



**TESIS DE GRADO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

***OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE
ABASTECIMIENTOS DE UNA EMPRESA
PETROQUÍMICA***

Una propuesta de migración de push a pull

Autor: Fernando Gonzalo Cardoso

Directores de Tesis:

Ingeniero Atilio Gallitelli

Ingeniero Marcelo Floreano

2007

Dedicatoria

**A mis padres,
por regalarme las fuerzas
más grandes: el Amor y la Fé.**

Resumen ejecutivo

Desde la apertura de los mercados ocurrida en la última década del siglo pasado, las empresas encontraron que la variable con la que determinaban sus ganancias, ya no estaba bajo su control: el precio. A su vez, esta misma apertura puso la tecnología y las mejores prácticas de producción al alcance de todos. De este modo, si todos saben o pueden comprar la tecnología para hacer las cosas de la mejor manera, la diferencia en los costos de producción queda supeditada a elementos que están más relacionados con la ubicación de la producción. La misma determinará la disponibilidad y costos de materia prima, mano de obra o incentivos fiscales, por nombrar algunos.

Por lo tanto, desde entonces, la principal alternativa que posee una empresa para aumentar su rentabilidad, desde una visión del Supply Chain Management, es la reducción de su capital de trabajo.

Las empresas dedicadas a la producción de un bien, por ejemplo, podrían reducir su capital de trabajo achicando sus inventarios. Sin embargo, la función del mismo es el desacople de la producción y la demanda, asegurando un nivel de servicio dado. ¿Entonces, cómo se puede reducir el inventario, asegurando el servicio al cliente?

Las diversas técnicas como *Postponment*, *Kanban* y *Just in Time*, entre otras, pueden reducir los inventarios tanto de materia prima, producto en proceso y producto terminado. Aun así, todas tienen un denominador común, que es el acople entre la demanda y la producción. El mismo se logra permitiendo que la demanda de una etapa sea la que tire de la producción de la anterior. A esta forma de trabajo se la conoce como "Pull".

Por otro lado, dado que la mayor parte de las industrias nacidas el siglo pasado lo hicieron en un contexto donde el mercado se encontraba cautivo, las mismas se orientaron más en producir pocos productos, y dimensionar los lotes de producción tratando de maximizar el rendimiento de sus activos productivos. Luego, los clientes sin otras opciones y una fuerza de ventas que acercaba los productos a los mismos eran los últimos eslabones de la cadena. Esta forma de trabajo fue conocida como "Push".

En la transición de economías cerradas a abiertas, las empresas acostumbradas a trabajar de esta manera, al ver los precios fuera de su control, se lanzaron a la reducción de costos, para poder tener algún margen. Dicha reducción llevó a cerrar fábricas como a aumentar la producción en cada estación de trabajo para disminuir los costos unitarios de producción.

Hoy se sabe que las empresas que escucharon al mercado antes que a la planta fueron las que salieron adelante, y las que mantuvieron su visión original, vieron sus inventarios irse a las nubes y finalmente quebraron.

Por lo tanto, la migración de Push a Pull fue crucial para sobrevivir a la apertura de los mercados. Sin embargo, todavía existen empresas que trabajando en Push han podido sobrevivir. Parte de este grupo lo forman las grandes industrias de commodities primarios que pudieron mantener sus costos de materias primas bajos. Las mismas son más comunes en países donde la mano de obra, el gas o el valor de la tierra son bajos. De todos modos, el agotamiento de los recursos naturales y el aumento del costo de vida (causado por el aumento del precio de los mismos commodities, y los impuestos o subvenciones por las cuales son responsables los gobiernos, entre otros) está castigando la rentabilidad de estas empresas, y llevando las mismas a analizar toda la cadena de abastecimientos en su conjunto, y prestar mayor atención a los inventarios. Algunas también han diversificado su cartera de negocios adquiriendo otros más orientados a los clientes y rentables.

El foco del presente trabajo se encuentra en una empresa perteneciente a una industria de commodities muy madura que se propone reducir el costo de su cadena de abastecimientos, y la forma en que lo lograría finalmente es mediante una migración de Push a Pull.

Por último, el aporte del mismo es el planteo de la existencia de un punto óptimo en la migración entre Push y Pull para la cadena de abastecimientos, sin necesidad de llegar a un Pull del 100%. La ubicación de este óptimo estaría determinada por la capacidad de cada área de la cadena para transformar su forma de trabajo, y el comportamiento de ciertas variables como los inventarios y los costos de distribución y producción.

Executive brief

After the opening of the markets in the last decade of the past century, the companies found that the variable they were accustomed to use to adjust their earnings, was not under their control anymore: the price. On the other hand, that same opening brought them new technologies and the best production practices. Thus, if everybody had the knowledge or could buy the technology to do things the best way, the difference in production costs was now determined by variables related to the location of the production. For example: workforce availability, raw materials cost, tax incentives, to name the more common.

Therefore, since then, the main alternative a company has to increase its yield, from a Supply Chain Management perspective, is the working capital reduction.

Production companies could reduce its working capital by making their stocks smaller. However, the reason of the stock is the disconnection of the production and the demand, giving a specified service level. So, how can the stocks be reduced not jeopardizing the service level?

Techniques like *Postponment*, *Kanban* and *Just in Time*, among the most familiar ones, can reduce stocks of raw materials, half-finished products and finished products too. The common element to all of them is the connection between the demand and the production. This happens when the demand of one step pulls the production of the previous one. This way of working is known as "Pull".

Most of the industries appeared during the last century, were born in a context of closed markets. This situation allowed them to produce few products, not paying much attention to quality or customer requirements. They also calculated production lots looking for the maximum yield of their production assets. Thus, customers without other options and a marketing work force that used to deliver the products almost to their homes were the last pieces of this chain. This other way of working was known as "Push"

During the transition from closed economies to open ones, the companies accustomed to work this way, rushed into costs reduction in order to have at least a minimum margin when they saw that the price was no longer under their control. To do that, they took actions from closing factories to increasing the production in each working station to reduce production unit costs.

Today, it is known that companies that "listened" to the markets before the plants were those that could give a step forward. However, those that kept their original perspective saw their stocks raised to the clouds, and finally broke.

Therefore, the migration from Push to Pull was crucial to survive the markets opening. However, nowadays there are companies that could survive working in Push. Big commodities industries which could keep low feed stocks cost are part of this group. They are very common in countries where work force, gas or land's value are still low. Even so, natural resources shortage and the increase in the life cost (caused by the commodities price increase, and taxes or subventions for which the government is responsible too) is attacking the yield of these companies. Consequently, in order to survive, they are analyzing their whole supply chain and paying more attention to their stocks and customers.

This study's scope includes a company from a very mature commodities industry, which is determined to reduce its supply chain cost. The way that it is expected to do that is by a transition from Push to Pull.

Finally, the conclusion is that there is an optimal point in the Supply Chain transition from Push to Pull, and it shouldn't be necessarily a 100% Pull. This optimal's "location" is determined by the capability of each area along the Supply Chain to change the way it works, and the behavior of certain variables such as stocks, production and distribution costs.

Referencia bibliográfica

El presente trabajo apunta a los cambios que se pueden hacer en una cadena de abastecimientos, de una empresa petroquímica, para reducir el costo de la misma. Los mismos abarcan desde un mejor aprovechamiento de la red actual hasta un sistema para conectar la demanda y la producción. A su vez, los mismos son validados por simulación a través de un software.

El eje principal pasa por el cambio en la forma de trabajo de Push a Pull, proponiendo que existe un punto óptimo en el mix entre Push y Pull para las distintas áreas de la cadena de abastecimientos.

Palabras clave: Push, Pull, simulación, inventario, capital de trabajo, costo de distribución, costo de producción.

Abstract

This paper describes changes that can be done to a specific supply chain (of a petrochemical company) to reduce its cost. They go from better use of the current supply chain capability to a system to connect demand and production. Finally, they are validated with simulation software.

The main axis is the transition in the way of working from Push to Pull, stating at the end, that there is an optimal point in the mix between Push and Pull for the different areas along the supply chain.

Keywords: Push, Pull, simulation, stock, working capital, distribution cost, production cost.

