbelta, ágil y sólida. Permite crear un gemelo digital de la cadena de suministro de las compañías para obtener información valiosa, responder a situaciones hipotéticas y desarrollar la planificación de la cadena de suministro.

²⁴ (Quinn, 2000)

AnyLogistix es utilizado para combatir distintos desafíos empresariales, tales como; diseño de redes de cadena de suministro, planificación del transporte, optimización de abastecimiento, simulación de la cadena de suministro, optimización de inventario, entre otros.

En el caso de la optimización de inventario, que es el tema de interés en esta tesis, *AnyLogistix* ayuda a encontrar soluciones para reducir costos, sin sacrificar el nivel de servicio, al proporcionar un modelo informático de la cadena de suministro para la experimentación, es decir, un gemelo digital de la cadena de suministro. Esta herramienta permite realizar una optimización del inventario de la cadena de suministro de un solo escalón o de varios escalones, reduciendo los costos de mantenimiento de inventario, incluidos los gastos de almacenamiento y mano de obra, liberar capital a corto plazo, impulsar la rotación de inventario, incrementar el nivel de servicio al cliente y reducir las tasas de inventario obsoleto.

Se puede hacer una descarga gratuita de *AnyLogistix* a manera de aprendizaje personal para principiantes y estudiantes en el siguiente *link*: <https://www.anylogistix.com/downloads/>. En el caso de empresas y organizaciones gubernamentales, se puede solicitar un presupuesto y una prueba gratuita durante 15 días en el mismo *link*. Un ejemplo gráfico de este *software* se muestra a continuación.

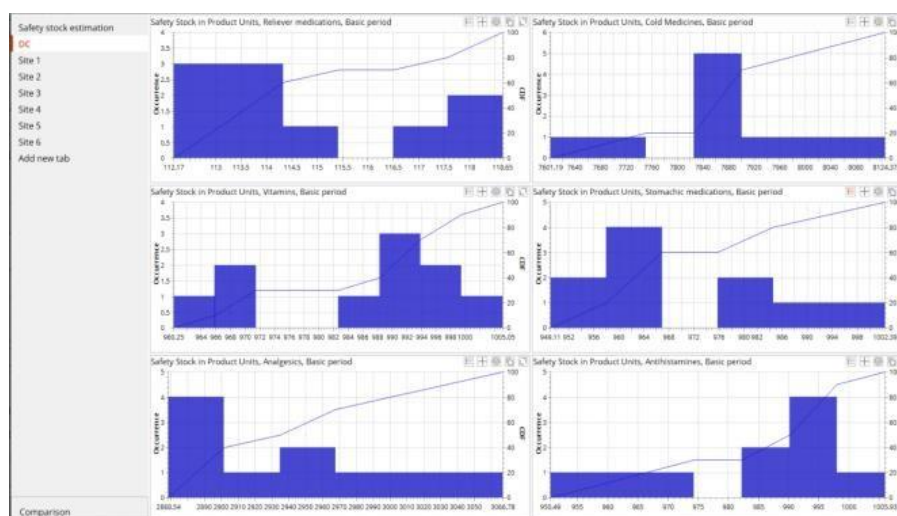


Ilustración 11. Simulación del inventario de seguridad a nivel artículo

Fuente: *AnyLogistix* (2000).

Otro *software* de simulación – optimización que se utiliza actualmente es *SIMIO Software*, de La Compañía *SIMIO LLC* que se estableció para ofrecer soluciones de vanguardia para el diseño, simulación y programación de sistemas complejos. El nombre de *SIMIO* proviene de *Simulation Modeling framework based on Intelligent Objects*.²⁵

²⁵ (Company, 2000)

SIMIO permite tomar decisiones objetivas, documentar y mejorar el rendimiento, ya que la simulación proporciona un modelo preciso del comportamiento del sistema. El modelado permite imitar fácilmente objetos y procesos de la vida real. La programación se simplifica con el modelado preciso de sistemas, incluidas sus restricciones y variaciones inherentes. Esto permite planificar y gestionar la incertidumbre, mitigando los riesgos y cumpliendo los objetivos.

SIMIO se puede utilizar para encontrar las mejores soluciones a través de la optimización utilizando el complemento *OptQuest*. Se aplican potentes algoritmos y sofisticadas técnicas de análisis para diseñar e investigar escenarios que luego se pueden utilizar para identificar la mejor decisión.

El *software* de simulación y programación SIMIO proporciona las características necesarias para crear modelos de simulación de la cadena de suministro, permitiendo estudiar y evaluar la naturaleza dinámica de ésta, integrando restricciones conocidas y aleatorias.

El modelado de simulación de la cadena de suministro puede manejar las actividades pasadas, presentes y futuras para pronosticar qué tan rápido se usarán los recursos contra la demanda y la cantidad de inventario que se necesita para prevenir el tiempo de inactividad. En el caso del *software* SIMIO, se pueden crear modelos de simulación precisos utilizando los flujos de trabajo disponibles y analizando las diversas restricciones, como una pandemia o un proveedor que no cumpla con los plazos especificados, que afectarán los planes.

La interfaz de usuario de SIMIO está diseñada a medida para especialistas en logística y gerentes de proyectos que buscan optimizar los planes de la cadena de suministro. SIMIO combina un entorno 3D fotorrealista con el motor *OptQuest* para ayudarlo a recibir los mejores resultados de simulación a través de una interfaz interactiva y visualmente atractiva.

OptQuest es un complemento del *software* SIMIO que incorpora metaheurísticas para guiar su algoritmo de búsqueda hacia mejores soluciones. Este enfoque recuerda qué soluciones funcionaron bien y las combina en nuevas y mejores soluciones. Además, esta técnica no queda atrapada en soluciones locales ni se desvía del rumbo debido a datos de modelos ruidosos (inciertos).

Se puede hacer una descarga gratuita de SIMIO para edición personal en el siguiente *link*: <https://www.simio.com/>. En el caso de empresas y organizaciones con modelos más grandes y complejos, se puede contactar con SIMIO LLC por distintos medios dentro de la misma página web para solicitar una cotización y recibir soporte.

Aquí algunos ejemplos de cómo se visualiza el *software* SIMIO en simulación – optimización de la cadena de suministro:



Ilustración 12. Simulación - optimización en la cadena de suministro con SIMIO *software*

Fuente: SIMIO (2020).



Ilustración 13. Simulación - optimización en la cadena de suministro con SIMIO *software*

Fuente: SIMIO (2020).

Dentro del mercado de simulación – optimización en cadena de suministro, se encuentra también *Slimstock*, empresa líder en Europa en Optimización de inventarios, fundada en 1993. Cuenta con un *software* de nombre *Slim4* especializado en optimización de *stock*, planificación y previsión de la demanda, para conseguir el inventario correcto, en el lugar correcto y en el momento correcto.

Dentro de las soluciones de interés que ofrece *Slimstock* están; previsión y planificación de la

demanda, y optimización de inventarios. En el caso de la previsión y planificación de la demanda, las funcionalidades de *Slim4* son; análisis de los patrones de demanda, previsión estadística, estacionalidad y tendencias, gestión de promociones, gestión de eventos, introducción de artículos nuevos y gestión por excepciones. Mientras que las funcionalidades de *Slim4* para la optimización de inventarios son; cálculo dinámico del inventario de seguridad, planificación por canal de venta, gestión de inventarios por proveedores, cantidad económica de pedido (EOQ), gestión de pedidos, gestión por excepciones, proveedores secundarios, *packs* de ventas, gestión del cierre de proveedores y optimización de descuentos, disminuyendo las roturas de *stock* en un 50% y el inventario en un 30%.

Slim4 cuenta con más de 25 algoritmos estadísticos para seleccionar, por lo que automáticamente identifica y aplica el método de pronóstico o combinación de algoritmos que mejor se adapten al perfil de la demanda dada, garantizando los mejores resultados. Mientras que en optimización de inventarios se basan en el cálculo hecho por *Camp*, conocido como EOQ (Cantidad Económica a Ordenar) para los pedidos, y para calcular el inventario de seguridad consideran la desviación de la demanda y la variabilidad en los plazos de entrega.

En la actualidad, los sistemas ERP son la columna vertebral de las empresas. Estos están diseñados para gestionar el trabajo diario del negocio en un entorno estable. Sin embargo, la optimización de *stock* en entornos dinámicos, basada en la determinación de distintos niveles de servicio, no es parte de las funcionalidades de un ERP y por ello es por lo que las empresas apuestan por un *Best of Breed*, término que se emplea en el mundo del *software* para describir a aquel sistema que puede catalogarse como la mejor solución para desarrollar una actividad concreta. En el caso de *Slim4*, su combinación con el ERP está basada en interfaces sencillas y una implementación de riesgo cero. Todos los proyectos de *Slimstock* se desarrollan en base a un precio cerrado y la media para completar la implantación es de 3 meses.

Para más información, solicitar una Demo, una cotización o soporte se puede contactar con *slimstock* en el *link*: <https://www.slimstock.com/es/contacto/>.

Finalmente, uno de los *softwares* más potentes en el mercado de simulación – optimización en cadena de suministro que impulsa el comercio dinámico es BlueYonder™. Dentro de sus ventajas se encuentra; el control dinámico de principio a fin, administrando de manera proactiva las interrupciones, automatizando las decisiones comerciales correctivas y obteniendo un control completo de la cadena de suministro, la sincronización de la planificación y pronóstico de inventario con el almacén, el transporte y el cumplimiento. Además de la planificación y ejecución integradas, prediciendo las interrupciones antes de que ocurran para gestionar la producción, el

inventario y la mano de obra en tiempo real.²⁶

Para optimizar las estrategias de inventario y almacenamiento en varios canales e impulsar el servicio al cliente, La Compañía BlueYonder™ cuenta con varias soluciones de optimización de inventario, ofreciendo de manera rentable la excelencia en el servicio al cliente en un entorno específico, ya que hoy en día se está volviendo más desafiante y complejo, y las empresas buscan segmentar sus carteras en múltiples dimensiones que reflejen mejor el valor de cada producto para cada cliente. También les interesa construir y mantener su ventaja competitiva, alinear la planificación, estrategia y ejecución de inventario con sus objetivos comerciales estratégicos de servicio, producción y distribución. Algunos de los beneficios de estas soluciones de optimización de inventario son; 300% de retorno de inversión, reducción en un 40% el tiempo de aprobación de pedidos y en un 55% los niveles de inventario.

Dichas soluciones de optimización de inventario de BlueYonder™, son BlueYonder™ *Advanced Store Replenishment* para gestionar el abasto del Centro de Distribución a las tiendas, y BlueYonder™ *Advanced Warehouse Replenishment* que gestiona el abasto de Proveedores al Centro de Distribución y ambas incluyen en sus algoritmos la metodología de JIT (*Just-in-Time*) japonés. Dichas soluciones, ayudan en la ejecución de estrategias, reducción de ventas perdidas, reducción de los niveles de inventario y maximización en las ganancias, ahorrando tiempo.

El *software* BlueYonder™ *Advanced Store/Warehouse Replenishment*, se pueden instalar de forma *on premise*, es decir, utilizando un *hardware* (físico) con un entorno operativo compatible con BlueYonder™ del tipo; IBM i, AIX, Linux y Windows. Sin embargo, en la actualidad los clientes prefieren hacer la instalación del *software* en la nube (*cloud*), por sus beneficios; mayor flexibilidad, debido a que los usuarios pueden acceder de forma remota a los archivos y datos de la empresa en cualquier lugar y en cualquier momento permitiendo mayor productividad y servicio. Otros de los beneficios son; un rendimiento y seguridad mejorados, porque el *software* en la nube proporciona mayor velocidad y agilidad y distintos niveles de seguridad para que los usuarios puedan mover datos de manera segura y eficiente. Y, por último, la escalabilidad que permite a las empresas expandirse de forma rápida y sencilla.

Para la integración entre el sistema *Host* del cliente, y BlueYonder™ *software*, BlueYonder™ proporciona una serie de interfaces estándar además de ciertas reglas para la creación. Una vez creadas, éstas viajan automáticamente todos los días o semanalmente según sea el caso, con información actualizada a nivel artículo – tienda o artículo – Centro de distribución, para que

²⁶ (Blue Yonder Group, 2020)

BlueYonder™ *software* haga un pronóstico de la demanda más acertado y los cálculos necesarios para generar los pedidos óptimos y con esto reducir el *overstock* y los faltantes.

Para acceder a todas las soluciones de BlueYonder™ *software* y obtener más información de cada una de éstas, es necesario contactar directamente con BlueYonder™, y si se requiere solicitar una Demo. El *link* de contacto es: <https://BlueYonder.com/contact-us>

Adicional, debido a que en esta tesis se desarrolla un modelo de simulación – optimización de los niveles de *stock* para minimizar el *overstock* y faltantes de un caso real en La Compañía, es que se realizó un cuadro comparativo de los *softwares* previamente mencionados en el tema 2.8 para mostrar las ventajas de cada uno de éstos y con esto comprobar por qué se eligió a BlueYonder™ *software*.

En el cuadro comparativo (Tabla 4), se muestra que el *software* de BlueYonder™ es uno de los más completos en el mercado para minimizar los niveles de inventario evitando dos grandes problemáticas dentro de los *retailer*, *overstock* y faltantes, por medio de la simulación – optimización. Los resultados son bastante positivos, principalmente porque hace un análisis a nivel artículo – tienda o artículo – CEDIS, ya que cada tienda o bodega se comporta de manera distinta según ciertos factores como ubicación, capacidad, surtido, entre otros. Además de considerar factores dinámicos y reales al momento de realizar los cálculos, permitiendo automatizar distintas tareas del proveedor y obteniendo los resultados esperados.

SOFTWARE/FUNCIONALIDADES	VENTAJAS	IT	FACTORES CONSIDERADOS	RESULTADOS	
ANYLOGIC	MULACIÓN -OPTIMIZACIÓN DE LA RED LOGÍSTICA.	CLARIDAD DE ANÁLISIS Y REALIZACIÓN DE PRONÓSTICOS. PRUEBAS DE ESTRÉS CON DATOS EN TIEMPO REAL.	E UTILIZA JAVA PARA LA SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN.	VENTAS PLANIFICADAS. STOCK EN TIEMPO REAL. PLAZO DE ENTREGA. TAMAÑO MÍNIMO DEL PEDIDO.	EDUCCIÓN DE FALTANTES.
ANYLOGISTIX	SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CADENA DE SUMINISTRO.	TOMA EN CUENTA LA ALEATORIEDAD MANEJO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL INVENTARIO DE VARIOS NIVELES SIMULACIÓN DE ESCENARIOS HIPOTÉTICOS	E UTILIZA JAVA PARA LA SIMULACIÓN – OPTIMIZACIÓN.	TIEMPOS DE ENTREGA DE TRANSPORTE Y PRODUCCIÓN DEMANDA DEL PRODUCTO CAMBIOS EN LAS CANTIDADES DE LOS PEDIDOS	REDUCIR COSTOS LIBERAR CAPITAL A CORTO PLAZO IMPULSAR LA ROTACIÓN DE INVENTARIO INCREMENTAR EL NIVEL DE SERVICIO
SIMIO	SIMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS.	ITA OBJETOS Y PROCESOS DE LA VIDA REAL.	E UTILIZAN ALGORITMOS Y SOFISTICADAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS, ADEMÁS DE UNA INTERFAZ INTERACTIVA Y VISUALMENTE ATRACTIVA.	FLUJOS DE TRABAJO DISPONIBLES. RESTRICCIONES.	POYO EN LA TOMA DE DECISIONES Y GESTIÓN COMERCIAL.
SLIM4	PLANIFICACIÓN Y PREVISIÓN DE LA DEMANDA. OPTIMIZACIÓN DE STOCK.	PRECISIÓN EN LOS PRONÓSTICOS. GENERACIÓN DE PEDIDOS ÓPTIMOS	TRABAJA CON MÉTODOS DE PRONÓSTICO Y EL CÁLCULO HECHO POR CAMP, CONOCIDO COMO EOQ (CANTIDAD ECONÓMICA A ORDENAR).	PATRONES DE DEMANDA. CÁLCULO DINÁMICO DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD. GESTIÓN DE INVENTARIOS POR PROVEEDOR O POR CANAL DE VENTA	DISMINUCIÓN EN LA ROTURA DE STOCK EN UN 50%. REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE INVENTARIO EN UN 30%.
BlueYonder™	CONTROL DINÁMICO Y COMPLETO DE LA CADENA DE SUMINISTRO. AUTOMATIZACIÓN EN LAS DECISIONES COMERCIALES CORRECTIVAS. SINCRONIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN Y PRONÓSTICO DE INVENTARIO CON EL ALMACÉN Y EL TRANSPORTE.	INFORMACIÓN Y CÁLCULOS ACTUALIZADOS CADA NOCHE A NIVEL ARTÍCULO-TIENDA / ARTÍCULO - CEDIS, SEGÚN SEA EL CASO.	TRABAJA DISTINTOS ALGORITMOS ESPECIALIZADOS PARA CADA ESLABON DE LA CADENA DE SUMINISTRO. METODOLOGÍA JIT. PUEDE INSTALARSE ON PREMISE: FÍSICAMENTE CON UN ENTORNO OPERATIVO COMPATIBLE CON BLUEYONDER DEL TIPO; IBM I, AIX, LINUX Y WINDOWS. PUEDE GESTIONARSE EN LA NUBE CON MAYOR FLEXIBILIDAD DE ACCESO PARA LOS USUARIOS.	APOYO EN LA EJECUCIÓN DE ESTRATEGIAS. REDUCCIÓN DE VENTAS PERDIDAS POR FALTANTES REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE INVENTARIO. MAXIMIZACIÓN DE LAS GANANCIAS. AHORRO DE TIEMPO EN LA GESTIÓN DE APROVISIONAMIENTO.	RETORNO DE INVERSIÓN EN UN 300%. REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE INVENTARIO EN UN 55%. REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE APROBACIÓN Y GESTIÓN DE PEDIDOS EN UN 40%.