Agradecimientos

Deseo agradecer primero a mi familia (Beatriz, Fernando, Santiago, Sol y Virginia) por la paciencia que me han tenido a lo largo de la carrera, y a mi novia, Lucía Di Nápoli, por su compañerismo en la ardua tarea de hacer esta tesis. Y a todos por no dejarme nunca bajar los brazos ante las adversidades.

También deseo agradecer a mis compañeros de aventuras en el mundo de la ingeniería, y fuera de él: Nicolás Elías y Andrés Crisafulli. Su amistad me ha hecho mejor compañero, profesional y, sobre todo, persona.

Merecen un agradecimiento aparte los directores de esta tesis, los Ingenieros Atilio Gallitelli y Marcelo Floreano, por su disposición, visión y guía. Hoy en día es muy difícil encontrar profesionales con experiencia en Supply Chain que se vuelquen al ámbito académico, y además se comprometan con un proyecto de tesis.

Finalmente, deseo agradecer al Instituto Tecnológico de Buenos Aires por la seriedad y profesionalismo con que me han tratado durante los años que viví en sus aulas, y por lo que me han dejado ahora que estoy afuera.

Índice

	Página
1. Introducción	1
1.1. Marco del problema	1
1.2. Metodología	1
1.3. Consideraciones especiales	2
2. Estado de la Cuestión	3
2.1. Estado actual	3
2.2. Tecnología propuesta	3
3. Definiendo el problema	5
3.1. Objetivo	5
4. Situación actual	7
4.1. Descripción de la red actual	7
4.2. Descripción del proceso de administración de la producción y la distribución	8
4.3. Requerimientos del cliente	10
4.4. Performance actual de la cadena de abastecimientos	10
4.5. Modelización en ARENA	12
5. Búsqueda de posibles causas para los costos de la cadena y la tenencia de inventario	15
5.1. Brainstorming	15
5.2. Diagrama Espina de Pescado	16
5.3. 5 "¿Por qué?"	17
5.4. Análisis de causas raíces	18
6. Generación de alternativas de mejora	25
6.1. Evaluación de alternativas	25
6.2. Selección de alternativas	37
6.3. Propuesta final	38
6.4. Análisis de propuestas	39
6.5. Business Case – Propuesta final	52
7. Validación de la propuesta final	55
7.1. Simulación de propuesta final en ARENA	55
7.1.1. Resultados obtenidos	57
7.1.2. Comparación entre la situación inicial y la proyectada	58
7.2. Conclusión	60
8. Conclusión Final	63
8.1. Posible modelo de análisis para determinar el grado óptimo de push o pull en una cadena de abastecimientos	64

Anexos

I. Modelización en ARENA	75
I.a. Modelo conceptual	75
I.b. Modelo operacional	80
I.c. Modelo de datos	87
I.d. Bondad del modelo	90
II. Hallando el Gant óptimo de implementación con programación lineal	95
III. Bibliografía y Software utilizado	99

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco del problema

La cadena de abastecimientos sobre la que se trabajará en esta tesis pertenece a una empresa productora de un commodity, que forma parte de una industria muy madura. La misma se caracteriza por ciclos de 10 a 15 años en los que se dan picos de alta demanda y ganancias, y valles de exceso de oferta, y pérdidas. La principal razón de estos ciclos es que los saltos en la capacidad instalada son discretos e importantes. Por lo tanto, cuando la demanda es mayor a la capacidad instalada, los precios son altos, y todas las plantas funcionan al 100%. Luego, las empresas toman las ganancias obtenidas durante este período, y las invierten en nuevos activos que aumentan en un salto cuántico la oferta, que rápidamente supera a la demanda, haciendo caer el precio, y causando que la capacidad instalada corra al 90%.

Para sobrevivir a los valles, las empresas deben tener una estructura de costos “saludable”. Es decir, deben transformar las materias primas y entregarlas a los clientes con la mayor eficiencia a su alcance, y contar con inventarios lo más pequeños posible.

Por lo tanto, la empresa pertenece a una industria de commodities muy madura y donde la competitividad se da básicamente en los costos y en la estructura de capital.

La empresa en cuestión posee sus plantas en el polo petroquímico de Bahía Blanca. Desde allí distribuye sus productos a todo Latinoamérica, siendo sus principales destinos Argentina y Brasil.

El foco del presente trabajo se encuentra en la cadena de abastecimiento desde la planta a los clientes en Argentina y a un depósito de la empresa que se encuentra en el puerto de Itajaí, a partir de dónde abastece a todos los clientes de Brasil. En la misma intervienen 3 trenes, 4 empresas de transporte rodoviario, 3 líneas marítimas y un depósito en Buenos Aires.

1.2. Metodología

Se analizará el diseño de la cadena de abastecimientos, se propondrán propuestas de mejora, y luego simulando la situación actual y la propuesta con un software de simulación, se las comparará.

El estudio abarcará redes, depósitos, procesos y procedimientos. Las propuestas de mejora buscarán aprovechar aún más los recursos actuales de la cadena de abastecimientos, como un intento de cambiar la forma de

trabajo de push a pull, hasta el punto que sea conveniente para la performance de la cadena en costos y servicio al cliente.

Para lograr el cometido, la presente investigación se moverá a lo largo del siguiente eje:

1. Definir el problema
2. Medir los efectos / salidas / síntomas del problema
3. Analizar las posibles causas
4. Plantear y validar soluciones para resolver el problema
5. Definir alternativa final y su plan de implementación

1.3 Consideraciones especiales

Por cuestiones de confidencialidad se llamará a la empresa Petropolímeros, y en lugar de referirse al producto, se manejarán como unidades de trabajo los módulos logísticos como la bolsa de 28kg, el pallet de 50 bolsas (1400 kg) y el contenedor de 40 pies con 18 pallets.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Estado Actual

Las características tradicionales de la industria a la que pertenece Petropolímeros, la han llevado a trabajar siempre con un modelo de producción y distribución en Push. Las plantas producen, se crean grandes inventarios y se venden.

Originalmente, la compañía contaba con un depósito de pallets y otro de contenedores en el mismo predio donde se encuentran las plantas. El aumento en la demanda y en la capacidad de producción, la llevó a la creación de un depósito de gran envergadura en Buenos Aires.

Al trabajar en Push, el stock de ese depósito es creado mediante un forecast de ventas. En este trabajo trataremos de hallar las razones por las cuales encontramos sobredimensionamientos de stock, o importantes faltantes ante situaciones imprevistas.

Otra característica, es que tradicionalmente se han analizados los proyectos o propuestas de cambios con una contribución muy importante de metodologías básicamente empíricas. O mejor dicho, a prueba y error.

2.2 Tecnología propuesta

La idea del presente trabajo es rediseñar los flujos mencionados cambiando dos reglas actuales que utiliza la empresa.

Un cambio sería trabajar en Pull. No en toda la cadena de abastecimientos, ya que por el tipo de tecnología las plantas deben trabajar a total capacidad las 24hs los 365 días del año. Pero sí en la distribución desde la planta hasta los mencionados depósitos, y en la comercialización. Esto repercutirá en el procesado de las órdenes a algunos clientes y al depósito, en muchos procedimientos de trabajo, como el armado de los trenes que van de la planta al depósito en Dock Sud, y en el diseño de este último, que pasaría a ser un cross docking. Se espera que esta modalidad reduzca los inventarios, que son unos de los mayores móviles de costos en la cadena de abastecimientos. Por otra parte, se trata de una forma de trabajo nunca utilizada en esta industria.

El otro cambio sería el análisis de esta alternativa a través de la simulación por Arena. Es decir, se pasará de una metodología básicamente empírica a otra más analítica. Finalizado este trabajo, la compañía contará con una herramienta que le permitirá analizar el impacto de posibles modificaciones en el flujo bajo estudio, sin necesidad de arriesgar capital, proveedores o procedimientos.

3. DEFINIENDO EL PROBLEMA

Como ya se mencionó más arriba, la empresa pertenece a una industria de commodities muy madura, con ciclos de 10 a 15 años. Cada uno de los cuales se caracteriza por un pico de utilidades positivas muy alto y un valle de márgenes nulos o negativos muy profundo.

La estrategia de la compañía para sobrevivir a estos ciclos, es reducir los costos y los inventarios drásticamente en un plazo de 10 años. Esto dentro de un marco de mejora continua del servicio al cliente.

Actualmente, el costo operativo de distribución representa un 2,4% del precio de venta del producto. El stock promedio en el depósito de Dock Sud ronda los 600 contenedores, y el de Bahía Blanca, los 800.

3.1. Objetivo

El objetivo de este estudio es encontrar alternativas para reducir costos e inventarios de la empresa Petropolímeros, para el flujo en cuestión.

La cadena de distribución se encuentra compuesta por varios “drivers” o factores causantes de costos.

ABC costos de distribución

Para poder actuar sobre un problema más específico, se hará un ABC del costo de estos drivers para ver cuáles son los pocos que realmente tienen un impacto en la ecuación de costos.

A continuación se detallan los costos en USD/Tn.

USD/Tn	Argentina	Brasil
Transporte	25,3	56,9
Handling	7,0	4,2
Almacenaje	5,2	2,8
Movimientos	3,1	4,5

Tabla 3.1-1. ABC de costos de distribución.

Actualmente, la operación se encuentra bastante optimizada, por lo que el ABC de costos resultó lógico para la industria en la que se está trabajando: primero el transporte, luego el handling y, finalmente, el almacenaje.

Cabe destacar que si se ordenen estos conceptos según la capacidad que se tiene de actuar sobre ellos, el orden sería el inverso. Lo que no debe resultar extraño, ya que es donde los sistemas se encuentran más restringidos que ocurren los mayores costos.

En conclusión, si bien por costos se debería atacar al transporte, lo más probable es que se pueda accionar más sobre el handling y el almacenaje. De todos modos, como son pocos conceptos, se trabajará sobre todos ellos. Por lo tanto, el problema a resolver es:

“Los costos de distribución y los inventarios son mayores a lo que deben ser en 10 años”

4. SITUACIÓN ACTUAL

4.1. Descripción de la red actual

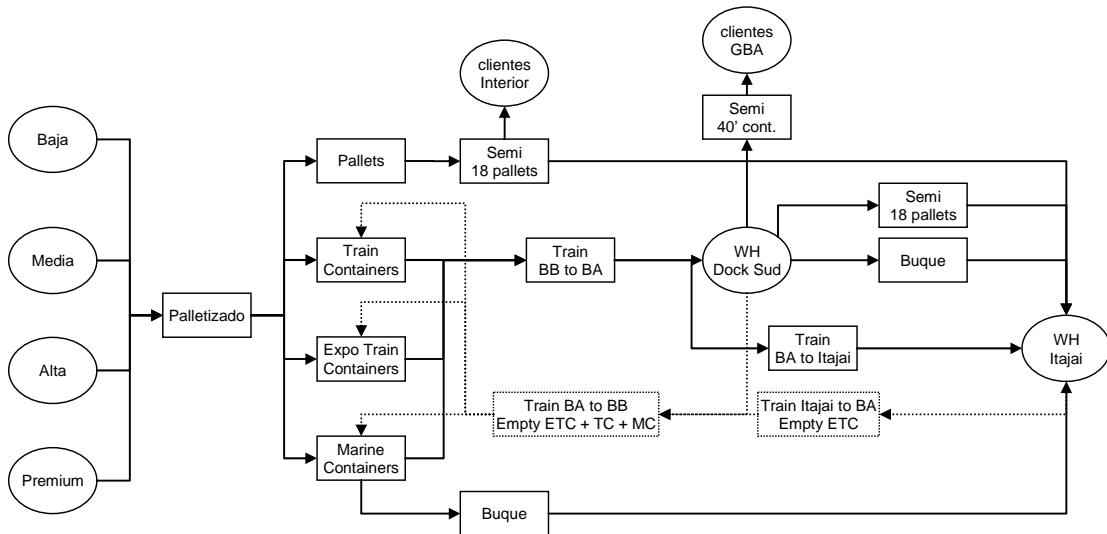


Figura 4.1-1. Flujograma de la red logística.

La cadena de abastecimientos comienza con cuatro plantas ubicadas en el polo petroquímico de Bahía Blanca. Las plantas son de producción continua. Cada una se especializa en una variante de las cuatro que presenta el producto: Baja (B), Media (M), Alta (A) y Premium (P). Cabe aclarar que estas variantes no se refieren directamente a la calidad, sino a condiciones específicas de densidad, viscosidad y otras características que determinan la utilización del producto.

La producción de estas plantas se concentra a través de cañerías en el área de palletizado, donde se arman los pallets de 50 bolsas de 25kg cada una. Allí el producto puede ir en camión al depósito de pallets (BB pallets – BBP), o hacer preload en un container de 40' e ir al depósito de contenedores para tren (BB train containers - BBT) o al de contenedores para barcos (BB marine line containers - BBM).

El depósito de pallets se utiliza para los despachos locales y a Brasil en semis. Por otra parte, el depósito para contenedores de trenes y barcos se encuentra al lado de las vías y al aire libre. Allí se cargan los camiones que van al puerto de Bahía Blanca, los trenes que van al depósito en Dock Sud y los que van directamente al depósito de Brasil.

En el depósito de Dock Sud los contenedores se desconsolidan para cargar camiones con 18 pallets para el mercado nacional, o para exportación a Brasil. También arriban por tren a este depósito, contenedores de líneas marítimas para su despacho a través del puerto de Buenos Aires.

En resumen, el mercado nacional se abastece desde Bahía Blanca y Buenos Aires con camiones semis cargados con 18 pallets. Y Brasil, de la siguiente manera:

- Camiones con pallets desde Bahía Blanca
- Trenes con contenedores desde Bahía Blanca
- Camiones con pallets desde Buenos Aires
- Buques con contenedores desde Buenos Aires

4.2. Descripción del proceso de administración de la producción y la distribución

Dada la naturaleza del proceso de producción, actualmente se trabaja en “push”. ¿Pero, cómo se distribuyen los stocks? Hace 6 años, cuando se diseñó la red actual, la cantidad de camiones en Bahía Blanca no era suficiente para atender toda la demanda. Por lo tanto, fue necesario contar con un stock en Buenos Aires, para ampliar las posibilidades de conseguir buques y camiones.

Los stocks en Bahía Blanca y en el depósito de Dock Sud los determinan los planners en función de las mencionadas restricciones logísticas y del forecast (pronóstico) de ventas que le informan los vendedores. Éstos, a su vez, confeccionan el mismo a través del histórico de ventas y los arreglos que van haciendo con los clientes.

Los planners, en función de la demanda, la capacidad de producción y la capacidad de la red de distribución, determinan las zonas o clientes prioritarios. Según cómo se encuentre el precio del producto en Brasil en relación al de Argentina pueden decidir destinar más producto al mercado interno, o exportar.

Luego, son los schedulers los encargados de coordinar el armado de los trenes y los buques en función de la demanda de cada producto, la necesidad de generar los stocks determinados, la producción de cada planta, la disponibilidad de vagones y los lugares en los barcos.

La demanda se encuentra representada por las órdenes que ingresa el área de atención al cliente. Las mismas pueden ingresarse con unas semanas de antelación a la fecha en que el cliente requiere el producto, o pueden ser “rush” (de 48 a 24hs de antelación). Al ingresar una orden se determina el punto de despacho según el tiempo de entrega, si es una orden rush, o según el costo si es una orden común.

Finalmente, el área de Logística arma la red de distribución y negocia los volúmenes para cada modalidad y proveedor, según su tarifa y disponibilidad.