Tabla 4. Cuadro comparativo de las ventajas de los softwares de simulación – optimización

Fuente: Elaboración propia (2019).

CAPÍTULO 3. Un Modelo de Simulación – Optimización de los Niveles de Stock para Minimizar *Overstock* y Faltantes

En esta sección se implementa un modelo de simulación – optimización de los niveles de *stock* de cada tienda y del Centro de Distribución de La Compañía siguiendo la metodología de simulación-optimización y utilizando el *software* BlueYonder™

El *software* BlueYonder™ recoge diariamente información de las ventas e inventarios de cada una de las tiendas y del Centro de Distribución y con esta información genera diariamente una *Suggested Order Quantity* (SOQ) que cumple las condiciones para cubrir la demanda manteniendo los inventarios balanceados.

3.1 Modelo de Simulación de La Compañía

3.1.1 Principios de Aprovisionamiento

Dentro de los principios de aprovisionamiento que considera el *software* BlueYonder™ en el modelo de simulación se encuentran cuatro preguntas clave que a su vez están relacionadas con los parámetros involucrados en el cálculo del SOQ para un aprovisionamiento exitoso; qué comprar, que se controla con la previsión de la demanda, cuánto comprar, considerando un inventario de seguridad, cuándo comprar, tomando en cuenta los tiempos de entrega de los proveedores y transferencias del Centro de Distribución a las tiendas, y por último, con qué frecuencia comprar, que se calcula con las *Order Policy Analysis* involucrando costo a ordenar y costo de mantener el inventario.

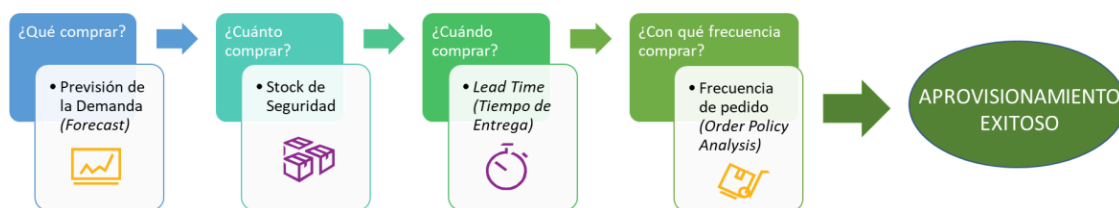


Ilustración 14. Principios para un aprovisionamiento exitoso de acuerdo con el modelo de simulación del *software* BlueYonder™

Fuente: Elaboración propia (2020).

El cálculo de la demanda considera la suma de las ventas regulares más las ventas perdidas, menos las ventas promocionales. Las ventas regulares deberán ser enviadas por interfaz desde el ERP de La Compañía a BlueYonder™. Las ventas perdidas son calculadas por el *software* BlueYonder™ multiplicando el número de días con ventas cero motivado por una rotura de *stock* por la demanda diaria. Así mismo, las ventas promocionales se refieren a cualquier cantidad o valor que durante un periodo promocional sobrepasa el actual valor de la demanda y serán

filtradas por el sistema.

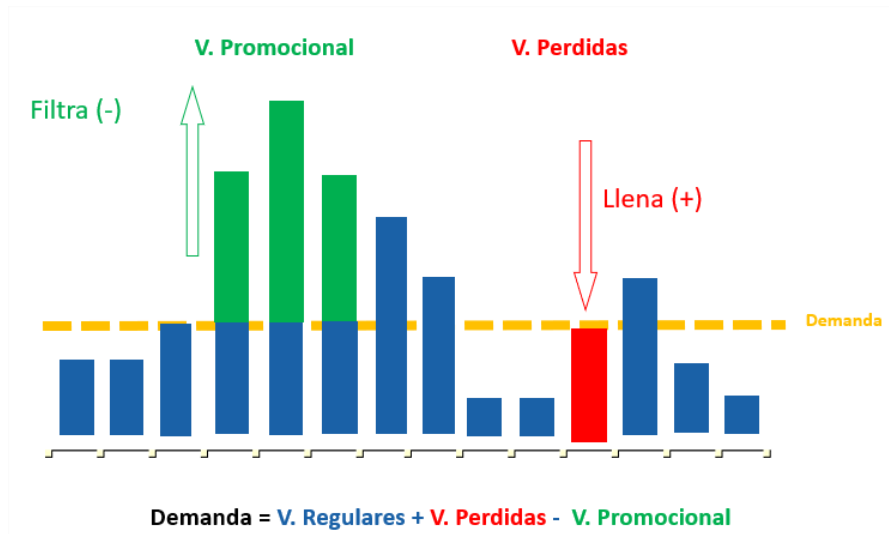


Ilustración 15. Cálculo de la Demanda en *software* BlueYonder™

Fuente: Elaboración propia (2020).

Para el cálculo de la previsión de la demanda, el sistema actualiza el pronóstico de los artículos al término de cada semana considerando la última demanda, es decir, la demanda de la semana anterior, la tendencia que determina qué peso o proporción se le asigna a la última demanda y la previsión anterior. En caso de artículos nuevos la previsión se puede obtener de distintas formas; si el artículo es similar a un producto antiguo, se puede tomar la historia de éste, o informar manualmente la previsión de la demanda inicial, lo cual deberá gestionarse por La Compañía.

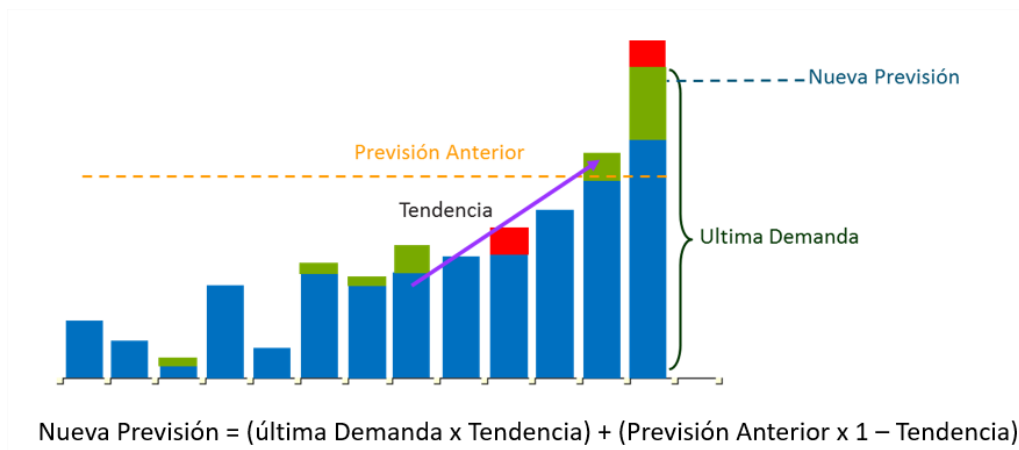


Ilustración 16. Cálculo de la nueva previsión en *software* BlueYonder™

Fuente: Elaboración propia (2020).

EL *software* BlueYonder™ también mide la desviación media entre la demanda prevista (*forecast*) y la demanda real y a esta diferencia le llama *Mean Absolute Deviation Percentage (MADP)*, el

cual es un factor para considerar en el cálculo del inventario de seguridad, mientras mayor variación, mayor inventario de seguridad. En ocasiones la variación puede ser alta debido a que no se les ha asignado un perfil estacional a los artículos de temporada, por eso es importante que La Compañía identifique estos artículos y asigne un perfil estacional para que el *forecast* sea más asertivo.

Otros factores involucrados en el cálculo del inventario de seguridad por parte del *software* BlueYonder™ además del *forecast* y la variación de la demanda, están; el nivel de servicio, el tiempo de entrega, la variación en los tiempos de entrega y la frecuencia de pedido, mientras mayores sean estos factores, mayor será el inventario de seguridad calculado en días y unidades.

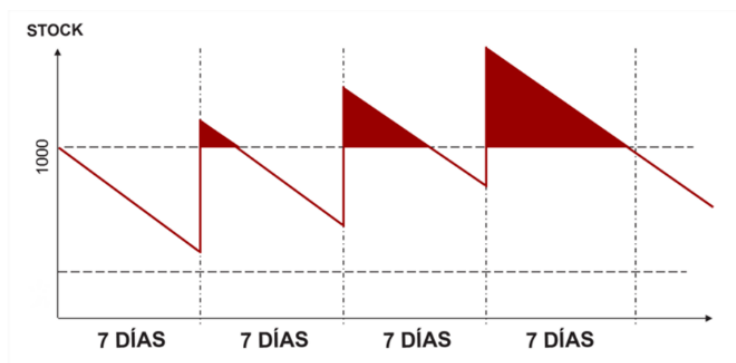
El *Lead Time* (Tiempo de entrega) es el tiempo que ocurre entre que una orden es aprobada y el momento en el que está disponible el artículo para la venta, cuando las entregas son incompletas o recibidas fuera de tiempo, el nivel de servicio puede ser puesto en riesgo. Con un *Lead Time* corto, se tiene más tiempo de reacción entre posibles variaciones de la demanda lo que se traduce en un inventario de seguridad bajo. En un *Lead Time* amplio, es más difícil predecir cómo se puede comportar la demanda en un periodo de tiempo, y esta incertidumbre es generalmente compensada en un aumento en el valor del inventario de seguridad. Los *Lead Time* fiables reducen las ventas perdidas, las roturas de *stock* y los niveles de inventario.

El *software* BlueYonder™ considera tres tipos de *Lead Time*; *Lead Time Quoted* que es el número de días definido por el proveedor entre la fecha en que se genera un pedido y la fecha en la que llega el producto, y se utiliza como referencia, por lo que La Compañía deberá enviar por interfaz este dato. *Lead Time Forecast* que es el número de días reales entre la fecha en que se genera la orden y la fecha en que se recibe la mercancía, se utiliza en la construcción de la orden, y La Compañía deberá enviar en la misma interfaz las fechas a ordenar y recibir reales. Por último, se encuentra el *Lead Time Variance* que describe la fiabilidad de las entregas del proveedor en porcentaje, tomando en cuenta en el cálculo de éste, el *Lead Time Quoted* (Tiempo de entrega teórico) y el *Lead Time Forecast* (Tiempo de entrega real).

Los tres *Lead Times* mencionados anteriormente se configuran a nivel proveedor, mientras que a nivel artículo sólo se tiene el *Lead Time Forecast* y *Lead Time Variance*. Además de existir una jerarquía en el *Lead Time* donde cualquier cambio realizado a nivel proveedor, afectará a todos sus artículos excepto aquellos que hayan sufrido una modificación manual.

El último principio de aprovisionamiento considera las *Order Policy Analysis* (OPA), que determina la frecuencia con que las órdenes deben ser colocadas basándose en el ciclo de pedido más rentable. También se pueden tener ciclos de compra fijos (semanales, quincenales, mensuales) dados ciertos requerimientos del proveedor tales como calendarios de embarque.

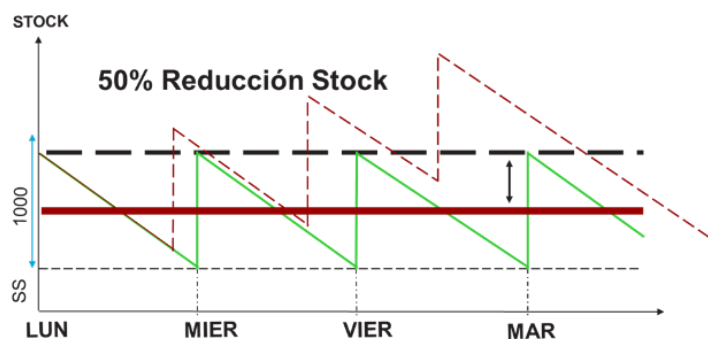
Las *Order Policy Analysis* del software BlueYonder™ calculan la frecuencia de pedido óptima y es considerado en la optimización al generar la Cantidad Sugerida de Pedido por sus siglas en inglés SOQ. El objetivo del OPA es evitar el *overstock*, ya que cuando se tienen ciclos de pedido fijos y condiciones de compra por parte del proveedor, es muy probable que aumenten los niveles de inventario considerablemente, mientras que, si mediante el OPA se calcula el ciclo óptimo de pedido, a pesar de cumplir con las condiciones de compra, la reducción de los niveles de *stock* puede llegar a ser hasta de un 50%. La clave es equilibrar los costos de adquisición y los costos de posesión, ya que, si se compra una vez al año, los costos de adquisición son bajos, mientras que los de posesión altos, y viceversa si se compra varias veces al año.



Ciclos de pedido fijos + condiciones de compra = **SOBRESTOCK**

Ilustración 17. Ciclos fijos de pedido

Fuente: Elaboración propia (2020).



Ciclo óptimo de pedido + condiciones de compra = **Reducción niveles de stock**

Ilustración 18. Ciclos óptimos de pedido Fuente

ente: Elaboración propia (2020).

En resumen, un aprovisionamiento exitoso considerando principalmente los cuatro parámetros mencionados anteriormente; previsión de la demanda, inventario de seguridad, *lead time* y la frecuencia de pedido óptima, puede garantizar la disminución de faltantes y *overstock*, ya que indicará la cantidad a pedir en el momento exacto.

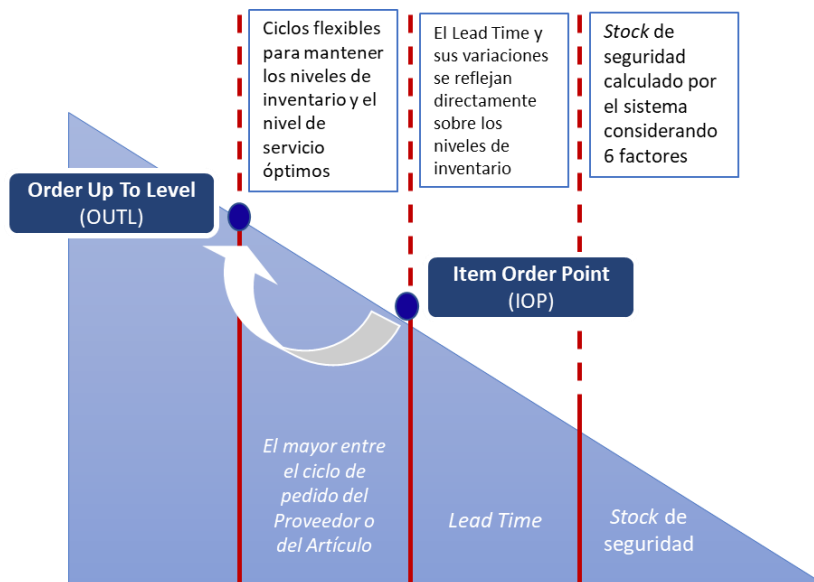
3.2 Modelo de Optimización de La Compañía

3.2.1 Cálculo del Sugerido

Un aprovisionamiento exitoso es parte de la optimización que realiza el software BlueYonder™, definiendo dos puntos importantes; *Item Order Point (IOP)* o punto de reorden que es cuando se debe colocar una nueva orden de compra al proveedor, tomando en cuenta el inventario de seguridad y el *Lead Time*. El otro punto es el *Order Up To Level (OUTL)* o nivel a alcanzar, que indica la cantidad a pedir considerando el punto de reorden y el ciclo de pedido mayor entre el del artículo y el del proveedor, ambos en días y en unidades, por lo que las fórmulas que se utilizan para realizar dichos cálculos son los siguientes:

Item Order Point (IOP) = Inventario de seguridad + *Lead Time*

Order Up To Level (OUTL) = *Item Order Point* + *Greater Order Cycle*



Item Order Point (IOP) = *Stock de Seguridad* + *Lead Time*
Order Up To Level (OUTL) = *Item Order Point* + *Greater Order Cycle*

Ilustración 19. Aprovisionamiento exitoso

Fuente: Elaboración propia (2020).

Los artículos por debajo de su punto de reorden (IOP) generan una orden de compra al proveedor, misma que es completada con aquellos artículos que están por debajo de su nivel a alcanzar (OUTL), buscando no utilizar el inventario de seguridad y con esto garantizar que no haya faltantes en caso de haber alguna venta atípica. De igual forma, los artículos que excedan su nivel a alcanzar no serán gestionados hasta que sus niveles de inventario disminuyan.

3.2.2 Cálculo del Order Cycle a Nivel Proveedor

El ciclo de pedido óptimo del proveedor es el establecido al calcular el OPA que considera los ingresos por la venta de los artículos y los gastos, que incluyen entre otras cosas; el monto total de las órdenes anuales pronosticadas, el costo de mantener el inventario, costo a ordenar y costos de transporte. El *software* BlueYonder™ sugiere 3 opciones de ciclos óptimos y se recomienda que el usuario acepte el de mayor beneficio (*profit*) como se muestra en la figura 15, donde la opción 1 sugiere un ciclo óptimo de pedido al proveedor de 7 días con un beneficio de \$476,641 MXN.

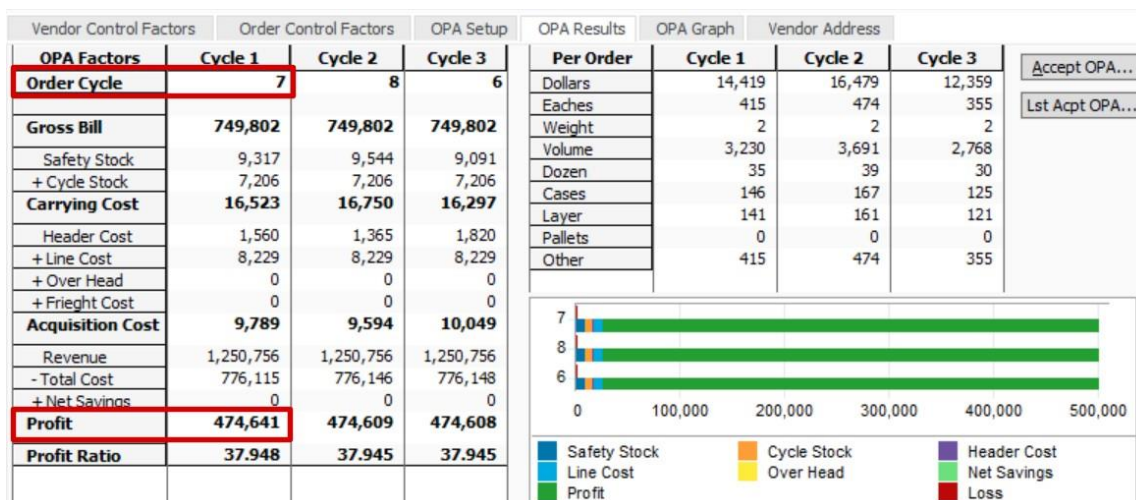


Ilustración 20. Order Policy Analysis (OPA) Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0

Mientras que el ciclo de pedido del artículo es un cálculo interno del sistema considerando cuatro conceptos; costo variable de añadir una línea extra al generar una orden de compra (*line cost*), tasa de mantener el inventario (%) definido a nivel compañía (*Carrying Cost Rate*), precio de compra (*Purchase Price*) y *forecast* anual (*Annual Forecast*). Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

Economic Order Qunatity (EOQ) – Cantidad Económica a Ordenar

$$EOQ = \sqrt{\frac{(2 * Line Cost * Annual Forecast * 100)}{Carrying Cost Rate * Purchase Price}}$$

Ecuación 2

Economic Order Frequency (EOF) – Frecuencia Económica a Ordenar

$$EOF = \frac{\text{Annual Forecast}}{EOQ}$$

Ecuación 3

Item Order Cycle (IOC) – Ciclo de Pedido del artículo

$$IOC = \frac{364}{EOF}$$

Ecuación 4

Por último, para definir la cantidad a pedir *Suggested Order Quantity (SOQ)* a nivel artículo se resta el balance de inventario del nivel a alcanzar y lo redondea al múltiplo de compra. El balance de inventario suma el inventario disponible de nombre *On hand* en *software* BlueYonder™, más el inventario en tránsito (*On Order*) menos *Back Orders* y Reservas. Estas últimas se utilizan en caso de hacer un pedido mayor con antelación para algún evento promocional y que no sea utilizado en el aprovisionamiento regular.

Software BlueYonder™ recibe los inventarios actualizados de cada uno de los artículos por las noches, con lo que aunado a los parámetros previamente configurados realiza sus cálculos y define la cantidad a pedir en el momento ideal y se puede visualizar a nivel artículo. Las fórmulas utilizadas en el proceso nocturno *daily* son las siguientes:

$$\text{Balance (inventario)} = \text{On hand (disponible)} + \text{On Order (en tránsito)} - \text{Back Orders (reservas)} \\ - \text{Reserved (reservas)}$$

Ecuación 5

$$\text{SOQ (Suggested Order Quantity)} = \text{OUTL (nivel a alcanzar)} - \text{Balance (redondeado al} \\ \text{múltiplo de compra del artículo)}$$

Ecuación 6

Dentro de la herramienta *software* BlueYonder™, la información mencionada con anterioridad a nivel artículo se visualiza como en la figura 16, donde indica que para este artículo se debe hacer un pedido de 204 unidades que equivale a 9 día de inventario, tomando en cuenta su nivel a alcanzar, múltiplo de compra e inventario actualizado.

SKU	000023846	TIJERA OFI BARRILITO 7"		009	SKU Group 1	View
Company ID	E3T	DC ID	00920	CROSS DOCK VENTAS EMPRESARIA		Spr SKU
Source ID	010260	G9	GOBA INTERNACIONAL SA DE CV		007501214951605	UPC Code
Store ID	00920	CROSS DOCK VENTAS EMPRESARIA		001	SKU Group 4	7501214974529
		Style	Color	0002	Family	MFG ID
						Size 1

Units	Work Days	SOQ	<input type="checkbox"/> Ignore Mult
204	9		<input type="checkbox"/> Ignore LT
566	26	OUTL	
362	17	Balance	
522	24	VOP	
0	0	Shelf Life	
0	0	Conv Pack	
1	0	Minimum Quantity	
12	1	Multiple	
65	3	SKU Cycle	
21	1	Source Cycle	
501	23	IOP	
326	15	Lead Time	
175	8	SStock	
0	0	Manual Safety Stock	
0	0	Min Presentation Stock	
0	0	Event Minimum	

Units	Demand History
0	Week 26
0	Week 27
0	Week 28
0	Week 29
0	Demand to Date

Amount	Costs
17.33	Purchase Price
17.33	Effective Purch Price
0.00	Override Price

Units	Stock Status
362	On Hand
0	On Order
0	Customer Back Order
0	Reserved
0	Quantity Held
	Held Until
0	Auto Held
0	In Lieu Of Plans
362	Current Balance

Demand/Order Components		
152.33	Demand - Weekly	362 On Hand
	Demand Profile	0 On Order
	Daily Profile	0 Cust. Back Order
<input type="checkbox"/>	Calendar	12 Units per Case

Ilustración 21. Suggested Order Quantity (SOQ) a nivel item
Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0

En resumen, *software* BlueYonder™, realiza el trabajo estratégico y lo aplica en la construcción del pedido, por lo que el proveedor (usuario) sólo debe aprobar las órdenes sugeridas, o configurarlas para que sean aprobadas en automático.

3.2.3 Órdenes de Compra

Los pedidos de módulo *Advanced Store Replenishment* se crean basándose en la necesidad de los *SKU's* de cada tienda y solicitados a un Centro de Distribución o a un proveedor. El sistema crea un pedido con las necesidades de una manera precisa y teniendo en cuenta múltiplos de compra, condiciones de compra por parte de los proveedores, días fijos de pedidos, ciclos de pedido óptimos, niveles de inventario y demanda, entre otros parámetros. En caso de que los pedidos no estén en automático, la herramienta mostrará las particularidades de los artículos que lo componen para su revisión, antes de ser aprobados.

Los pedidos se clasifican en tres secciones; *DUE*, que son los pedidos que deben ser aceptados hoy para mantener el nivel de servicio objetivo del proveedor o cuando ha sido forzado por un día fijo de pedido en la semana o mes. '*A*' *Order Point*, que se refiere a todos aquellos pedidos que no son *DUE* pero incluyen uno o más artículos por debajo de su *Item Order Point* (punto de reorden) y el artículo tiene un nivel de servicio alto. Por último, están los pedidos *Order Point* que

a diferencia de los 'A' *Order Point* incluye artículos por debajo de su *Item Order Point*, pero con un nivel de servicio bajo.

Todas las órdenes de compra contienen tres columnas con la información a pedir en las distintas unidades de medida de los artículos. La primera columna *Independent* muestra la totalidad del pedido. En la segunda columna *Auto Adjust* se puede observar la totalidad del pedido más cualquier cantidad adicional añadida automáticamente al pedido para llegar a los mínimos de las condiciones de compra por parte del proveedor de nombre *Brackets* o por la compra especial con un plan, ambos se explicarán a detalle más adelante. Para finalizar está la columna *Final Adjust* que muestra la suma de la columna previa *Auto Adjust* más cualquier cambio manual hecho durante el día, como el hecho de agregar días extra de inventario a la orden de compra.

Otros indicadores que se podrán validar a nivel orden de compra son los *SKU Checks*, ya que el sistema alerta de algunos datos que tienen que ser verificados antes de enviar el pedido, por ejemplo: artículos nuevos, artículos sin *forecast* (los cuales no generarán pedido), qué artículos están dentro de los pedidos 'A' *Order Point* y *Order Point*, *Quantity Check* que se refiere a los artículos con incongruencia entre las cantidades a pedir y los días de inventario, artículos que se piden manualmente, artículos con ventas perdidas entre otros.

Por último, dentro de las órdenes de compra se pueden observar los *brackets* que son las condiciones de compra impuestas por el proveedor, como mínimos de compra en cualquiera de las unidades de medida de los artículos.

A continuación, se muestra una orden de compra con los 3 puntos principales a observar; cantidad a pedir a nivel proveedor, alertas de los artículos a revisar y condiciones de compra (*brackets*):

Buyer ID 00101 S1086411 Super Source ID G - Order Point 'A' Order Type
Source ID S1086411 SUPER HASBRO 0 Delay
Store ID 00101 SAN JERONIMO
View DC ID 00905 2/7/2020 Last Order Date

Order Summary Approval Information Super Source Summary

Independent	Auto Adjust	Final Adjust	Totals	
33,986	33,986	35,134	Amount	
728	728	808	Eaches	
4	4	4	Weight	
755,955	755,955	796,634	Volume	
61	61	67	Dozens	
72	72	75	Cases	
72	72	75	Layers	
72	72	75	Pallets	
728	728	808	Others	

Count	Type
3	Order Point 'A' Check
46	Order Point Check
38	Quantity Check
12	Manual Check
150	Lost Sales Quantity Check

Rebuild Information
21 Extra Days
1 Bracket

Bracket	Minimum	Maximum	Unit	To Max	Discount %	SKU Bracket Pricing	Save
1	35,000	0	1 - Amount	0 - No	0.0	0 - NONE	

SOQ SKUs... All SKUs...
Detail...
Add...
Remove

Rebuild Rebuild to Days... Recalc Create Truck Split...

Ilustración 22. Orden de compra

Fuente: *Software BlueYonder™* versión 2018.1.0

3.2.4 Super Vendor

Otra de las ventajas del *software BlueYonder™* es agrupar proveedores para generar una sola orden de compra, ya que combina pedidos para cumplir con un mínimo de compra o aprovecharse de un descuento, además de calcular la carga de los camiones de una forma más eficiente, a esta funcionalidad se le conoce como *SuperVendor*. Dentro del módulo *Advanced Store Replenishment (ASR)*, La Compañía utiliza esta función para los pedidos que se realizan por medio del fuljo logístico *crossdock* que van de proveedor a tienda, ya que agrupa las necesidades de todas las tiendas para cumplir fácilmente con la condición de compra por parte del proveedor. En el módulo de *Advanced Warehouse Replenishment (AWR)*, La Compañía no utiliza esta función, sin embargo, otras compañías sí que lo hacen para agrupar la necesidad de varias bodegas y hacer pedidos al proveedor más grandes y con menor frecuencia, para reducir costos de transporte.

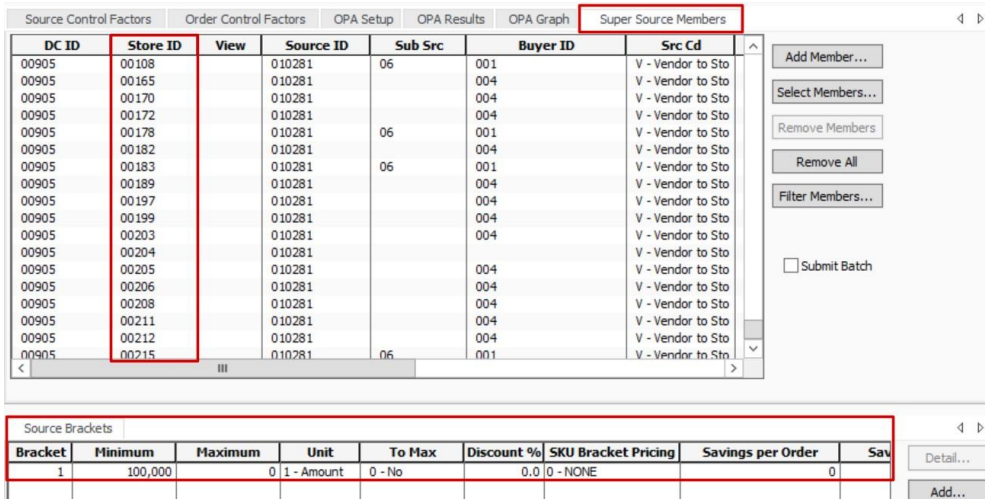


Ilustración 23. Configuración *SuperVendor* de La Compañía Fuente: *Software BlueYonder™* versión 2018.1.0

3.2.5 Sub Vendor

En caso de querer dividir un proveedor en varios pedidos, *BlueYonder™ software* tiene la función *SubVendor*, que se crea cuando se necesita dividir los artículos de un mismo proveedor en registros separados para cumplir requisitos específicos, tales como; que los artículos de un proveedor sean comprados por distintos aprovisionadores (como ocurre en la configuración de La Compañía), condiciones de compra distintas, o tiempos de entrega diferentes.