Se adjunta el flujograma de una orden a un cliente para ver la lógica con que se administra el pedido de producto:

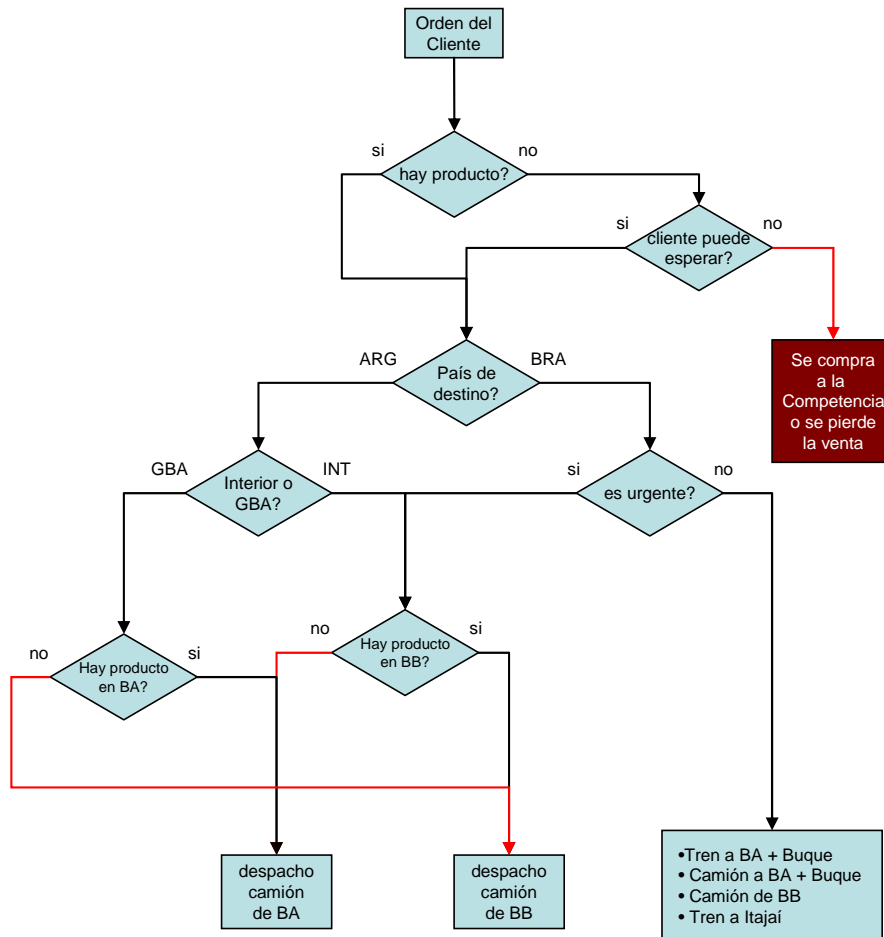


Figura 4.2-1. Flujograma de una orden a cliente.

4.3. Requerimientos del cliente

La cadena de distribución cuenta con clientes internos y externos:

Tipo de Cliente	Cliente	Requerimientos
Interno	Compañía	<ul style="list-style-type: none"> • Alineada con la estrategia de la Compañía: <ul style="list-style-type: none"> ○ 85% de entregas On Time. ○ 99% entregas correctas. ○ Reducción de Costos del 30% en 10 años. ○ Reducción de Inventarios en un 30% en 10 años. ○ 0 accidentes
	Área Comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Cadenas de distribución hasta los clientes. • Costos logísticos bajos. • Trazabilidad de la carga. • Información On line del estado del pedido / orden.
	Área Financiera	<ul style="list-style-type: none"> • Días de crédito de proveedores mayores a los días de crédito a clientes. • Mínima inmovilización de Capital.
Externo	Cliente	<ul style="list-style-type: none"> • Producto acordado. • En el momento pedido. • En el estado adecuado. • En el lugar establecido.
	Comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades con mínimo impacto ambiental. • Puestos de trabajo. • Respeto por las personas. • Cuidado de la integridad física de las personas (0 accidentes)

Tabla 4.3-1. Requerimientos de los clientes internos y externos.

4.4. Performance actual de la cadena de abastecimientos

¿Es el proceso de distribución capaz de cumplir con los requerimientos de los clientes?

Para responder esta pregunta, primero se deberá ver nuevamente los requerimientos de los clientes, si son medibles de una manera cuantitativa o no, y si se les puede asociar un indicador de performance.

Requerimiento	Indicador
• 90% de entregas On Time.	% Entregas On Time
• 100% entregas correctas.	% Entregas Correctas (hay producto y se entrega el producto pactado y en buenas condiciones)
• Reducción de Costos del 30% en 10 años.	Costo de la cadena de Distribución
• Reducción de Inventarios en un 30% en 10 años.	Tracking de Inventarios
• 0 accidentes	% Accidentes por Entregas
• Cadenas de distribución hasta los clientes.	No se mide Cuantitativamente. Se evalúa en términos de “existe – no existe” o “es factible – no es factible”.
• Costos logísticos bajos.	Comparación con el Benchmark de la industria.
• Trazabilidad de la carga.	No se mide Cuantitativamente. Se evalúa en términos de “existe – no existe” o “es factible – no es factible”.
• Información On line del estado del pedido / orden.	No se mide Cuantitativamente. Se evalúa en términos de “existe – no existe” o “es factible – no es factible”.
• Días de crédito de proveedores mayores a los días de crédito a clientes.	Nro de días de crédito de proveedores – Nro de días de créditos a clientes
• Mínima inmovilización de Capital.	Capital Inmovilizado (Stocks)
• Producto acordado.	% Entregas Correctas
• En el momento pedido.	% Entregas On Time
• En el estado adecuado.	% Entregas Correctas
• En el lugar establecido.	% Entregas Correctas
• Actividades con mínimo impacto ambiental.	No se mide Cuantitativamente. Se evalúa en términos de “Cumple – No cumple” las normativas de cuidado del medio ambiente.
• Puestos de trabajo.	Nro de personas empleadas.
• Respeto por las personas.	No se mide Cuantitativamente. Encuestas de Satisfacción.

Tabla 4.4-1. Indicadores de performance.

Por lo tanto, los indicadores *cuantitativos* serían:

- % Entregas On Time
- % Entregas Correctas
- Costo de la cadena de Distribución
- Nivel de Inventarios (en Toneladas)
- % Accidentes por Entregas
- Capital Inmovilizado (Stocks en Miles de USD)

- Días de crédito de proveedores – Días de crédito a Clientes.
- Nro de personas empleadas

Y los *cualitativos*:

- Existencia de una cadena de distribución hasta los clientes.
- Comparación con el Benchmark de la industria (podría ser también cuantitativo, si lo expresamos como un porcentaje, pero su naturaleza es más bien cualitativa).
- Existencia de trazabilidad en la carga.
- Existencia de información on line del estado de la orden en todo su ciclo.
- Cumplimiento de las normativas de cuidado ambiental
- Satisfacción de las personas con el área de Supply Chain respecto al clima de trabajo y la política de recursos humanos.

En este momento del trabajo se podría presentar solamente la información disponible para los mencionados indicadores, y así tener una idea de la performance del proceso. Sin embargo, dado que se espera alterar el mismo en aras de resolver el problema en cuestión, se utilizará esta información para armar un modelo de la red de distribución, y así, contar con una herramienta que posteriormente permita evaluar la performance del nuevo proceso o red.

4.5. Modelización en ARENA

Como se menciona más arriba, la modelización permitirá no sólo visualizar el comportamiento actual de la red, sino contar con una herramienta para actuar sobre ella y evaluar el impacto de la propuesta de solución al problema.

Para la modelización se determinan tres modelos:

1. **Modelo conceptual.** Se determinan las variables y parámetros del modelo, y los límites del mismo. También sus componentes, con la lógica que los relaciona y su comportamiento. Finalmente, se determina la entidad principal sobre la que trabaja el modelo.
2. **Modelo operacional.** Se trata del modelo de Arena en sí. El mismo se encuentra compuesto por distintas estructuras, compuestas a su vez por distintos módulos con sus respectivas funciones.

3. **Modelo de datos.** En el mismo se analizan las variables y los parámetros, los métodos utilizados para la obtención de la información, se analizan las distribuciones de los datos, su ajuste y la consistencia con la realidad. También se analizan como se relacionan entre sí las variables y su evolución en el tiempo.

El desarrollo de los tres modelos se encuentra en el Anexo II.

Performance actual

Según el modelo, la performance actual, anual, para los indicadores cuantitativos, dentro del mismo, es:

	GBA	Interior	Brasil
% Entregas On Time	82%	76%	78%

Tabla 4.5-1. Entregas a tiempo.

- Costo de la cadena de Distribución

	GBA	Interior	Brasil
Bahía Blanca	1,430,755	2,680,587	6,802,261
Buenos Aires	4,205,682	1,050,987	10,162,053
Total	5,636,437	3,731,574	16,964,315

Tabla 4.5-2. Costo total de la cadena de distribución por origen y destino.

- Nivel de Inventarios (en Toneladas)

	Min	Promedio	Máx	Desv. Estándar
Bahía Blanca	14,506	19,681	27,748	4,420
Buenos Aires	10,077	15,271	19,236	3,295

Tabla 4.5-3. Nivel de inventarios.

- Capital Inmovilizado (Stocks en Miles de USD)

	Miles USD
Bahía Blanca	35,756,473
Buenos Aires	27,744,459
Total	63,500,931

Tabla 4.5-4. Capital Inmovilizado.