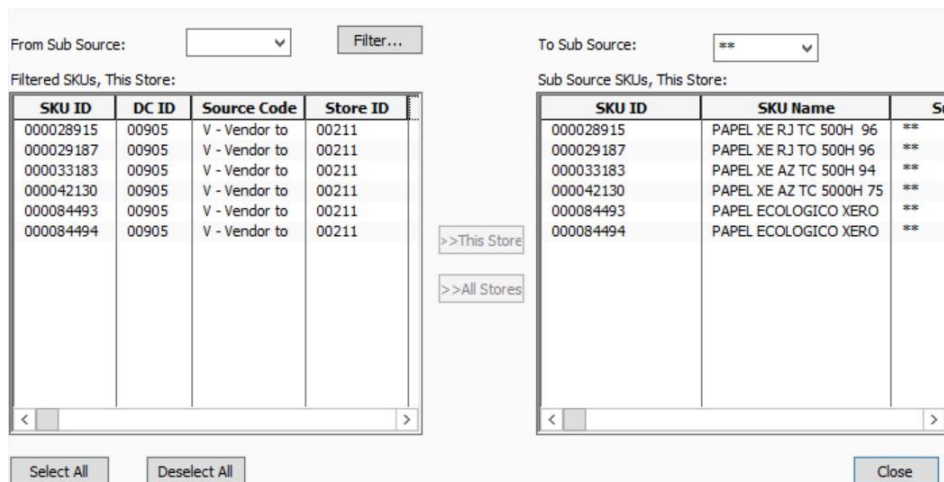


Ilustración 24. Configuración *SubSource* de La Compañía

Fuente: *Software BlueYonder™* versión 2018.1.0

3.2.6 System Class

Cada uno de los artículos se revisa de forma independiente en el proceso nocturno cada día, y uno de los análisis más importantes que *software* BlueYonder™ realiza es definir el comportamiento del artículo (*System class*) considerando el histórico de ventas y clasificándolo en una de las cinco categorías; *R - Regular* que son aquellos artículos con demanda regular, fácil de predecir. *S - Slow*, artículos de lenta rotación con ventas intermitentes. *L - Lumpy*, artículos con ventas muy variables, difícil de predecir. *N - New*, artículos con menos de 6 meses de historia y, por último, *U - Uninitialized* que significa que son artículos que se dieron de alta en el sistema pero aún no cuentan con una previsión inicial para que la herramienta pueda calcular un *forecast* y un sugerido SOQ.

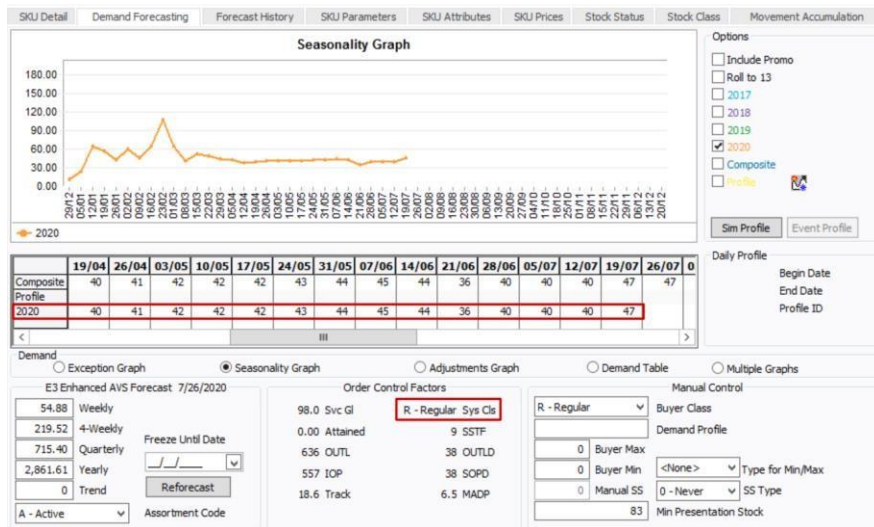


Ilustración 25. *System Class: R - Regular*_ejemplo

Fuente: *Software* BlueYonder™ versión 2018.1.0

3.2.7 Buyer Class

Otro factor para considerar y que el cliente debe definir es el tipo de aprovisionamiento (*Buyer Class*), ya que, dependiendo de éste, *software* BlueYonder™ calcula o no un sugerido SOQ. Los tipos de aprovisionamiento permitidos son; *R - Regular*, para que el sistema realice la reposición normal del artículo de forma automática. *W - Watch*, que implica que el sistema destaque el artículo durante la reposición, marcándolo en la orden de compra y el usuario pueda darle un seguimiento más minucioso. *M - Manual*, en este caso el sistema no compra el artículo de forma automática, generalmente porque son artículos que se compran una vez al año o artículos de temporada, por lo que el usuario puede agregarlos a la orden de compra manualmente cuando así lo decida. Y *D - Discontinue*, tal como su nombre lo dice son artículos que están discontinuados y no generan sugeridos, sin embargo, no se eliminan del sistema para conservar el histórico de ventas en caso de que se active nuevamente en el futuro, o se active un artículo similar y se le pueda copiar ese histórico, o que aún tenga *stock* y se quiera seguir monitoreando

el consumo de éste hasta que se termine.

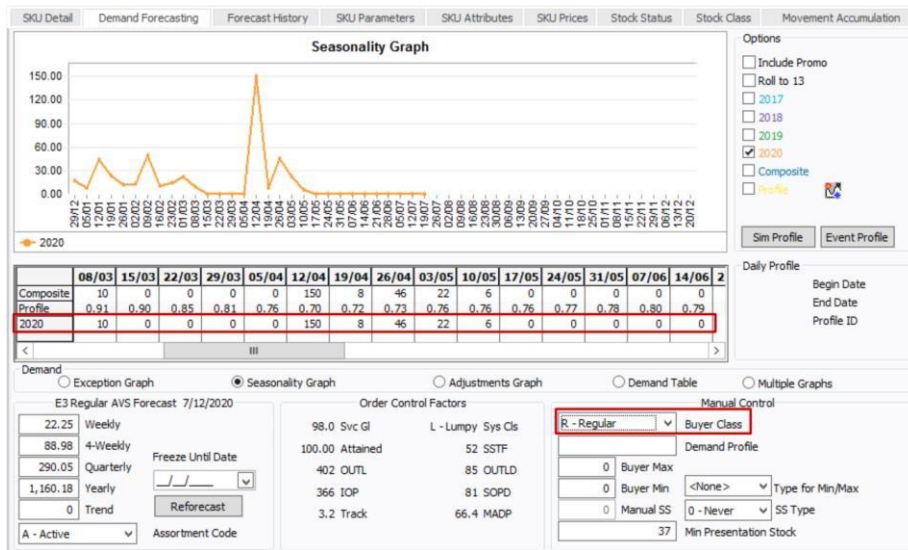


Ilustración 26. Buyer Class: R – Regular_ ejemplo

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0

3.2.8 Excepciones Históricas

Adicional, como parte de la optimización de software BlueYonder™, éste genera excepciones históricas que incluyen todos aquellos artículos en los que la demanda se ha visto desviada fuera de un rango aceptable, el cual está informado en los parámetros de compañía.

Count	Description
0	Demand Filter High
0	Demand Filter Low
0	Tracking Signal High
0	Tracking Signal Low
0	Service Level Check
0	Infinity Check
0	Watch SKUs
0	Seasonal SKUs
0	New SKUs
0	Manual SKUs
0	Discontinued SKUs

Count	Description
0	Event Forecast Exceptions

Count	Description
0	Last 3 Periods Demand Greater than Forecast
0	Forecast Less than 1.5 AND Last 3 Avg. Greater than 20
0	Forecast Greater than 1.5 times Last 3 Average
0	MADP greater than 40 Percent AND annual sales greater than \$900
0	Safety stock days greater than (order cycle + lead time)
0	Top Selling SKUs
0	Service level goal is greater than or equal to 98 percent
0	Service level goal greater than or equal to 97% AND less than 98%
0	Weeks Sales equal to or greater than OUTL Hard Max
0	Demand Forecast > 3 AND Act Demand is 100 % > Forecast Demand
0	Demand Forecast > 4 AND Act Demand is 75 % < Forecast Demand
0	3 pd Demand Forecast > 3 AND 3 pd Act Demand is 100 % > Forecast D
0	3 pd Demand Forecast > 4 AND 3 pd Act Demand is 75 % < Forecast De
0	Order Cycle Exceptions > 4 days difference or > 75% profit difference

Ilustración 27. Excepciones Históricas

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0

Los artículos aparecen el primer día de cada nuevo periodo en función de la periodicidad de la previsión, (en el caso de La Compañía es semanal) y requieren la inmediata atención del usuario.

Dentro de cada categoría, los artículos se clasifican de mayor a menor de acuerdo con el monto de ventas anuales. En caso de que un artículo se encuentre dentro de varias categorías se recomienda revisarlo y corregirlo en la categoría más alta y desaparecerá del resto de categorías. Las categorías son las siguientes:

Filtro de demanda alta

Estas excepciones ocurren cuando la demanda del periodo más reciente es más alta que lo esperado, y de no ser revisado o corregido el sistema puede efectuar compras insuficientes del producto. Dentro de las condiciones que pudieron contribuir a la tendencia al alza se encuentran; las ventas promocionales, ventas perdidas, demanda de clientes nuevos, que el artículo esté siendo sustituido por otro o que el artículo es de temporada y requiere un perfil estacional. Los usuarios por su parte pueden ignorar la excepción porque tienen el conocimiento de que el incremento ocurrió por única vez o porque asumen que continuará, o pueden ajustar el perfil estacional (en caso de que el artículo sea de temporada), o ajustar el histórico, como promociones y ventas perdidas para evitar faltantes.

Filtro de demanda baja

Estas excepciones ocurren cuando la demanda del periodo más reciente es mucho más baja que lo esperado y si esto continúa por varios periodos el sistema puede comprar este artículo en exceso y crear un *overstock*. Dentro de los factores que pueden contribuir a la tendencia a la baja se encuentran; malas negociaciones que provocan un descenso en la demanda, que el artículo esté agotado y no se estén calculando las ventas perdidas, que el artículo haya sido reemplazado, que la demanda del artículo se vea afectada por la promoción de otro artículo o que el artículo requiera un perfil estacional por ser de temporada. Los usuarios tienen que validar que la disminución en la demanda ocurrió por única vez o continuará para hacer los ajustes pertinentes en el perfil estacional o en el histórico además de asegurarse que las ventas perdidas se están calculando, para evitar *overstock*.

Para que no se generen demasiadas excepciones históricas de filtro de menada alta y baja, *software BlueYonder™* permite colocar dos factores (uno para cada filtro) a nivel compañía que ayudan a definir un rango de aceptación para cada uno de los artículos, ya que toma en cuenta el *forecast* y el MADP (desviación entre la demanda pronosticada y la demanda real) de cada uno de éstos con las siguientes fórmulas:

$$\text{Demand Filter High} = \text{MADP} * \text{Forecast} * \text{DF High Filter} + \text{Forecast} \dots\dots (7)$$

$$\text{Demand Filter Low} = \text{MADP} * \text{Forecast} * \text{DF High Low} + \text{Forecast} \dots\dots(8)$$

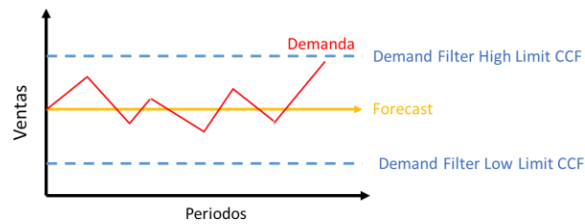


Ilustración 28. Demand Filter High/Low

Fuente: Elaboración propia (2020).

En software BlueYonder™, estos factores se observan de la siguiente manera:

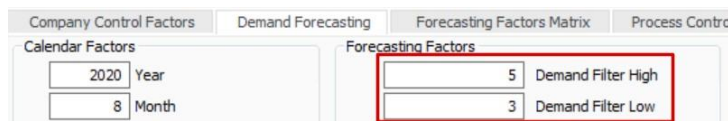


Ilustración 29. Forecasting Factors a nivel compañía

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0

Tendencia alta

Las excepciones de tendencia alta se generan cuando ocurre un ascenso importante en la demanda de los últimos periodos. Dentro de AWR se representa la tendencia al alza con un signo negativo que indica que la previsión está por debajo respecto a la demanda actual. Dentro de las condiciones que pudieron haber contribuido en esta tendencia al alza se encuentran; que el artículo es nuevo y la demanda está aumentando, que es de temporada y aún no se le aplica un perfil estacional, ventas promocionales o sustitución de artículos. Por lo que el usuario debe validar que el sistema está manteniendo la previsión apropiadamente, además de revisar si se espera que continúe dicho índice de demanda, y asignar un perfil estacional en caso de requerirlo.

Tendencia baja

Este tipo de excepciones ocurren cuando se está produciendo un descenso importante en la demanda durante los periodos recientes. Algunas de las condiciones que pudieron haber contribuido a la tendencia a la baja; la demanda del artículo está disminuyendo considerablemente por razones atípicas, el artículo es de temporada y no le ha establecido un perfil o que un artículo similar está en promoción afectando a este artículo. En este caso los usuarios deben realizar las actividades básicas de revisión de la previsión para confirmar que el sistema la mantiene apropiadamente, y configurar un perfil de estacionalidad en caso de ser necesario.

Control de Nivel de Servicio

Los controles de nivel de servicio ocurren cuando los artículos no alcanzan la meta de nivel de servicio para el último periodo. Esto no significa solamente que las ventas perdidas fueron registradas, si no que el porcentaje de la meta del nivel de servicio no se cumplió. En este caso existen muchos factores que pudieron evitar alcanzar las metas de nivel de servicio, tales como; pico promocional en las ventas, cifras infladas de ventas perdidas, demanda de clientes nuevos, sustitución de artículo, el artículo necesita un perfil estacional, problemas en el envío, retrasos de recepción o errores en el tiempo de entrega. Los usuarios deben revisar la previsión y aplicar perfil estacional si se necesita.

Control Infinito

Por último, se encuentran las excepciones históricas de control infinito que ocurren cuando un artículo se ha vendido durante el último periodo y éste tiene una previsión de cero en el sistema. El sistema avisa a través de este *warning* que se ha producido una cantidad infinita de cambio en la previsión. Dentro de lo que pudo contribuir a este tipo de excepciones, están; que el artículo es nuevo y está empezando a venderse, que no se ha vendido nunca y ahora está teniendo algunas ventas, que se le asignó una previsión de cero y se está vendiendo o que la previsión ha caído a cero en un cierto plazo y ahora tuvo demanda. Para estas excepciones, los usuarios además de revisar las previsiones y asignar perfiles estacionales en caso de ser necesario, deben evaluar si es conveniente realizar una configuración completa de todos los componentes relativos a este artículo.

Es importante que los usuarios incluyan dentro de sus actividades la revisión de las excepciones históricas cada que inicia un nuevo periodo, en el caso de La Compañía cada lunes, para llevar un mejor control de la operación en general y monitorear el correcto funcionamiento del sistema, es decir que la configuración inicial se siga adaptando a la operación o si se requiere hacer modificaciones para un aprovisionamiento más acertado.

3.2.9 Módulos Avanzados

Software BlueYonder™ cuenta con módulos avanzados que apoyan en la optimización de los niveles de *stock* de cada tienda y del Centro de Distribución de La Compañía. El módulo de *Advanced Store Replenishment*, que gestiona el suministro de proveedores/bodega a tiendas, tiene 3 módulos importantes que apoyan el cálculo del sugerido óptimo; eventos, planes y *overstock* transfer, mientras que el módulo *Advanced Warehouse Replenishment* para el aprovisionamiento de proveedor a bodega, cuenta con 1 módulo de optimización de nombre *Deal/Forward Buy*.

El módulo de eventos fue diseñado para administrar las compras promocionales. Los eventos o promociones de larga duración que comprenden *lead time* y *order cycle* pueden beneficiarse de la reposición promocional, basándose en un perfil de venta de evento pronosticado, es decir, *software* BlueYonder™ calcula el sugerido tomando en cuenta el impacto en el periodo promocional definido, además de colocar la orden de compra considerando el tiempo de entrega, para que una vez comience el periodo promocional, ya se cuente con la mercancía en *stock*. En general, este módulo permite el resurtido de eventos promocionales con precisión para cumplir con los requerimientos de inventario a través del evento, reduce la posibilidad de *overstock* y permite añadir artículos relacionados al evento que se pueden afectar positiva o negativamente por el perfil de venta del artículo principal en el evento.