5. BÚSQUEDA DE POSIBLES CAUSAS PARA LOS COSTOS DE LA CADENA Y LA TENENCIA DE INVENTARIO

Una vez definido el problema, identificados los indicadores de performance (outputs), los inputs, las variables principales del modelo y los procesos, el paso siguiente es encontrar las causas raíces más probables para eliminarlas, y así eliminar el problema.

Existen varias técnicas para generar o encontrar las posibles causas raíces de nuestro problema. Para este trabajo se utilizaron tres de ellas:

Brainstorming Grupal	<ul style="list-style-type: none"> • Genera un gran número de ideas. • Involucra a los responsables del proceso desde un principio en la búsqueda de una solución.
Diagrama de Espina de Pescado	<ul style="list-style-type: none"> • Permite agrupar causas en categorías. • Muestra las causas con grado de detalle creciente. • Se utilizan generalmente las categorías: Medio ambiente, Métodos, Materiales y Mano de Obra.
5 “¿Por qué?”	<ul style="list-style-type: none"> • Permite encontrar relaciones entre causas. • Permite avanzar con un grado de detalle cada vez mayor. • Se indagan las causas preguntando “¿Por qué?” 5 veces o hasta llegar a una causa fundamental.

Tabla 5-1. Técnicas para hallar causas raíces.

5.1 Brainstorming

Se realizaron dos sesiones: una en Bahía Blanca con la gente de planta y los schedulers, y otra en Buenos Aires con los planners, logística y el área comercial. La consigna fue: “Posibles causas de que nuestros inventarios sean altos y también nuestros costos de distribución”.

Las sesiones contaron con un facilitador y fueron desestructuradas. La dinámica consistió en anotar en un pizarrón las ideas a medida que iban surgiendo (coordinado por el facilitador para que todos pudiesen hacer su aporte). Luego se las agrupó por afinidades, y se volvió a hacer otra ronda de ideas pero esta vez por rubro. A continuación detallamos las ideas agrupadas por áreas (se filtraron las que escapaban al scope de este trabajo):

Grupo	Causas	Consecuencias inmediatas
Logística	No hay suficientes barcos en Buenos Aires	Se usan modalidades más costosas como el tren o los camiones
	No hay Barcos porta contenedores en Bahía Blanca	Hay que sacar producto desde el puerto de Buenos Aires, al cual se llega por tren, a través del depósito de Dock Sud
	El producto tiene que esperar 4 días en Buenos Aires mientras se hacen los trámites de exportación	Las exportaciones desde Buenos Aires generan Stock en Dock Sud. Ante urgencias se sacan camiones desde Bahía Blanca, y a veces los camiones no dan abasto
	No hay suficientes camiones en Bahía Blanca para abastecer a los clientes en Buenos Aires	Se creó un depósito en Buenos Aires como punto de despacho alternativo.
	Para algunos clientes movemos demasiadas veces el producto	Ej: para los clientes de GBA: Handling de planta + tren + handling en Dock Sud + camión a cliente.
Planning / Producción	Stock de seguridad	Stock mínimo = Stock de Seguridad.
	Se vende contra stock	Se produce para stock, y luego se vende.
	Forecast de ventas inexacto	Se produce producto que no se vende, o se coloca producto en Buenos Aires y luego no se vende. También se almacena en Pallets producto para clientes locales, y luego se los carga en contenedores para expo (extra handling).
	Ciclos de producción largos	Se generan grandes stocks de los otros productos para poder abastecer a los clientes.
	Poco seguimiento de los productos de baja rotación en el inventario	Inventario que permanece demasiado tiempo en el depósito innecesariamente.
	A veces se produce producto fuera del forecast para mantener la productividad de la planta	Se genera inventario innecesario en el momento.
Comercial	Se vende mucho a clientes chicos	Hay que tener stock de sus productos para abastecerlos.
	Los distribuidores dicen cuándo quieren que se les entregue en el mes	Hay que tener stock permanentemente para abastecerlos.
	Los distribuidores piden que se les entregue directamente a sus clientes.	El stock lo tiene la empresa, y tiene que usar su red de distribución para abastecer a los clientes de sus clientes.

Tabla 5.1-1. Resultado del Brainstorming.

5.2. Diagrama Espina de Pescado

Tomando las posibles causas que aparecieron en el paso anterior, se las agrupó según las categorías que se utilizan habitualmente en el Diagrama de Ishikawa. Para este trabajo se les dio el significado a continuación:

- Métodos: Procedimientos, prácticas (documentadas o no), políticas, estrategias, formas de trabajo.
- Medio ambiente: Condiciones externas a la empresa, referentes tanto al mercado donde opera como a sus proveedores.
- Materiales: Si bien suele aplicarse a insumos, también tomamos a la información como un material.
- Máquinas: Las plantas, sistemas de control de las mismas, máquinas utilizadas en logísticas.
- Mano de Obra: Personal (propio, o de terceros que afecta directamente a la cadena de abastecimientos).

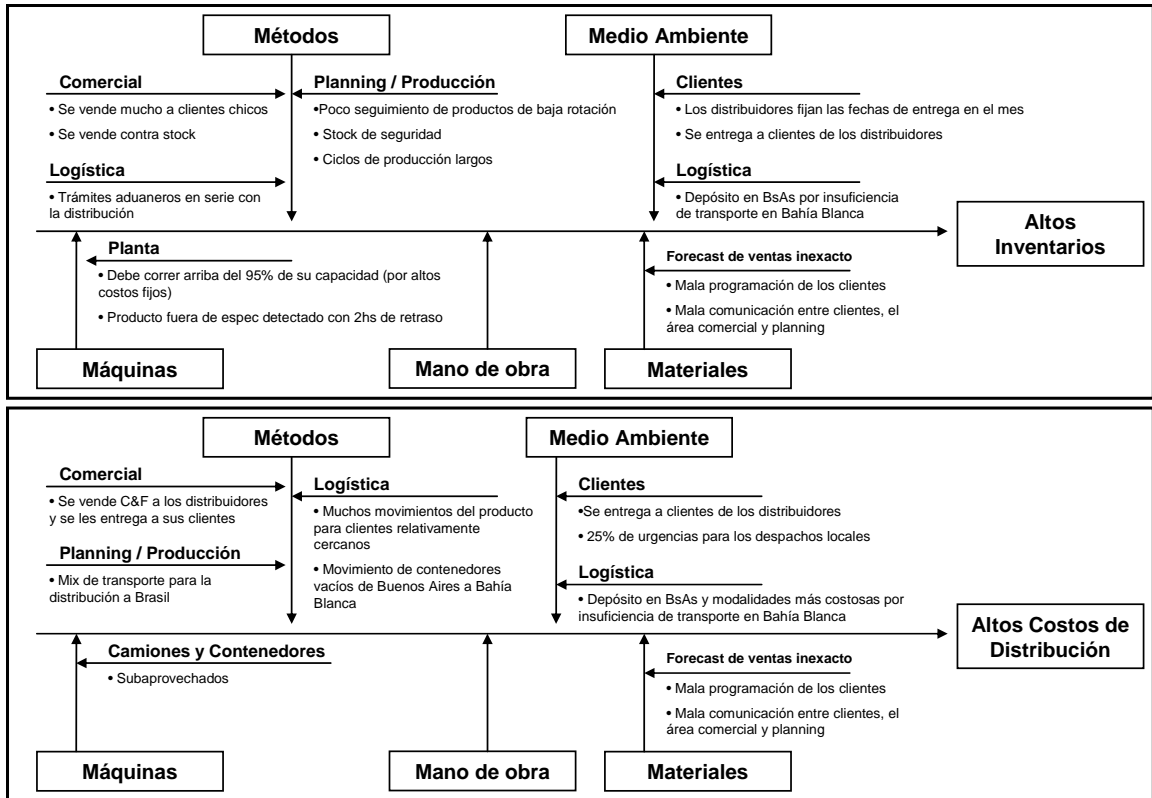


Figura 5.2-1. Diagramas de Pescado.

5.3. 5 “¿Por qué?”

Se armaron dos diagramas de árbol para responder a las preguntas:

1. ¿Por qué hay inventarios?
2. ¿Por qué son altos nuestros costos de distribución?

Los mismos permitieron identificar “Causas de primer grado” y “Causas Raíces”.

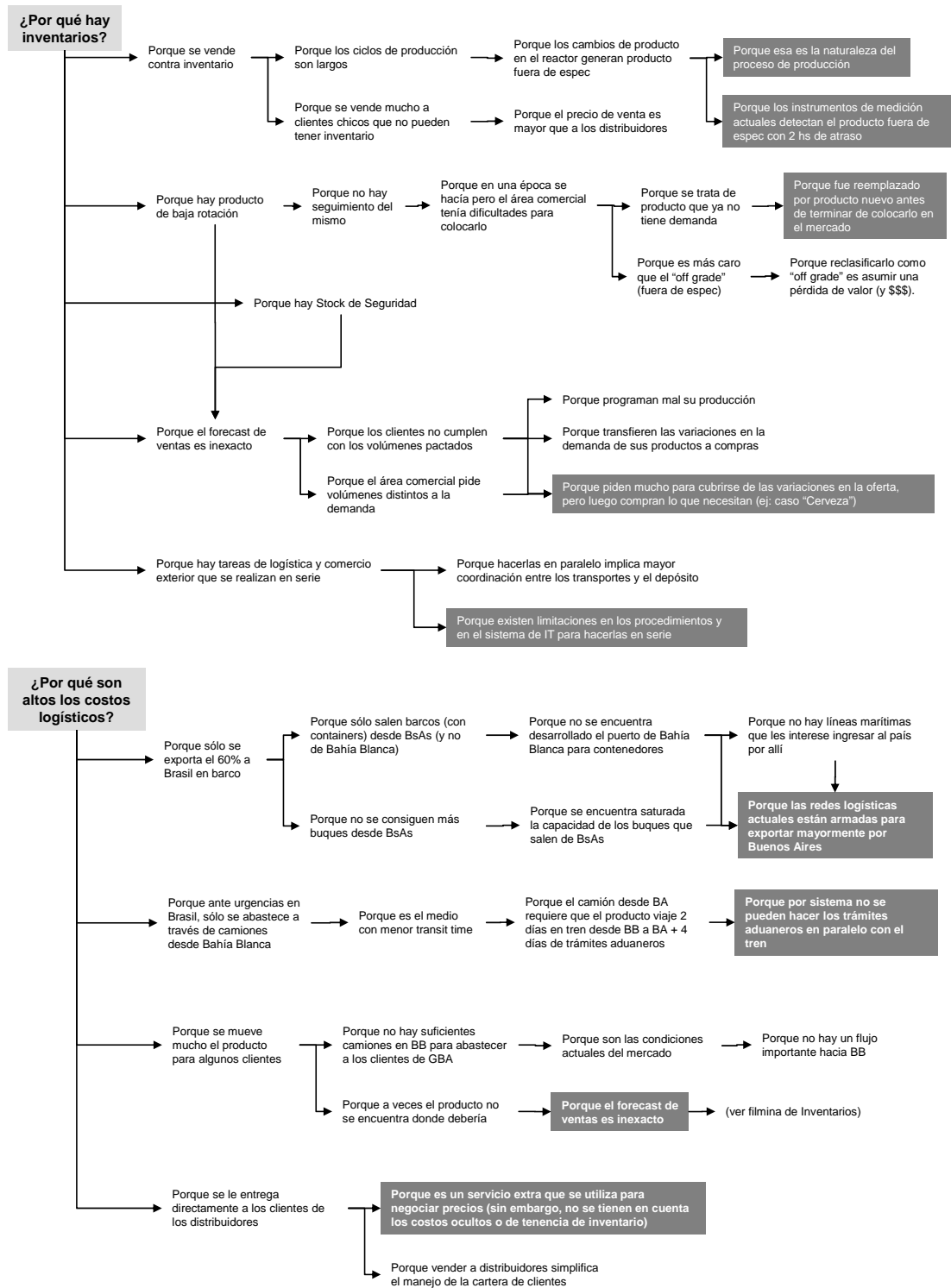


Figura 5.3-1. Razones para la tenencia de inventarios y altos costos de distribución.

5.4. Análisis de causas raíces

Luego del Brainstorming, el diagrama de Espina de Pescado y los 5 Por qué, se contó con una cantidad importante de causas probables para el problema en cuestión. Cabe destacar que lo bueno de aplicar las tres

técnicas, es que algunas causas que no aparecieron en una, lo hicieron finalmente en otra. Finalmente, fue la escalera de los 5 Por qué la que permitió organizarlas todas, y llegar a un número reducido de causas raíces para la existencia de inventario y costos de distribución altos.

Luego, lo que interesa es ver de qué manera se manifiestan estas causas. También en qué áreas o partes del proceso de una orden tienen un efecto estas causas, la magnitud del mismo, y su ocurrencia.

El análisis abarcará los defectos (o “drivers” de costos logísticos o inventarios) que originan las causas raíces.

Determinación de las ocurrencias y los impactos

- *Inventario de off grade*
 - Ocurrencia: Alta. Siempre se genera off grade ya que es la naturaleza del proceso
 - Impacto en el inventario: Medio. El 12% del inventario es producto fuera de espec.

- *Ciclos de producción largos*
 - Ocurrencia: Alta. Los ciclos de producción son de días. Naturaleza del proceso.
 - Impacto en el inventario: Alto. Entre el producto 1 y el 4 pueden pasar 15 días (15 días mínimo de inventario de 4)

- *Venta contra inventario*
 - Ocurrencia: Alta. El producto siempre pasa por el depósito, sea de contenedores o de pallets, antes de salir para el cliente.
 - Impacto en el inventario: Alto.

- *Generación de off grade*
 - Ocurrencia: Alta. Siempre se genera off grade en las transiciones.
 - Impacto en el inventario: Bajo. Las plantas en conjunto producen 62 Tn/h. En una transición perfecta de un producto a otro se producen de 5' a 10' de offgrade (1,1 a 2,4 Tn según la planta). Si

la detección de off grade toma 2 hs, significa que si la transición no sale bien en el primer intento, ya hay aseguradas de 18 a 58 Tn de off grade, más las que se producen mientras se corrige la falla. En el año hay, aproximadamente, 5.100 transiciones (entre las 4 plantas), de las cuales el 5% falla. Esto significa 255 transiciones que generan al menos 40 Tn de off grade cada una, lo que da 10,176 Tn de producto fuera de especificación al año. Que es el 53% de la producción anual de off grade. La producción anual de off grade es el 4% de la producción total.

- *Productos obsoletos o de baja rotación*
 - Ocurrencia: Baja.
 - Impacto en el inventario: Bajo.

- *Forecast de ventas inexacto*
 - Ocurrencia: Media. El 33% del volumen es comprado por 3 distribuidores, que son el 3% de los clientes. Compran de 1000 a 2000 CNT/año. Los vendedores suelen cubrirse con los distribuidores ya que de fallarle a algún cliente, el mismo le puede comprar a un distribuidor, pero si le falla a un distribuidor es más difícil sacar volumen asignado a un cliente. También ocurre por una mala comunicación entre los 2 vendedores y los 116 clientes directos.
 - Impacto en el inventario: Medio. El 6% del inventario es producido por esta razón. Se aprecia en producto con una antigüedad mayor al promedio, pero que se coloca en el mediano plazo (3 a 6 meses).

- *Ante urgencias de producto en Brasil, se despacha únicamente por camión desde BB*
 - Ocurrencia: Media. Históricamente, las “urgencias” a Brasil son el 20/25% de los casos.
 - Impacto en los costos de distribución: Bajo. Despachar las urgencias desde BA, es un 10% más económico que desde BB. Despachar la mitad de las urgencias desde BA, reduciría los costos de distribución un 1% al año.

- *Inventario de producto en tránsito en BA*
 - Ocurrencia: Alta. Desde BA se abastece el 50% del volumen de ARG, y el 65% de BRA.
 - Impacto en el inventario: Alto. La antigüedad promedio del producto en BA es de 24 días, cuando se trata de un depósito donde la mercadería está de paso. El 50% del producto en inventario está de 0 a 30 días (producto en tránsito).

- *Sólo se exporta el 60% del producto a Brasil por Buque*
 - Ocurrencia: Alta.
 - Impacto en los costos de distribución: Alto. Las otras modalidades con las que se despacha el 40% restante son de un 50 a un 90% más costosas. Por ejemplo: mover un contenedor de BB a Itajaí por Buque cuesta 1200 USD aprox, mientras que el camión desde BB, cuesta 2200 USD.