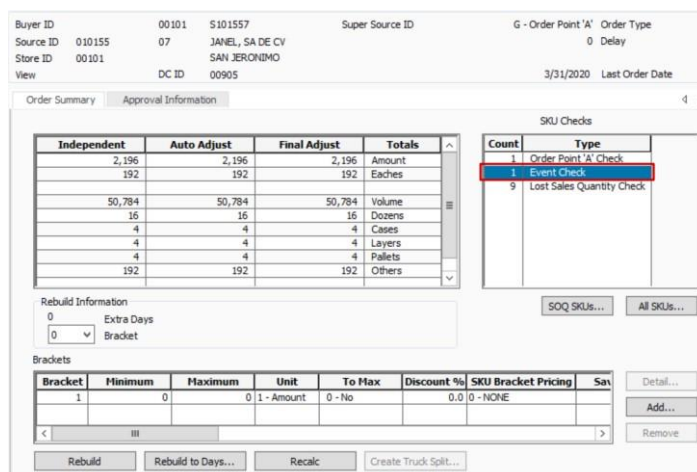


Ilustración 30. Orden de compra que incluye la cantidad adicional a pedir para cumplir con la demanda de un evento promocional

Fuente: *Software* BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Otro de los módulos de *Advanced Store Replenishment* para la optimización de inventarios, es Planes, el cual permite planificar pedidos para eventos específicos, tales como promociones o pedidos especiales, de hecho, se puede planificar un pedido en el sistema con un año de anticipación. Dentro de sus funcionalidades de este módulo está crear múltiples planes para el mismo artículo en cada una de sus ubicaciones, calcular el sugerido para el plan utilizando el inventario disponible o añadir la reposición normal, además de poder especificar la fecha en la que se debe hacer el pedido o a fecha en la que se espera recibirlo. A diferencia del módulo de eventos, éste se utiliza para compras puntuales y no hay reaprovisionamiento durante el periodo promocional, mientras que en el evento si se pueden abastecer las tiendas más de una vez.

Buyer ID 00101 51015509 Super Source ID D - Planned Order Type
Source ID 010155 09 JANEL, SA DE CV 0 Delay
Store ID 00101 SAN JERONIMO
View DC ID 00905 2/24/2020 Last Order Date

Order Summary Approval Information

Independent	Auto Adjust	Final Adjust	Totals
13,210	14,930	14,930	Amount
1,366	1,693	1,693	Eaches
3,132	3,132	3,132	Weight
169,626	195,074	195,074	Volume
114	141	141	Dozens
1,210	1,537	1,537	Cases
491	535	535	Layers
372	385	385	Pallets
1,366	1,693	1,693	Others

Count	Type
3	Order Point 'A' Check
5	Order Point Check
7	Quantity Check
1	Plan Check
18	Lost Sales Quantity Check

Rebuild Information
0 Extra Days
0 Bracket

Bracket	Minimum	Maximum	Unit	To Max	Discount %	SKU Bracket Pricing	San
1	0		1 - Amount	0 - No	0.0	0 - NONE	

SOQ SKUs... All SKUs...

Rebuild Rebuild to Days... Recalc Create Truck Split...

Ilustración 31. Orden de compra que incluye la cantidad adicional a pedir de un plan para cumplir con la demanda de una promoción o venta especial

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

El módulo de *Overstock Transfer* de *Advanced Store Replenishment*, involucrado en la optimización de inventarios de software BlueYonder™, ayuda en la administración del exceso de existencias de las tiendas, al permitir transferir el exceso de inventario de una ubicación a otra, que tenga demanda para evitar realizar compras adicionales al proveedor. Esto ayuda a reducir el exceso de inventario en las tiendas, permitir la asignación automática o manual del exceso de stock y actualizar el cálculo y la asignación de excedentes cada noche, semanalmente o bajo demanda. Dentro de la orden de compra se visualiza la cantidad de sugerencias para transferir entre tiendas y si se selecciona el *Transfer check* se ve el listado de artículos a transferir, de qué tienda a qué tienda se realizará la transferencia y el SOQ, por lo que esta cantidad se resta del pedido al proveedor.

Buyer ID 008 F - Transfer Order Type
Source ID 010155 JANEL, SA DE CV 0 Delay
Store ID 00102 CUITLAHUAC
View DC ID 00905 Last Order Date

Order Summary Approval Information

Independent	Auto Adjust	Final Adjust	Totals
5,113	5,113	5,113	Amount
332	332	332	Eaches
3,247	3,247	3,247	Weight
56,836	56,836	56,836	Volume
28	28	28	Dozens
222	222	222	Cases
79	79	79	Layers
57	57	57	Pallets
332	332	332	Others

Count	Type
3	Order Point 'A' Check
7	Order Point Check
3	Quantity Check
4	Transfer Check
9	New Check
3	Lost Sales Quantity Check
2	Uninitialized Check

Rebuild Information
0 Extra Days
0 Bracket

Bracket	Minimum	Maximum	Unit	To Max	Discount %	SKU Bracket Pricing	San
1	0		1 - Amount	0 - No	0.0	0 - NONE	

SOQ SKUs... All SKUs...

Rebuild Rebuild to Days... Recalc Create Truck Split...

Ilustración 32. Orden de compra que muestra las transferencias entre tiendas sugeridas Fuente: Software

BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

SKU ID	SKU Name	DC ID	Source Code	Traff fro...	Store ID	SOQ A...
000079925	CINTA JANEL KRYSYAL 4PK 1BK33	00905	V - Vendor to Store	00110	00102	36
000040902	ROLLO ADHES TRANSP 45CMX10MTS	00905	V - Vendor to Store	00110	00102	72
000068206	FORRO KRYSYAL TRANSP. 45X 2MTS	00905	V - Vendor to Store	00167	00102	96
000068207	FORRO KRYSYAL TRANSP. 45X 5MTS	00905	V - Vendor to Store	00167	00102	200

Ilustración 33. Listado de transferencias entre tiendas sugeridas

Fuente: *Software BlueYonder™* versión 2018.1.0 (2020).

Por último, el módulo *Deal/Forward Buy* de *Advanced Warehouse Replenishment* permite ingresar en el sistema datos de negociaciones entre el comprador y el proveedor debido a ofertas o reducciones de precio en caso de compra anticipada o mayor volumen. Esto permite que el sistema compre inventario de reposición mientras se encuentra en la orden de compra, calcula cantidades de compra anticipada y determina cuándo hacer estas compras. Este módulo se utiliza para simular una compra de inversión basada en información de ofertas de último minuto o un aumento de precio. Entre sus beneficios, se encuentra; crear y mantener ofertas en línea, reponer el inventario al precio de oferta automáticamente mientras esté vigente el periodo de negociación y calcular los días de inventario óptimos para comprar a plazo, en función de la oportunidad de la negociación, la demanda de artículos y la cantidad disponible.

Buyer ID 008
Vendor ID 020159 IRIS USA
Warehouse 916 BODEGA 916

B - Due Order Type
0 Delay
8/13/2020 Last Order Date

Order Summary Approval Information

Independent	Auto Adjust	Final Adjust	Totals	
34,614	36,744	36,744	Amount	
260	276	276	Eaches	
359,060	381,156	381,156	Weight	
805,324	854,882	854,882	Volume	
22	23	23	Dozens	
65	69	69	Cases	
11	12	12	Layers	
3	3	3	Pallets	
260	276	276	Others	

Rebuild Information
0 Extra Days
0 Bracket

Brackets

Bracket	Minimum	Maximum	Unit	To Max	Disc%	Item Bracket Pricing	Saving

Item Checks

Count	Type
1	Order Point 'A' Check
1	Forward Buy Check
1	Back Order Check
1	New Check
11	Manual Check

SOQ Items... All Items...
Detail... Add... Remove

Rebuild Rebuild to Days... Recalc Create Truck Split...

Ilustración 34. Orden de compra que incluye una compra anticipada debido a una negociación Fuente: *Software BlueYonder™* versión 2018.1.0 (2020).

Cada uno de los módulos detallados anteriormente, se deben activar para poder parametrizarlos y que la herramienta los considere en el proceso nocturno y los involucre en cálculo del sugerido óptimo a nivel artículo – tienda y artículo - bodega. La información para los eventos y planes se puede definir directo en *software BlueYonder™* o enviar por medio de una interfaz.

Capítulo 4. Escenarios para Minimizar los Niveles de *Overstock* en las Tiendas y el Centro de Distribución de La Compañía

En esta sección se diseñan los escenarios de simulación considerando parámetros operativos/logísticos como previsión de la demanda, *lead time*, inventario de seguridad y ciclo de pedido para minimizar los niveles de *overstock* en las tiendas y el Centro de Distribución de la Compañía.

4.1 Parámetros Operativos/Logísticos

4.1.1 Previsión de la Demanda

La Compañía cuenta con un ERP (Planificación de Recursos Empresariales), donde almacena todo tipo de información, tales como las ventas diarias a nivel artículo en cada una de las tiendas. Estas ventas viajan cada noche por medio de una interfaz al módulo de *Advanced Store Replenishment* (ASR), y se acumulan semanalmente para ser consideradas al final de cada periodo (cada domingo) en el proceso nocturno *weekly*, el cual se encarga de calcular la previsión del siguiente periodo/semana.

Para el flujo logístico *Vendor – Store* que se refiere al aprovisionamiento de proveedor a tienda, las ventas en cada una de las tiendas son consideradas para definir qué pedir al proveedor.

En el caso del flujo logístico *DC – Store* que es para los artículos de stock, es decir, que se aprovisionan de bodega a tienda, se sugirió como método de pronóstico *OPT E3 Forecast* en el módulo *Advanced Warehouse Replenishment* (AWR), ya que este método asegura que los pronósticos se acumulen en la bodega con cada actualización o cambio en ASR, además de que a esta demanda se le sumaría la propia del almacén dependiente. En pocas palabras, el historial de demanda de BlueYonder™ *Advanced Warehouse Replenishment* (AWR) se basa en el historial de demanda de BlueYonder™ *Advanced Store Replenishment* (ASR).

Cuando se inicia el proceso de Optimización (OPT), se agrega el historial de demanda a nivel de tienda y se coloca en el almacén que abastece a la tienda. Esta información se agrega de todas las tiendas del almacén para tener un número de historial de demanda único para cada período. Una vez realizada la carga inicial, la demanda de ASR se transfiere diariamente al historial de demanda de AWR. El historial de demanda de ASR y el historial de demanda agregada en AWR se muestra en las pestañas de *Demand Forecasting*.

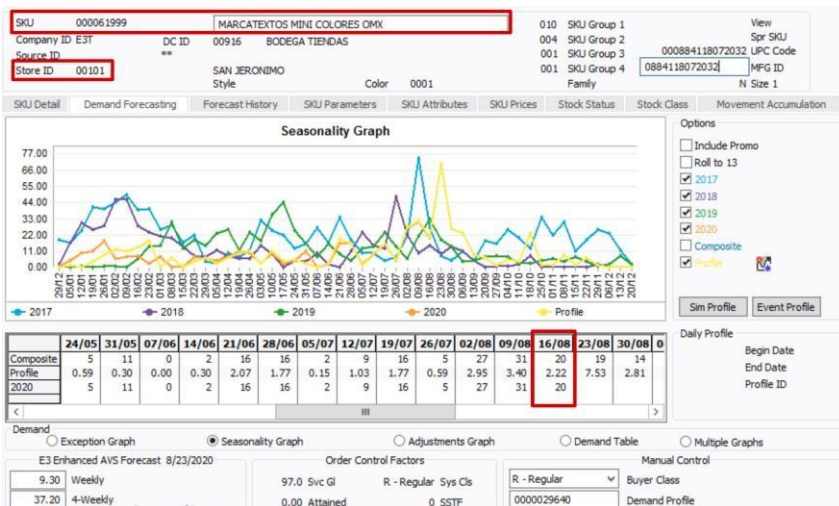


Ilustración 35. Demanda a nivel sku - tienda en ASR

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

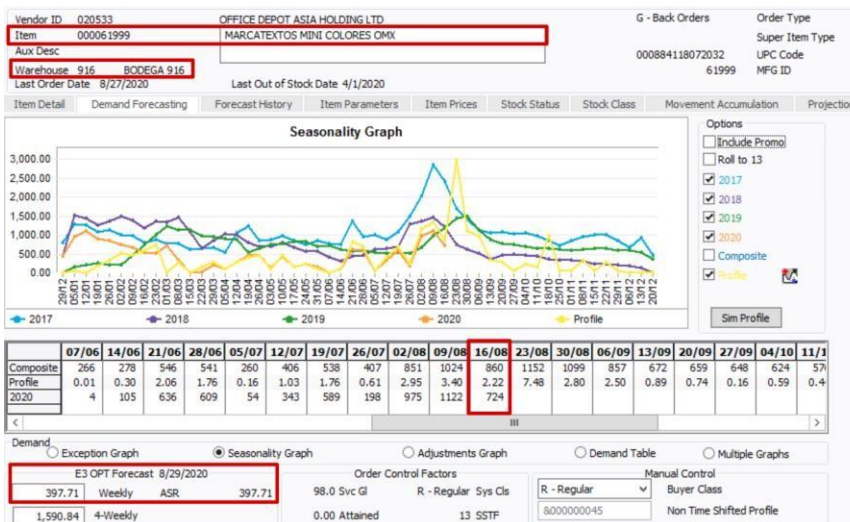


Ilustración 36. Demanda agrupada a nivel ítem - bodega en AWR

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Con las ventas agregadas en AWR, se puede definir qué comprar al proveedor por medio del flujo logístico *Vendor – DC*, y garantizar el *stock* suficiente en la bodega para satisfacer las necesidades de las tiendas en el caso de los artículos de *stock*.

4.1.2 *Lead Time* (Tiempo requerido para entregar el producto al cliente)

La Compañía utiliza el flujo logístico *Vendor – Store* para un aprovisionamiento *crossdock*, lo que implica que el proveedor entrega la mercancía en la bodega, que en el caso de La Compañía es la bodega 905, y de aquí se hace un *picking* de los empaques y se envía a tiendas en múltiplos de compra más pequeños.

Por lo anterior La Compañía ha tenido que sumar el tiempo de entrega que el proveedor definió por contrato, de abarca desde la ubicación del proveedor a la bodega 905, más el tiempo de entrega de la bodega 905 a cada una de las tiendas, tomando en cuenta el tiempo de *picking*. Este *lead time* se envía por interfaz en una carga inicial o cada que hay una modificación como un *lead time* teórico y se observa en ASR en el campo *Lead Time Quoted* a nivel proveedor.

Para los artículos de *stock*, no se tuvo que hacer modificaciones en la base de datos de La Compañía, ya que para el flujo *Vendor – DC* se envía por interfaz el tiempo de entrega definido por el proveedor, que va de la ubicación de éste a la bodega 916 y se visualiza en AWR en el campo *Lead Time Quoted* a nivel proveedor. Mientras que para el flujo logístico *DC – Store* se envía por interfaz el tiempo de entrega de la bodega 916 a las tiendas y puede variar para cada una de las tiendas según la distancia. Este *Lead Time* también se visualiza en el campo *Lead Time Quoted* a nivel proveedor, ya que en este caso la bodega 916 funciona como proveedor.

En el caso del *Lead Time Forecast* que es el tiempo de entrega real y el *Lead Time Variance* que es la confiabilidad del proveedor, ambos son calculados por BlueYonder™ *software*, sin embargo, para los cálculos, La Compañía tiene que enviar por interfaz cada noche la fecha en las que se emite cada una de las órdenes de compra al proveedor y la fecha de recepción de dichas órdenes. El *Lead Time Variance* es un porcentaje que va del 0% – 50% siendo el 0% muy confiable y el 50% poco confiable.

Los campos *Lead Time Forecast* y *Lead Time Variance* se visualizan a nivel proveedor y a nivel artículo, por lo que existen dos *interfaces*, una a nivel proveedor E3SXLTV/E3XLTV para ASR y AWR, y otra a nivel artículo E3SXLTO/E3XLTO para ASR y AWR respectivamente. Generalmente los tiempos de entrega son los mismos en ambos niveles, pero puede haber excepciones donde un artículo de la orden de compra llegue antes o después por temas logísticos y/o de producción por parte del proveedor.

En ASR los tiempos de entrega a nivel proveedor se encuentran dentro de las propiedades de

éste en la pestaña *Source Control Factors* y a nivel artículo en las propiedades de éste, en la pestaña *SKU Parameters*. Mientras que en AWR, el *Lead Time* a nivel proveedor se encuentra en la pestaña *Vendor Control Factors* y a nivel artículo en la pestaña *Item Properties*.