- *25% de las entregas en Argentina son calificadas como "Urgentes"*
 - Ocurrencia: Media. Tener este porcentaje de urgencias en una industria de commodities tan madura como esta, es considerable.
 - Impacto en los costos de distribución: Bajo. Ante urgencias en Argentina ocurren 2 defectos: se despacha producto de BA (asignado a un cliente de GBA) a un cliente en el interior (porque no hay stock en BB), o se abastece un cliente de GBA con producto directo desde BB, quitándole volumen movido al depósito de BA, y aumentando en consecuencia su costo (el mismo cuenta con considerables costos fijos, que se prorratan en el volumen que pasa por él).

- *Costos ocultos de tenencia de inventarios absorbidos por la compañía*
 - Ocurrencia: Baja. Sólo el 10% del volumen vendido a los distribuidores se entrega directamente a sus clientes. Esto es un 4% de las ventas totales de Argentina.
 - Impacto en el inventario: Bajo.
 - Impacto en los costos de distribución: Bajo.

Organización de las causas raíces y los drivers de inventario y costos de distribución

Ya determinadas las ocurrencias y los impactos de los distintos “defectos” identificados, multiplicando los índices de cada uno se llegó a un valor (OxI). El mismo permite ordenar los drivers según su importancia, y agruparlos en tres grupos: el rojo para los de mayor importancia, amarillo para el intermedio, y verde para los de menor.

Causas Raíces	Efecto / Defecto	Área / Etapa del proceso que afecta?	Ocurrencia 1: baja 3: media 5: alta	Impacto en el inventario? 1: baja 3: media 5: alta	Impacto en los costos de distribución? 1: baja 3: media 5: alta	O x I
Por la naturaleza del proceso productivo las transiciones de un producto a otro generan producto fuera de espec	Inventario de off grade	Planning	5	3	N/A	15
	Ciclos de producción largos	Confirmación de disponibilidad de producto	5	5	N/A	25
	Venta contra inventario	Confirmación de disponibilidad de producto	5	5	N/A	25
Los instrumentos de medición actuales en los reactores detectan el producto fuera de espec con 2 hs de atraso	Mayor generación de off grade	Planning	5	1	N/A	5
Se lanzan nuevas versiones de productos al mercado antes de terminar de colocar las anteriores	Productos obsoletos o de baja rotación	Planning	1	1	N/A	1
El área comercial estima volúmenes mayores para cubrirse de posibles variaciones en la oferta, y cumplirle a los clientes	Forecast de ventas inexacto	Confirmación de disponibilidad de producto Planning / Comercial	3	3	N/A	9
Mala comunicación entre los clientes, el área comercial y el área de planning lleva a que no se reflejen en el plan de producción las variaciones de la demanda	25% de las entregas en Argentina calificadas como "Urgentes"	Allocación y elección del punto de despacho y la modalidad de transporte	3	N/A	1	3
	Ante urgencia de producto en Brasil, se despacha únicamente por camión desde BB	Allocación y elección del punto de despacho	3	N/A	1	3
Limitaciones en los procedimientos y en IT llevan a hacer en serie el transporte de producto a BA, la allocación del mismo y trámites aduaneros	Inventario de producto en tránsito en BA	Allocación y elección del punto de despacho	5	5	N/A	25
	Sólo se exporta el 60% del producto a Brasil por Buque	Allocación y elección del punto de despacho y la modalidad de transporte	5	N/A	5	25
Se entrega producto vendido a los distribuidores a sus clientes facturando una diferencia por el flete	Costos ocultos de tenencia de inventarios absorbidos por la compañía	Planning / Comercial	1	1	1	1

Tabla 5.4-1. Evaluación de causas raíces.

A la hora de buscar alternativas para mejorar o rediseñar la cadena actual, nos enfocaremos sobre los grupos en rojo y amarillo.

Causas Raíces	Efecto / Defecto	Área / Etapa del proceso que afecta?	Ocur.	Impacto Inv?	Impacto costos dist?	O x I
Limitaciones en los procedimientos y en IT llevan a hacer en serie el transporte de producto a BA, la asignación del mismo y trámites aduaneros	Inventario de producto en tránsito en BA	Asignación y elección del punto de despacho	5	5	N/A	25
Las redes logísticas actuales están armadas para exportar mayormente por el puerto de Buenos Aires	Sólo se exporta el 60% del producto a Brasil por Buque	Asignación y elección del punto de despacho y la modalidad de transporte	5	N/A	5	25
Por la naturaleza del proceso productivo las transiciones de un producto a otro generan producto fuera de especificación	Ciclos de producción largos	Confirmación de disponibilidad de producto	5	5	N/A	25
	Venta contra inventario	Confirmación de disponibilidad de producto	5	5	N/A	25
	Inventario de off grade	Planning	5	3	N/A	15
El área comercial estima volúmenes mayores para cubrirse de posibles variaciones en la oferta, y cumplirle a los clientes	Forecast de ventas inexacto	Confirmación de disponibilidad de producto Planning / Comercial	3	3	N/A	9
Mala comunicación entre los clientes, el área comercial y el área de planning lleva a que no se reflejen en el plan de producción las variaciones de la demanda						

Tabla 5.4-2. Selección de causas raíces.

A partir de esta tabla se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Las tres principales causas raíces son cuatro limitaciones / restricciones que operan sobre la actual cadena de distribución: *Limitaciones de Procedimientos en el manejo de una orden, Limitaciones en el IT, Restricciones Logísticas por el trazado actual y la Naturaleza del Proceso Productivo*
- Las áreas o etapas del proceso más afectadas son: *la Confirmación de Disponibilidad de Producto y la Elección del Punto y Modalidad de Despacho.*
- Los drivers de inventarios y costos logísticos más importantes son: Tenencia de Inventario para vender y cubrir los ciclos de producción largos, Inventario en tránsito, y 40% de exportaciones a Brasil por modalidades más costosas que el buque.

- Un Forecast de ventas inexacto genera faltantes o excesos de inventario, y urgencias en los despachos. Mejorar la comunicación entre el cliente, el área comercial y planning podría solucionar esto. Mientras más directo sea el canal de comunicación entre el cliente y la planta, se evita la suma de las variaciones que introduce cada interlocutor que no le quiere fallar a su cliente (Comercial se quiere cubrir con los clientes, y Planning con Comercial).

6. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA

Luego de las sesiones de Brainstorming hechas en Bahía Blanca y Buenos Aires para indagar sobre posibles causas de la tenencia de inventarios y extra costos logísticos, se realizaron de forma inmediata otras sesiones para generar un abanico de propuestas de mejora.

Las mismas abarcaron a las áreas de Logística, Planning, Producción y Comercial.

6.1. Evaluación de alternativas

De forma similar al criterio que se utilizó para determinar las causas raíces y los drivers de inventarios y extra costos logísticos principales, para una primera evaluación de las propuestas de mejora se tomaron cuatro indicadores:

- Tiempo de implementación. El criterio será: Bajo (hasta 6 meses), Medio (de 6 meses a 1 año), Alto (más de 1 año).
- Costo de implementación. Bajo (hasta USD 100.000), Medio (de USD 100.000 a USD 500.000), Alto (más de USD 500.000).
- Si es accionable. Alto (depende sólo de la empresa – 1 actor), Medio (depende de la empresa y sus proveedores o clientes, o de los proveedores y los clientes – 2 actores), Bajo (depende de la empresa, sus proveedores o clientes y entidades gubernamentales u otras – 3 o más actores).
- Ahorro estimado para 1 año. Bajo (hasta USD 100.000), Medio (de USD 100.000 a USD 500.000), Alto (más de USD 500.000). Para este primer análisis no se harán cálculos ácidos, sino aproximados. No tiene en cuenta el costo de implementación.

Luego, una vez identificadas unas pocas propuestas entre las 19 actuales, sí se procederá a un análisis más detallado de las mismas.