Company ID E3T TEST OFFICEMAX 2018.1
 DC ID 00905 V - Vendor to Store
 Source ID 010155 07 JANEL, SA DE CV Last Accepted OPA
 View Last Calculated OPA
 Store ID 00101 SAN JERONIMO 7 Current Order Cycle

Source Control Factors Order Control Factors OPA Setup OPA Results OPA Graph

Order Control
 97.0 Service Level Goal
 0 Service Attained Value
 0 Service Attained Units
 0.00 Service Days Out
 Order Cycle
 Sub Source Approval
 Super Source ID
 Super Source Store
 Buyer ID

Lead Time Control
 Lead Time Quoted
 Lead Time Forecast
 LT Variance
 0.0 LT Signed Error
 0.00 Source LT Tracking

Bracket Controls
 Current Bracket
 Automatic Rebuild
 Order Precision

Source Group Codes
 Source Group 1 Source Group 7
 Source Group 2 Source Group 8
 Source Group 3 Source Group 9
 Source Group 4 Source Group 10
 Source Group 5 Source Group 11
 Source Group 6 Source Group 12

Order Accumulators
 9 Number of Active SKUs
 25,525.92 Purchased Dollars Year
 644 Purchased Units Year To

Ilustración 37. *Lead Time* a nivel proveedor en ASR

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

SKU 000011810 MASKING TAPE JANEL 18MMX50M 007 SKU Group 1 View
 Company ID E3T DC ID 00905 CROSS DOC D.F. 002 SKU Group 2 Spr SKU
 Source ID 010155 JANEL, SA DE CV 001 SKU Group 3 007501035100114 UPC Code
 Store ID 00101 SAN JERONIMO 001 SKU Group 4 7501035113701 MFG ID
 Style Color 0002 Family Size 1

SKU Detail Demand Forecasting Forecast History SKU Parameters SKU Attributes SKU Prices Stock Status Stock Class Movement Accumulation

Quantity Translations
 Unit of Measure
 Cube/Unit
 Cube Divisor
 Weight/Unit
 Weight Divisor
 Units per Case
 Units per Layer
 Units per Pallet
 Units per Unit
 Sales Pack
 Order Quantity Divisor
 Order Unit of Measure

Ordering Restrictions
 Minimum Quantity
 Buying Multiple
 Convenience Pack
 Conv Pk Breakpoint %
 Number of Conv. Packs
 Shelf Life Days
 Transfer Multiple
 Order Strategy Switch
 Order Balance Switch
 OUTL Hard Max
 Start Date
 Stop Date

Master Pack Setup
 Master Pack Qty
 Master Pack Min
 MP Breakpoint %

Lead Time Information
 Lead Time Forecast
 LT Variance

Demand Forecasting Control
 Forecast Periodicity
 13.93 Demand - Weekly
 14 Source Cycle Units
 21 SKU Cycle Units
 Forecast Method
 Forecasting Demand Limit

SKU Cost Factors
 Purchase Price
 Purchase Price Divisor
 Sales Price

Additional OPA Factors
 Carrying Cost Adjustment
 Handling Cost Adjustment

Service Level Controls
 Service Level Goal
 Out of Stock Point
 R - Regular Buyer Class

Daily Profile
 Daily Profile

Exclusions
 Exclude from Auto Transfer

Ilustración 38. *Lead Time* a nivel artículo en ASR

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Vendor ID 020533 OFFICE DEPOT ASIA HOLDING LTD
 Whs 916 BODEGA 916 Last Accepted OPA
 Last Calculated OPA
 1 Current Order Cycle

Vendor Control Factors Order Control Factors OPA Setup OPA Results OPA Graph Vendor Address

Order Control
 98.0 Service Level Goal
 100 Service Attained Value
 100 Service Attained Units
 100.00 Service Days Out
 Order Cycle
 Sub Vendor Approval
 Super Vendor ID
 Super Vendor Warehouse
 Regional Whs ID
 Buyer ID

Lead Time Control
 Lead Time Quoted
 Lead Time Forecast
 LT Variance
 Lead Time Profile ...
 2.0 LT Signed Error
 8.40 Vendor LT Tracking

Order Accumulators
 282 Number of Active Items
 263 Number of Inactive Items
 0 Non-Stock Items
 17,039,899.98 Purchased Dollars Year to Date
 916,635 Purchased Units Year to Date

Bracket Controls
 Current Bracket
 Automatic Rebuild
 Auto Approval Bracket
 SupV Build Option

Truck Split Controls
 Truck Size Bracket
 Auto Truck Split Option
 Delivery Date Calc. Opt

Vendor Group Codes
 Vendor Group 1
 Vendor Group 2
 Vendor Group 3
 Vendor Group 4
 Vendor Group 5
 Vendor Group 6
 Vendor Group 7
 Vendor Group 8
 Vendor Group 9
 Vendor Group 10
 Vendor Group 11
 Vendor Group 12

Vendor Type

Ilustración 39. Lead Time a nivel proveedor en AWR

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Vendor ID 020533 OFFICE DEPOT ASIA HOLDING LTD
 Item 000061999 MARCATEXTOS MINI COLORES OMX
 Warehouse 916 BODEGA 916 Last Order Date 8/27/2020
 Last Out of Stock Date 4/1/2020
 G - Back Orders Order Type
 000884118072032 Super Item Type
 61999 MFG ID

Item Detail Demand Forecasting Forecast History Item Parameters Item Prices Stock Status Stock Class Movement Accumulation Projections Special Account History

Quantity Translations
 Unit of Measure
 Cube/Unit
 Cube Divisor
 Weight/Unit
 Weight Divisor
 Units per Case
 Units per Layer
 Units per Pallet
 Units per Unit
 Sales Pack
 Order Quantity Divisor
 Order Unit of Measure

Ordering Restrictions
 Minimum Quantity
 Buying Multiple
 Convenience Pack
 Conv Pk Breakpoint %
 Number of Conv. Packs
 Shelf Life Days
 TI-H
 Transfer Multiple
 Exclude from Auto Transfer
 Exclude from Alternate Source

Other Attributes
 Item Class

Item Group Codes
 Item Group 1
 Item Group 2
 Item Group 3
 Item Group 4
 Item Group 5
 Item Group 6
 Item Group 7
 Item Group 8
 Item Group 9
 Item Group 10
 Item Group 11

Lead Time Information
 Lead Time Forecast
 LT Variance

Demand Forecasting Control
 Forecast Periodicity
 Demand - Weekly
 Vendor Cycle Units
 Item Cycle Units
 Forecast Method
 Forecasting Demand Limit

Item Cost Factors
 Purchase Price
 Purchase Price Divisor
 Sales Price

Additional OPA Factors
 Carrying Cost
 Handling Cost

Daily Profile

Service Level Controls
 Service Level Goal
 Suggested Service Level
 Out of Stock Point
 Buyer ID
 Buyer Class

Ilustración 40. Lead Time a nivel artículo en AWR

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

En caso de que el tiempo de entrega del artículo sea distinto al de su proveedor, se ve activo el *check* a un costado izquierdo del campo *Lead Time Forecast* y *Lead Time Variance* según sea el caso.

Vendor ID 020533 OFFICE DEPOT ASIA HOLDING LTD
 Item 000061999 MARCATEXTOS MINI COLORES OMX
 Warehouse 916 BODEGA 916 Last Order Date 8/27/2020
 Last Out of Stock Date 4/1/2020
 G - Back Orders Order Type
 000884118072032 Super Item Type
 61999 MFG ID

Item Detail Demand Forecasting Forecast History Item Parameters Item Prices Stock Status Stock Class Movement Accumulation Projections Special Account History

Quantity Translations
 Unit of Measure
 Cube/Unit

Ordering Restrictions
 Minimum Quantity
 Buying Multiple

Lead Time Information
 Lead Time Forecast
 LT Variance

Ilustración 41. Lead Time a nivel artículo distinto del Lead Time de su proveedor

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

En resumen, el tiempo de entrega es utilizado por BlueYonder™ software para definir cuándo comprar para que la mercancía llegue a tiempo y no haya faltantes, principalmente cuando los proveedores son poco confiables o tienen tiempos de entrega muy largos, como el caso de los artículos de importación.

4.1.3 Inventario de seguridad

BlueYonder™ software calcula el inventario de seguridad a nivel artículo – tienda o bodega, tomando en cuenta factores como nivel de servicio, variación de la demanda, previsión, tiempo de entrega y su variación, además del ciclo de pedido. Mientras mayor es cada uno de estos factores, mayor inventario de seguridad se requerirá.

El cálculo del inventario de seguridad es propiedad de BlueYonder™ software y se considera en el cálculo del sugerido para definir cuánto comprar, por lo que se recomendó a La Compañía que en caso de querer aumentar o bajar el inventario de seguridad calculado, tendría que ajustar la demanda o la previsión para que aumente o disminuya la variación entre éstas, el ciclo de pedido a nivel proveedor o a nivel artículo en el caso de AWR, o ajustar el nivel de servicio a nivel artículo, para que se recalcule el inventario de seguridad automáticamente.

Para ajustar la demanda o la previsión se debe acceder a las propiedades del artículo en cada una de las tiendas o la bodega, ambas en la pestaña de *Demand Forecasting*. En el caso de la demanda, se debe ir al apartado *Adjustment Graph* donde se pueden editar las ventas regulares, ventas perdidas y ventas promocionales.

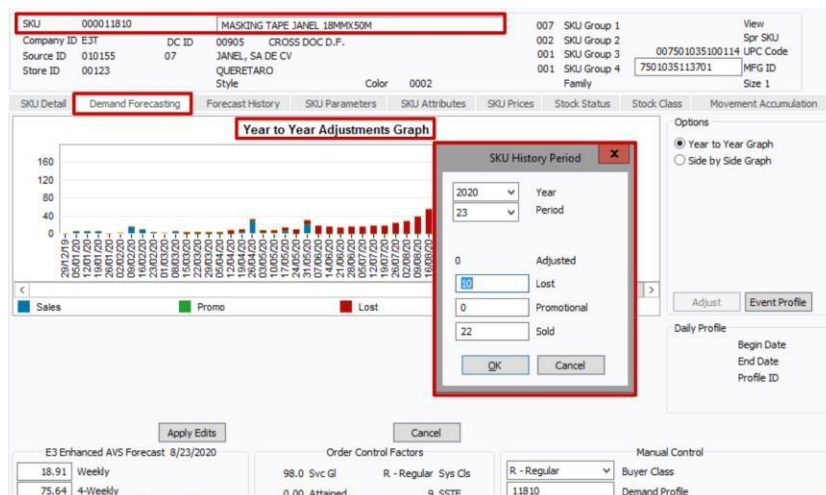


Ilustración 42. Ajustar histórico de ventas a nivel artículo - locación

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Para modificar la previsión, se puede colocar manualmente el nuevo valor en el campo *weekly*, o en caso de haber modificado las ventas regulares, las ventas perdidas o las ventas promocionales, seleccionar el botón de *Reforecast* y se ajustará automáticamente la previsión.

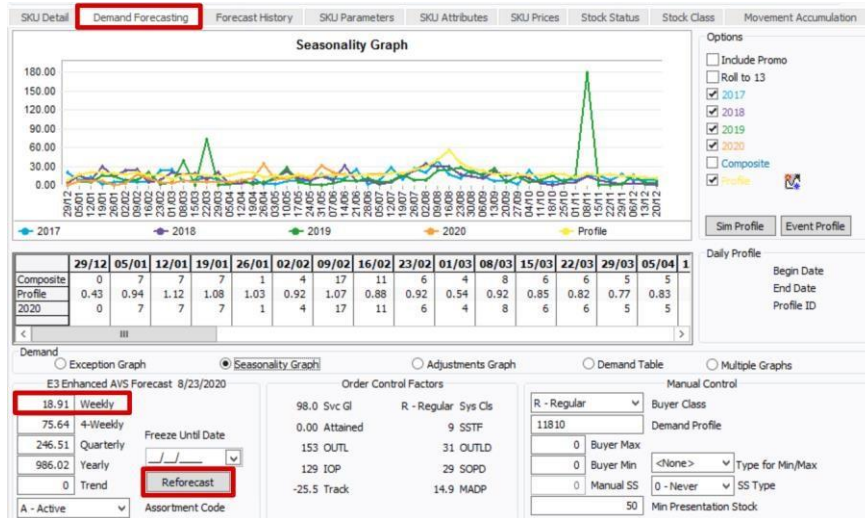


Ilustración 43. Ajustar previsión de la demanda a nivel artículo – locación

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

En caso de querer ajustar el ciclo de pedido a nivel proveedor, se debe acceder a las propiedades del proveedor y en la pestaña *OPA Results*, seleccionar otra de las opciones de ciclo de pedido generadas al recalcular el OPA o definir alguno nuevo editando el campo *Order Cycle* y aceptarlo.

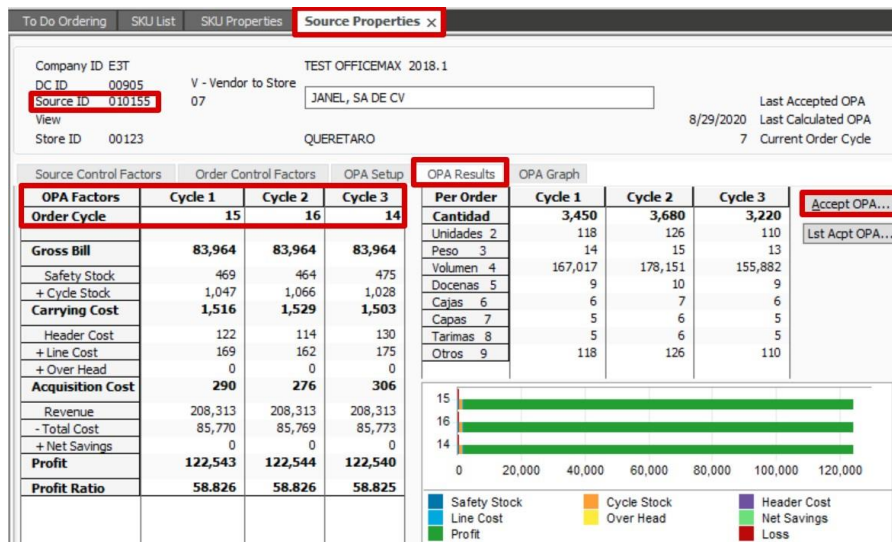


Ilustración 44. Ajustar order cycle a nivel proveedor en ASR/AWR

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Sólo en el módulo de *Advanced Store Replenishment*, además de ajustar el ciclo de pedido a nivel proveedor, también se puede modificar el ciclo de pedido a nivel artículo en días, dentro de las propiedades del proveedor, en la pestaña *Order Control Factors* en el campo *ICycle Override in Days*.

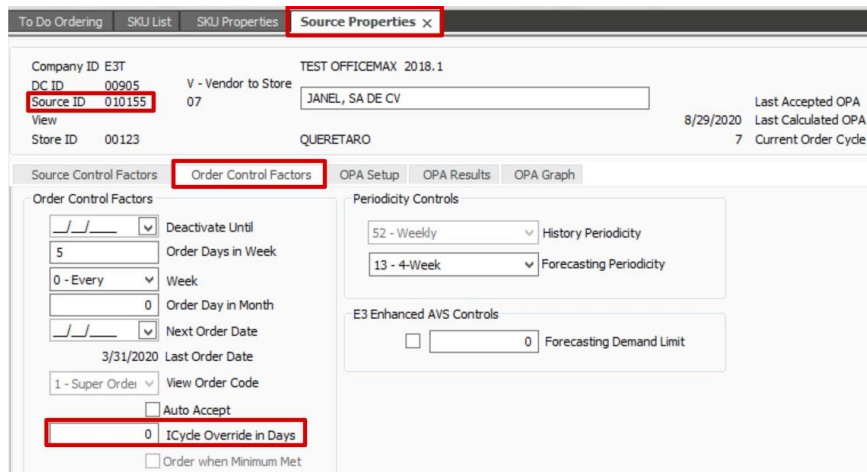


Ilustración 45. Ajustar *order cycle* a nivel artículo en ASR
Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Por último, para ajustar el nivel de servicio se puede hacer en cualquiera de los 3 niveles; compañía, proveedor o artículo. En caso de modificarlo a nivel compañía, aplicará para todos los proveedores y artículos, si se actualiza a nivel proveedor, se extenderá este valor a todos sus artículos, y a nivel artículo se puede definir manualmente en cada una de sus locaciones en la pestaña de *Item Parameters* o de forma masiva desde las propiedades de La Compañía en la pestaña *Classification* de acuerdo a la clasificación ABC que realiza la herramienta, es decir BlueYonder™ software asigna una clasificación ABC a cada uno de los artículos de acuerdo a la rotación y La Compañía define el nivel de servicio para cada una de éstas.

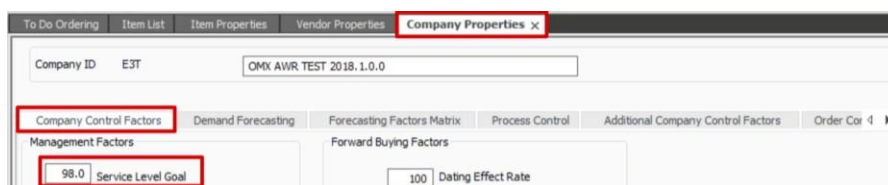


Ilustración 46. Nivel de servicio a nivel compañía
Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Vendor ID 020533 OFFICE DEPOT ASIA HOLDING LTD 8/29/2020 Last Accepted OPA
 Whs 916 BODEGA 916 8/29/2020 Last Calculated OPA
 4 Current Order Cycle

Vendor Control Factors Order Control Factors OPA Setup OPA Results OPA Graph Vendor Address

Order Control 98.0 Service Level Goal

Lead Time Control Lead Time Quoted Bracket Controls Current Bracket

Ilustración 47. Nivel de servicio a nivel proveedor

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Vendor ID 020533 OFFICE DEPOT ASIA HOLDING LTD G - Back Orders Order Type
 Item 000061999 MARCATEXTOS MINI COLORES OMX Super Item Type
 Aux Desc 000884118072032 LPC Code
 Warehouse 916 BODEGA 916 61999 MFG ID
 Last Order Date 8/27/2020 Last Out of Stock Date 4/1/2020

Quantity Translations Unit of Measure
 1.830 Cube/Unit
 1 Cube Divisor
 4.320 Weight/Unit
 1 Weight Divisor
 120 Units per Case
 9,120 Units per Layer
 57,280 Units per Pallet
 1 Units per Unit
 1 Sales Pack
 1 Order Quantity Divisor
 1 Order Unit of Measure

Ordering Restrictions
 1 Minimum Quantity
 120 Buying Multiple
 0 Convenience Pack
 0 Conv Pk Breakpoint %
 0 Number of Conv. Packs
 0 Shelf Life Days
 T76 H94 TI+H
 0 Transfer Multiple
 Exclude from Auto Transfer
 Exclude from Alternate Source

Other Attributes
 B Item Class

Lead Time Information
 18.00 Lead Time Forecast
 23.8 LT Variance

Demand Forecasting Control
 52 - Weekly Forecast Periodicity
 397.71 Demand - Weekly
 155 Vendor Cycle Units
 342 Item Cycle Units
 0 - E3 OPT Forecast Method
 0 Forecasting Demand Limit

Item Cost Factors
 2.4759 Purchase Price
 1 Purchase Price Divisor
 80 Sales Price

Additional OPA Factors
 0 Carrying Cost
 0.00 Handling Cost

Service Level Controls
 98.0 Service Level Goal
 0.00 Suggested Service Level
 0 Out of Stock Point

Item Group Codes
 010 Item Group 1
 004 Item Group 2
 001 Item Group 3
 Item Group 7
 Item Group 8
 Item Group 9

Ilustración 48. Nivel de servicio a nivel artículo.

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

Company ID EST OMX AWR TEST 2018.1.0.0

Order Control PO Control Alternate Source Nightly System Definition Exception Control Planning Factors Classification

Item Classification

Item % Level	Item Class	Item Service Lev
40	A	99.0
30	B	97.0
25	C	95.0
5	D	93.0
0		0.0
0		0.0
0		0.0
0		0.0

Submit Item...

Ilustración 49. Clasificación ABC de los artículos

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

4.1.4 Ciclo de Pedido

La Compañía ha decidido calcular el *Order Policy Analysis* OPA para cada uno de sus proveedores y aceptar el que mayor costo – beneficio proporcione. Este *order cycle* será considerado en el cálculo del sugerido para definir con qué frecuencia se le debe comprar al proveedor. En el caso del *order cycle* a nivel artículo, La Compañía respetará el calculado por BlueYonder™ software.



Ilustración 50. Cálculo del OPA

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

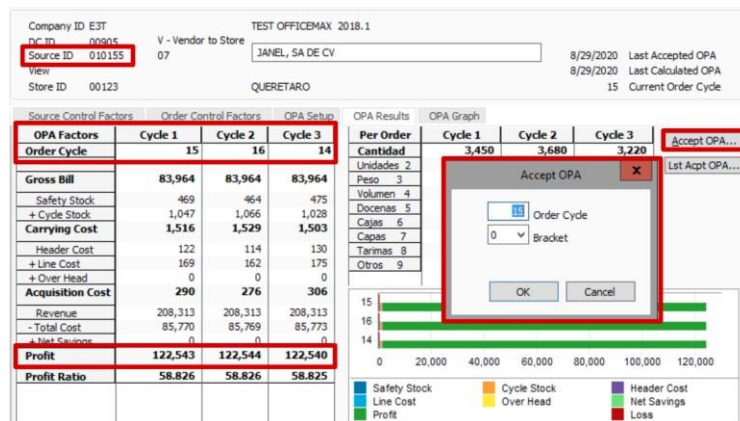


Ilustración 51. Aceptar el *order cycle* con mejor costo – beneficio

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

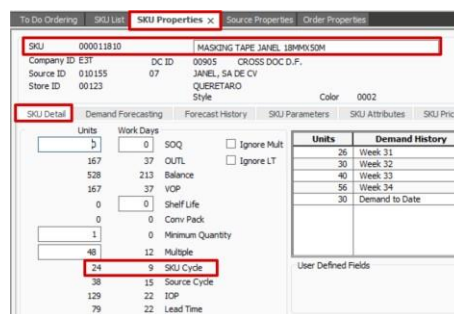


Ilustración 52. Order cycle a nivel artículo

Fuente: Software BlueYonder™ versión 2018.1.0 (2020).

4.2 Diseño de Escenarios

La implementación de los módulos *Advanced Store Replenishment (ASR)* & *Advanced Warehouse Replenishment (AWR)* en La Compañía se realizaron tomando como base una rueda de *retail* que involucra 7 fases; planificación, red logística, gestión de ingresos, operación en tiendas y bodega, aprovisionamiento, análisis de resultados y gestión de transacciones.

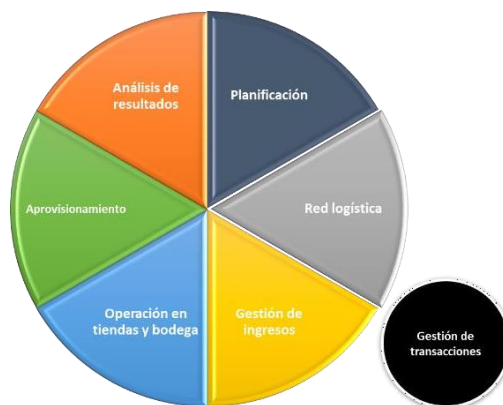


Ilustración 53. Rueda de *retail* para implementación de módulos ASR y AWR en La Compañía

Fuente: Elaboración propia (2020).

4.2.1 Planificación

Planificación financiera

Actualmente no existe un presupuesto formal que restrinja a BlueYonder™ *software* para realizar sus cálculos y generar un SOQ (Cantidad de pedido sugerida). Sin embargo, existe un candado dentro de La Compañía que limita la aprobación de órdenes de compra en cantidad y días de suministro. Dichos candados se encuentran capturados en el ERP, por lo que en caso de que los sugeridos de ASR y AWR sean superiores a los límites definidos por La Compañía, no se emitirán las órdenes de compra a los proveedores.

Planificación de surtido

Desde el ERP se gestiona el surtido de artículos a nivel tienda administrado por el área de compras, evitando modificaciones manuales directo en ASR, es decir, el equipo comercial debe definir el alcance a nivel de *sku* – tienda, lo que significa definir qué artículos se abastecerán en cada una de las tiendas.

Las *interfaces* de ASR envían información a nivel *sku* - tienda, por lo que el flujo logístico (*Vendor - store / DC - store*) debe definirse desde el ERP, además del estado del artículo según la clasificación de ASR (*regular / watch / manual / descontinuado*). La equivalencia del estado de los artículos entre ASR y el ERP para los artículos *crossdock* de La Compañía quedó de la siguiente manera:

ASR	ERP
R – Regular	A01 – Resurtible A03 – Artículos no retail
W – Watch	
M – Manual	
D – Discontinue	A02 – Descontinuado A04 – In&Out A05 – Temporada
D – Delete	I – Inactivo D – Descontinuado

Ilustración 54. Equivalencia del estatus de los artículos *crossdock* entre ASR y el ERP de La Compañía

Fuente: Elaboración propia (2020).

Para los artículos de *stock* (Proveedor - DC - Tienda), la equivalencia de estado de los artículos en el ERP, ASR y AWR se ha definido de la siguiente manera:

ASR&AWR	ERP - ASR	ERP - AWR
R – Regular	A01 – Resurtible A02 – Descontinuado (hasta que el <i>stock</i> = 0) A03 – Artículos no retail A04 – In&Out (hasta que el <i>stock</i> = 0)	A01 Resurtible A03 – Artículos no retail
W – Watch		
M – Manual		
D – Discontinue	A05 - Temporada	A02 – Descontinuado A04 – In&Out A05 – Temporada
D – Delete	I – Inactivo D – Descontinuado	I – Inactivo D – Descontinuado

Ilustración 55. Equivalencia del estatus de los artículos de *stock* entre ASR&AWR y el ERP de La Compañía

Fuente: Elaboración propia (2020).

Promociones

Para automatizar la gestión de promociones utilizando el módulo de Eventos en ASR y tener *stock* suficiente para satisfacer la demanda de los artículos durante su periodo promocional, se realizó un desarrollo en el que el área comercial pueda capturar el impacto promocional y éste viaje a ASR a través de la interfaz de eventos estándar E3SX EVT.

En caso de no poder enviar por interfaz el impacto de las promociones desde el ERP con la interfaz de eventos, se debe informar a ASR las fechas promocionales de cada uno de los artículos en promoción para filtrar estas ventas del historial durante el proceso nocturno *weekly*.

4.2.2 Red Logística

Red de almacenes

La Compañía tiene actualmente el almacén 916 que se utilizan para el almacenamiento de artículos de importación, mientras que el almacén 905 es exclusivo para gestionar los artículos parametrizados como *crossdock*, donde se hace un *picking* y se agrupan para ser enviados a tienda.

Dentro de La Compañía los artículos de *crossdock* del almacén 905 se configuraron con el flujo

logístico *Vendor – Store* y los artículos de importación del almacén 916 se asignaron al flujo logístico *DC – Store*. Mientras que en AWR se configuraron los mismos artículos de *stock* con el flujo logístico *Vendor – DC*.

Flujos logísticos

Para los artículos *crossdock* de La Compañía se parametrizó un Super Proveedor para agrupar las necesidades de las tiendas y realizar un solo pedido al proveedor.

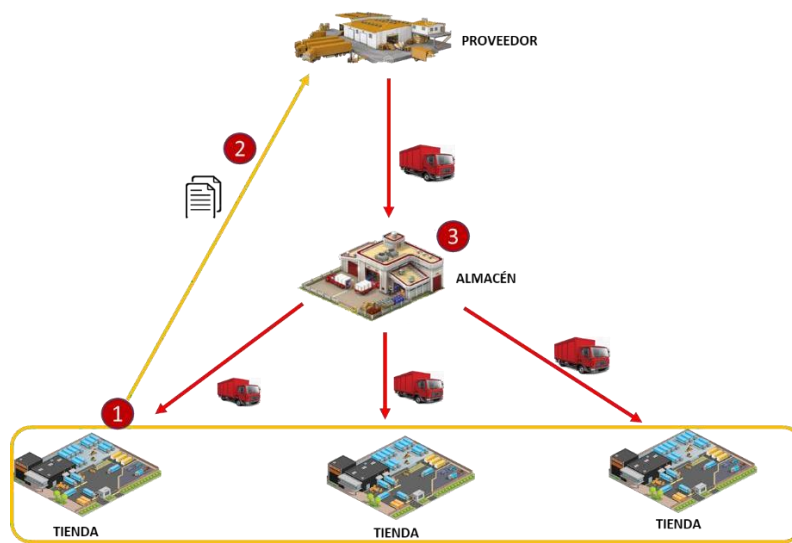


Ilustración 56. Flujo logístico *Vendor - Store* para artículos *crossdock*

Fuente: Elaboración propia (2019).

Adicional, dentro de ASR se configuraron los artículos de *stock* con el flujo logístico *DC - Store* para traslados que vayan de almacén a tienda, debido a las necesidades y niveles de *stock* de cada una de las tiendas. Mientras que para AWR se utilizará el flujo logístico *Vendor – DC* para administrar pedidos desde el almacén al proveedor considerando los niveles de *stock* del almacén y las tiendas.

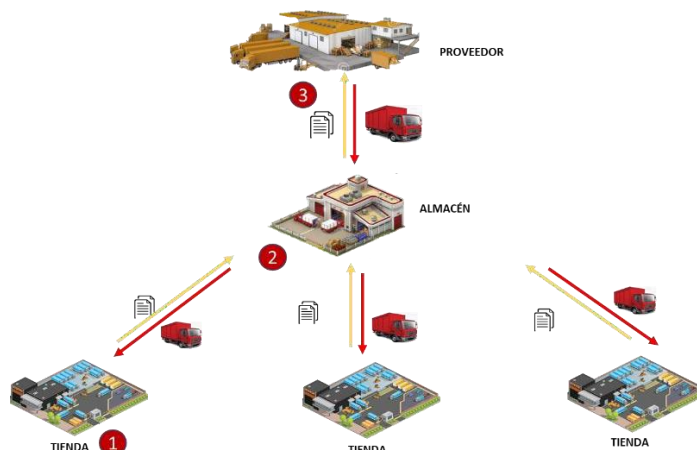


Ilustración 57. Flujos logísticos ASR (DC - Store) y AWR (Vendor - DC)

Fuente: Elaboración propia (2019).

Por otra parte, La Compañía solicitó utilizar el módulo *Time Supply Push Allocation*, para que se pueda gestionar de forma manual, una pre - distribución a tiendas cada vez que se reciba un contenedor con artículos de importación en la bodega 916, ya que con esto se reducirán las maniobras de almacenamiento en los *racks*, porque una parte del contenedor se enviará a las tiendas de acuerdo con necesidad y el resto se almacenará.

4.2.3 Gestión de Transacciones

Es en el ERP donde se realiza el mantenimiento del catálogo (*SKU's* activos e inactivos, tiendas, proveedores, precios, costos, promociones, generación de órdenes de compra, devoluciones de proveedores, entre otros).

La Compañía utilizará ASR para generar órdenes de compra del proveedor para todos los artículos parametrizados como *crossdock* y el flujo de estas órdenes de compra es el siguiente:

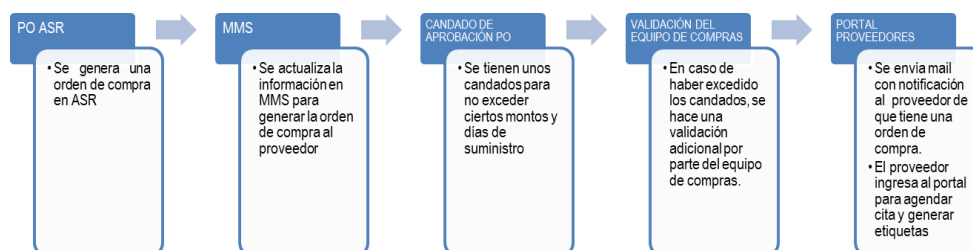


Ilustración 58. Generación de órdenes de compra de artículos *crossdock*

Fuente: Elaboración propia (2020).

En el caso de AWR, la arquitectura para administrar las órdenes de compra de artículos de almacenamiento será la siguiente:

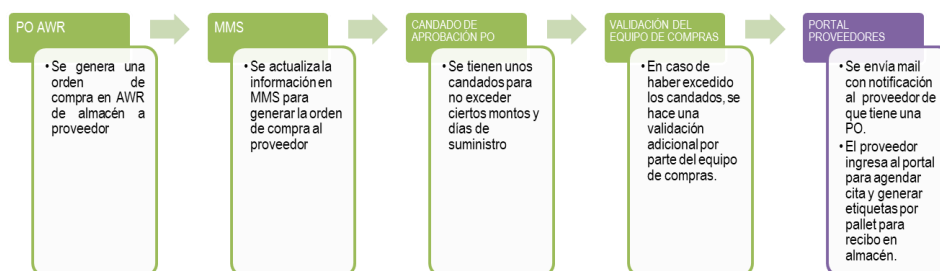


Ilustración 59. Generación de órdenes de compra de artículos de stock

Fuente: Elaboración propia (2020).

Las órdenes de compra derivadas de los sugeridos de ASR y AWR se generarán desde el ERP. El ERP al crear órdenes de compra debe respetar la fecha de creación y entrega de la mercancía de las órdenes sugeridas de ASR y AWR, para lo cual se programaron dos procesos, uno diario y otro semanal para ASR y otros para AWR.

4.2.4 Gestión de Ingresos

Los costos y precios de venta a nivel artículo deben transferirse del ERP a ASR y AWR en pesos y el monto en efectivo.

Adicional, existe el concepto de compra especulativa y actualmente La Compañía lo gestiona manualmente. Sin embargo, en AWR existe el módulo *Forward Buy Analysis* que se utiliza para simular una compra de inversión basada en una negociación de último momento o un aumento de precio, lo cual puede funcionar en el tema de las importaciones de La Compañía.

4.2.5 Operación en Tiendas y Bodegas

Estatus del stock

Dentro de cada uno de los módulos de BlueYonder™ *software* se gestiona el inventario; sumando el inventario disponible (*on hand*) más el inventario en tránsito (*on order*), menos el inventario reservado y menos *back orders* que se refiere a los artículos que se tienen en exhibición y no se pueden poner a la venta posteriormente.

Para cada uno de los módulos de BlueYonder™ *software*, los inventarios se componen con distintos conceptos dentro del ERP, para posteriormente enviar el valor final por interfaz a ASR y AWR. Para ASR el inventario *on hand* corresponde al inventario disponible en cada una de las tiendas, y el *on order* es resultado de la suma de las órdenes abiertas más las transferencias

entre tiendas, más las transferencias de bodega a tienda, más el *picking* en el centro de distribución.

Del lado de AWR, el *on hand* corresponde al inventario disponible en el almacén, y el *on order* es la suma de las órdenes abiertas más las transferencias entre bodegas.

Transferencia entre tiendas

Actualmente existen transferencias entre tiendas dentro de La Compañía, pero se gestionan manualmente, sin embargo, con el módulo de *Overstock Transfer* de ASR se manejará el exceso de existencias de las tiendas permitiendo la distribución de *overstock* a otras tiendas con demanda de *stock* para evitar que se realicen compras adicionales al proveedor.

4.2.6 Aprovisionamiento

Unidad de compra del proveedor y envío del almacén a la tienda

En ASR, el equivalente al número de piezas por caja debe mantenerse en el campo de múltiplo de compra a nivel artículo, por lo que las transferencias se realizan en múltiplos de cajas.

En el caso de AWR, los campos de múltiplo de compra y paquete de conveniencia se capturarán a nivel de artículo, donde el múltiplo de compra es equivalente al número de piezas por caja, y el paquete de conveniencia equivale a la cantidad de piezas en éste, que pueden ser múltiples cajas.

Cálculo de *Over/Understock* en AWR

Una de las funcionalidades de OPT de nombre *over/understock* permite gestionar la red logística de los artículos de stock a través de los módulos ASR & AWR, donde calcula el SOQ a nivel bodega considerando el *stock* sobrante o faltante en las tiendas.

El cálculo del sobrante o faltante se realiza dentro del proceso nocturno diariamente, considerando el stock de todas las tiendas que se abastecen desde ese almacén, es decir, si una tienda tiene un exceso de existencias de un determinado artículo de 200 unidades y otra tienda tiene un faltante de 200 unidades, el total de *over/understock* es de 0 unidades.

4.2.7 Análisis de Resultados

KPI's

Los informes de ASR y AWR ofrecen muchas herramientas valiosas para analizar y ajustar las políticas de nivel de servicio e inventario. Estos informes se pueden ejecutar en cualquier

momento en varios formatos. Al seleccionar los parámetros del informe, puede especificar diferentes opciones para los criterios disponibles, como comprador, proveedor y artículos.

Hay dos tipos generales de informes disponibles, informes estándar y de clasificación.

Informes estándar

- **Forecasting Accuracy Report:** presenta una imagen compuesta de la precisión de la previsión para el último período. El informe compara las ventas reales con las ventas esperadas predichas por el pronóstico de demanda.
- **Inventory Accuracy Report:** compara el inventario teórico con el inventario real. El inventario teórico se define como la cantidad promedio de inventario requerida para cumplir con los objetivos del nivel de servicio. La ejecución de este informe permite comparar el inventario teórico con el inventario real actual.
- **Service Level Accuracy reports:** brindan una descripción general del rendimiento al mostrar los niveles de servicio reales alcanzados en dólares y unidades.
- **Items Out of Stock Report:** clasifica los artículos por posibles pérdidas de ventas en los próximos 7 días y muestra el periodo enviado hasta la fecha y las ventas perdidas, así como la demanda esperada.
- **Lost Sales Analysis Report:** enumera todos los artículos con ventas perdidas para el periodo actual o el periodo anterior (según su selección) y enumera los artículos en orden descendente, según el valor en dólares de las ventas perdidas. Por ejemplo, el primer artículo del informe es el artículo con el valor en dólares más alto de ventas perdidas. El total de cada línea es acumulativo.
- **SOQ vs Actual Purchase Quantity Report:** destaca la diferencia entre el SOQ de ASR&AWR y la cantidad aceptada en el pedido. El Gerente de Proyecto puede ejecutar el informe diariamente para identificar por parte del comprador los tipos de cambios realizados en los pedidos. Esta información debe usarse para determinar dónde se necesita educación adicional.
- **On Hand Overstock Analysis Report:** proporciona una instantánea del exceso de existencias actualmente disponible, clasificado por los costos de mantenimiento adicionales incurridos para agotar a un nivel normal de existencias.
- **Balance Overstock Analysis Report:** avisa de un exceso de existencias pendiente debido a cantidades bajo pedido, clasificadas según los costos de transporte adicionales incurridos para agotar a un nivel de existencias normal.
- **Projections Report:** el módulo de proyecciones permite crear un informe que proyecta la demanda y las compras futuras hasta con dos años de antelación. Además, el informe de proyecciones se puede programar en el trabajo nocturno de ASR utilizando proyecciones programadas.

Informes de clasificación

Los informes de clasificación permiten clasificar a los proveedores o artículos según su valor de venta, ventas unitarias, valor de inventario real o teórico, contribución a las ganancias, relación de ganancias y número de días de suministro (sólo artículos).

- ***Sales Value by Vendor Ranking Report***: clasifica a los proveedores de mayor a menor según el pronóstico anual de ventas en dólares.
- ***Unit Sales by Vendor Ranking Report***: clasifica a los proveedores de mayor a menor según el pronóstico anual de ventas unitarias.
- ***Actual Inventory Value Vendor Ranking Report***: clasifica a los proveedores de mayor a menor según los dólares de inventario disponibles.
- ***Theoretical Stock Value by Vendor Ranking Report***: clasifica a los proveedores de mayor a menor de acuerdo con sus dólares de inventario teórico. Los dólares de inventario teórico se calculan usando unidades de inventario de seguridad, unidades de ciclo de orden y costo del artículo.
- ***Actual to Theoretical Stock by Vendor Ranking Report***: clasifica a los proveedores de mayor a menor según su relación teórica. La relación real a teórica se calcula dividiendo los dólares de inventario teórico del proveedor entre los dólares de inventario real del proveedor.
- ***Profit Contribution by Vendor Ranking Report***: clasifica a los proveedores de mayor a menor según su contribución anual a las ganancias. La Contribución a las ganancias se calcula multiplicando las ventas unitarias anualizadas del proveedor por el margen del proveedor y restando los costos de mantenimiento y pedido proyectados del proveedor.
- ***Profit Ratio by Vendor Ranking Report***: clasifica a los proveedores de mayor a menor según la relación de beneficios. La relación de beneficio de un proveedor se calcula multiplicando primero las ventas unitarias anualizadas del proveedor por el margen del proveedor, restando los costos de mantenimiento y pedido proyectados del proveedor, dividiendo el resultado por las ventas anuales del proveedor.

CONCLUSIONES

Se revisó literatura relacionada con la simulación – optimización para reducir los niveles de inventario y gestionar de manera óptima el aprovisionamiento, además de los *softwares* de simulación – optimización utilizados actualmente en distintos eslabones de la cadena de suministro, ya que el objetivo de esta tesis era implementar un modelo de simulación-optimización para minimizar los niveles de *overstock* en las tiendas y del Centro de Distribución de La Compañía, que apoye la toma de decisiones en la gestión de aprovisionamiento eficiente, considerando parámetros operativos/logísticos como previsión de la demanda, *lead time*, inventario de seguridad y ciclo de pedido.

La solución de Simulación – Optimización que mejor se adapta a las problemáticas planteadas en el modelo de negocio en estudio, es el método JIT (*Just-in-Time*) japonés, el cual ha revelado muchos beneficios al considerar el tiempo de entrega como una variable controlable, ya que de este factor dependen otros que son igual de importantes para un aprovisionamiento exitoso, tales como, el inventario de seguridad, nivel de servicio y frecuencia de pedido, además de permitir mayor variación en la demanda.

El *software* de simulación – optimización actualmente en el mercado que utiliza el método JIT (*Just-in-Time*) en distintos eslabones de la cadena de suministro y que es uno de los más completos para optimizar los niveles de inventario en varios sectores, especialmente en *retailers* que es el sector de interés en esta tesis, es BlueYonder™, ya que permite un control de la cadena de suministro de principio a fin en tiempo real, incluyendo la optimización de inventario en distintos niveles, según la necesidad y estrategia de La Compañía, dando como resultado un retorno de inversión del 300%, una reducción en los niveles de inventario del 55% y un ahorro de tiempo del 40% en la gestión por parte del proveedor.

En La Compañía, se implementaron dos soluciones de BlueYonder™; ASR (*Advanced Store Replenishment*) que gestiona el aprovisionamiento del Centro de Distribución a las tiendas, con el objetivo de tener el inventario suficiente en las tiendas para satisfacer la demanda en cada una de ellas. Antes de la implementación, La Compañía tenía *overstock* en algunas tiendas y faltantes en otras ya que enviaba la misma cantidad de cada uno de los artículos a cada tienda, pues no contaba con una forma rápida y sencilla de conocer la demanda en las tiendas en tiempo real y enviar la cantidad necesaria de acuerdo con dicha demanda.

Una vez hecha la implementación de ASR en La Compañía, se hizo una distribución óptima de cada artículo a cada una de las tiendas, optimizando los niveles de inventario en éstas y

mejorando el servicio al cliente al satisfacer la demanda en todo momento sin incrementar los costos de inventario. Adicional, en el caso de los pedidos directos al Proveedor desde la tienda, con la funcionalidad *SuperSource* de ASR, se agregó la demanda de todas las tiendas y se hizo un solo pedido al proveedor, permitiendo cumplir con las condiciones de compra y minimizando tiempos y costos de gestión, ya que ASR emite una orden con el total a pedir, además de las cantidades a enviar a cada una de las tiendas por artículo.

En el caso de ASR y para los artículos de *stock*, las tiendas hacen sus pedidos al almacén considerando que tiene inventario suficiente, por lo que La Compañía decidió implementar otra de las soluciones de BlueYonder™ AWR (*Advanced Warehouse Replenishment*) que gestiona el aprovisionamiento de Proveedores al Centro de Distribución, además de sincronizar la información con las tiendas por medio de una función OPT (interfaz). Esto permitió a La Compañía conocer el *status* de los inventarios en las tiendas, y en caso de haber *overstock*, no solicitar más producto al proveedor y de esta forma reducir los niveles de inventario en todos sus niveles para cada uno de los artículos.

OPT también integra la demanda de todas las tiendas y las coloca como demanda del Centro de Distribución, por lo que el cálculo y generación de pedidos al proveedor se basa en la demanda real de las tiendas. Esto facilitó la gestión del aprovisionamiento a La Compañía, ya que no debe revisar uno a uno los inventarios de cada artículo, para calcular en una hoja de *excel* la cantidad a pedir, siendo ésta un tanto incierta, además de no hacer los pedidos en un día en específico, si no permitir que AWR genere el pedido de acuerdo con el ciclo de pedido óptimo, y sólo la cantidad necesaria, reduciendo los niveles de inventario en el almacén y por ende costos.

Para La Compañía era realmente complicado calcular la cantidad a pedir y la frecuencia, principalmente a los proveedores con tiempos de entrega de hasta 3 meses, ya que pedían grandes cantidades con costos altísimos por miedo a caer en faltantes y no tener alternativas locales para satisfacer la demanda, pero es que realmente les era difícil hacer un pronóstico certero de cada uno de los artículos de *stock*. Sin embargo, AWR con la demanda integrada, genera un *forecast*, con lo cual en automático sugiere un pedido considerando ya todos los factores involucrados garantizando *stock* para satisfacer la demanda de los clientes.

Otra de las problemáticas que presentaba La Compañía, era el inventario de los artículos de baja rotación, ya que generalmente los aprovisionadores por falta de tiempo se concentran en el 80/20 de La Compañía, es decir, en el 20% del catálogo que deja el 80% de las ganancias. Sin embargo, es muy factible que aquellos artículos de baja rotación que no se miran con frecuencia generen

overstock, por lo que al implementarse las soluciones del *software* BlueYonder™, se revisan cada noche los inventarios de todos los artículos, por lo que el proveedor sólo debe concentrarse cada día en los que sugieren pedido, ahorrando tiempo y dinero.

En conclusión, se cumplió con el objetivo general planteado en esta tesis.

BIBLIOGRAFÍA

- Barton, R. R. (2009). *Simulation Optimization using metamodels*. Winter Simulation Conference.
- Benton, K. y. (1995). *Lot Size Dependent Lead Times in a Q, R Inventory System*.
- Borshchev, A. (2013). *The Big Book of Simulation Modeling*.
- Fu. (1994). *Optimization via simulation:a review*.
- Kuo Hao Chang, L. J. (2007). *Stochastic Trust Region Gradient-free Methos (STRONG) - A new response-surface-based algorithm in Simulation Optimization*. Winter Simulation Conference.
- Malave, B. y. (1984). *The Simulation of Inventory Systems: An Overview*.
- Maria, Y. C. (1997). *Simulation Optimization: Methods and applications*. Winter Simulation Conference
- Merkuryeva, G. (2005). *Metamodelling for Simulation Application in Production and Logistics*.
- Montgomery, M. y. (2002). *Response surface methodology*. New York: Wiley.
- Quinn. (2000). *The Master of Design: An Interview with David Simchi-Levi*. Supply Chain Management Review.
- Silver. (1992). *Ghanging the Givens in Modeling Inventory Problems*.
- Spall. (2003). *Introduction to stochastic search and optimization*. New York: Wiley.
- Whitin, H. y. (1966). *Analysis of Inventory Systems*. New Jersey: Prentice Hall.
- Marcello Braglia, Davide Castellano y Marco Frosolini. (2015). *A novel approach to safety stock management in a coordinated supply chain with controllable lead time using present value*. Wiley Online Library.
- Anne Laure Ladier. (2014). *Crossdock truck scheduling with time windows: earliness, tardiness and storage policies*. New York: Springer Science+Business Media.
- Robin Hanson, Lars Medbo, Cecilia Berlin y Jonas Hansson. (2017). *Manual picking from flat and tilted pallet containers*. International Journal of Industrial Ergonomics
- Matthias Schu. (2016). *Online Growth Options for Retailers*. Switzerland: Springer Gabler.
- Felix Weidinger, Nils Boysen. (2018). *Scattered Storage: How to Distribute Stock Keeping Units All Around a Mixed-Shelves Warehouse*. Online: INFORMS

WEBGRAFÍA

<https://www.anylogic.com/downloads/>

<https://www.simio.com/>.

<https://www.slimstock.com/es/contacto/>.

<https://BlueYonder.com/contact-us>