A continuación, exponemos las alternativas de mejora y su evaluación en función de los criterios arriba mencionados:

- *Transformar el depósito de Dock Sud en una estación de transferencia.*
 - Tiempo: Bajo. La carga del tren está compuesta por contenedores locales y de exportación. Los de exportación son llevados a puerto en el día con una calesita de 5 camiones. Se debería coordinar

para que los camiones locales se presenten en dos tandas: una a la mañana, y otra al mediodía para cargar los contenedores locales. Una parte de los contenedores locales podrían descargarse del tren y cargarse directamente sobre los camiones. Otra podría ir a piso para luego cargarse a la tarde. Pero la idea es que el contenedor no pague estadías.

- Costo: Bajo. El proveedor del depósito ya cuenta con las containeras necesarias para descargar el tren en medio día. Probablemente hagan falta más camiones para la calesita de puerto para acelerar esa parte de la descarga del tren, pero los mismos se contratan, no se compran.
 - Accionable: Alto. Si bien depende de la empresa y su principal proveedor logístico, el mismo es casi un partner. Además, hay obligaciones contractuales de mejora continua.
 - Ahorro: Alto. El costo actual anual por el stock en Dock Sud es aproximadamente de USD 800.000. Se espera que transformarse DS en una estación de transferencia, el costo de estadía de inventario debería reducirse al menos en un 80%, manteniéndose los costos de handling y administración.
- *Conseguir más camiones en Bahía Blanca.*
 - Tiempo: Alto. Se requiere convocar a más proveedores, auditarlos y probablemente desarrollar algunos.
 - Costo: Bajo. Despachar desde Bahía Blanca a Interior o GBA es menos costoso que hacerlo desde Buenos Aires (si tenemos en cuenta el costo de toda la cadena: tren + wh + camión). Por otra parte, ganar una mayor porción de este limitado recurso en Bahía Blanca podría requerir un aumento de tarifas. Por ejemplo, despachar 2000 camiones más desde BB en lugar de BA, con un aumento del 10%, tendría un costo anual extra en aumento de tarifa de 120.000 USD.
 - Accionable: Medio.
 - Ahorro: Medio. Despachar 2000 camiones más por año desde Bahía Blanca en lugar de Buenos Aires, puede generar un ahorro de USD 350.000.
 - *Hacer docs de expo mientras el producto va en el tren a Buenos Aires.*

- Tiempo: Bajo. Es cuestión de cambiar los procedimientos de comercio exterior y aprobar desde un uso diferente del sistema actual, o la modificación del mismo (en este caso el tiempo sería Medio o Alto)
- Costo: Bajo. No tiene costo en realidad, salvo que se elija hacer un nuevo desarrollo en SAP para hacer esto, en lugar de usar la configuración actual, pero de otra manera. En cuyo caso, el costo aún sería bajo.
- Accionable: Alto.
- Ahorro: Medio. Permitiría migrar algunas urgencias y despachos de camiones de BB a BA. Migrar 500 camiones / año de BB a BA puede generar un ahorro estimado de USD 140.000.
- *Entregar todo “Cliente Retira”, para los clientes locales, desde Bahía Blanca.*
 - Tiempo: Alto. Requiere ayudar a los clientes y distribuidores a desarrollar sus áreas de logística.
 - Costo: Bajo.
 - Accionable: Bajo.
 - Ahorro: Bajo. Lo más probable es que no genere ahorro. Si bien se simplificaría la estructura de logística de la empresa, con una consecuente reducción de costos en personal, el menor poder de negociación de los clientes por separado aumentaría el valor de los fletes. Esto produciría una presión de baja de precios de los productos más allá del precio que debería tener si al actual se le resta el valor de los fletes actuales.
- *Exportar más por barco (conseguir más navieras y rever mix de transportes).*
 - Tiempo: Medio. Se requiere hacer una investigación de mercado y negociar nuevos contratos.
 - Costo: Bajo. Mover 1000 contenedores más con una tarifa un 10% mayor, puede costar 75.000 USD.
 - Accionable: Medio.
 - Ahorro: Medio. El transit time del buque es similar al del tren, por lo que los 1000 contenedores saldrían de mover el volumen del tren

al buque. En este caso el ahorro es 302 USD/contenedor. Por lo tanto, el ahorro estimado sería de USD 300.000.

- *Gestionar todas las empresas de transporte desde Bahía Blanca y Buenos Aires (no tercerizar) - Que la empresa administre los fleteros (para despachos locales).*
 - Tiempo: Alto. Hay que generar la estructura en la organización capaz de administrar una cantidad de empresas mucho mayor a la actual.
 - Costo: Bajo. Dos empleados más en logística a un costo USD 15.000 anuales cada uno, y uno en cuentas a pagar a costo de USD 9.000 al año.
 - Accionable: Bajo. Se requiere crear una estructura nueva dentro de la empresa (lo difícil de accionar es la burocracia interna que implica la creación de nuevos puestos de trabajo y la complejización de 2 sectores (al menos).
 - Ahorro: Alto. De poder obtenerse una rebaja del 10% en las tarifas actuales, el ahorro sería de USD 500.000.

- *Desarrollar el puerto de Bahía Blanca.*
 - Tiempo: Alto. Requiere la coordinación de al menos 4 grandes proveedores de carga, 2 navieras, y las entidades encargadas de administrar y operar el puerto, que actualmente trabaja con buques de granel, y muy esporádicamente.
 - Costo: Bajo. Las inversiones necesarias no estarían a cargo de la empresa directamente.
 - Accionable: Bajo.
 - Ahorro: Alto. Esta alternativa competiría contra los buques de Buenos Aires y el tren directo de BB a Itajaí. Por lo tanto, estaríamos hablando de 7.500 contenedores al año, con un ahorro estimado de USD 4.500.000.

- *Aumentar la cantidad de pallets por camión.*
 - Tiempo: Bajo. Primero se deben relevar datos para ver si la flota actual puede absorber ese pallet extra sin limitar por volumen o peso por eje. Luego si el porcentaje que quedaría fuera es menor al

- 10%, la implementación es inmediata. Si es entre 10 y 20%, el tiempo sería "Medio" ya que los transportistas necesitarían un tiempo extra para ver si pueden reasignar sus flotas entre sus clientes, o contratar fleteros que puedan transportar 19 o 20 pallets por camión.
- Costo: Bajo. No debería tener costo de implementación más allá de la toma de datos. Eventualmente, algún transportista podría querer que le paguen más por cargar más pallets, pero dado que la tarifas actuales están estipuladas por camión y no por tonelada, tal aumento no debería ocurrir.
 - Accionable: Medio. La empresa no debe hacer grandes cambios (salvo aumentar su módulo de comercialización en 2 pallets), pero sí los transportistas. Además, se debe consultar a los clientes pequeños (aquellos que compran de a un camión por vez) si tendrían algún problema en recibir un pallet extra. Aunque, de todos modos, en caso de tenerlo, se le puede seguir entregando como siempre usando el porcentaje de la flota que no pueda con los pallet extras.
 - Ahorro: Alto. Comprende a los camiones que mueven carga palletizada y no en contenedores. Entran en el espectro: el volumen a interior, GBA desde Bahía Blanca, y a Brasil, en camión. Los volúmenes son 4.000, 2.400 y 2.000 toneladas respectivamente. El volumen en camión desde Buenos Aires a GBA queda fuera ya que se mueve en contenedores de 40'. Ahorro estimado, sólo en fletes, con una implementación al 90%: USD 500.000. Luego está el ahorro en tareas administrativas internas y de comercio exterior, por disminución de órdenes a trabajar, que se estiman en otros USD 10.000.
- *Aumentar la cantidad de producto por bolsa / pallet.*
 - Tiempo: Medio. Esta alternativa contempla tanto aumentar en una fila de bolsas la altura del pallet, como aumentar la cantidad de producto por bolsa. Sea una alternativa, la otra o la combinación de las dos, hay que analizar las dimensiones y restricciones de peso y volumen de toda la cadena desde la línea de embolsado y palletizado, hasta los racks de los almacenes (tanto propios como de los clientes). La altura de los espacios en las estanterías selectivas se toman como una restricción insalvable. El tiempo de implementación consta de la toma de datos, el análisis y el seteo de la línea de embolsado / palletizado.

- Costo: Bajo. Se compone por la toma de datos y el seteo de la línea de embolsado / palletizado. Incluyendo viajes con viáticos y los errores de prueba y error en el seteo, no puede superar los USD 5.000.
 - Accionable: Medio. La empresa debe cambiar el seteo de su línea de embolsado / palletizado y su módulo de venta. Los clientes deben adaptarse al nuevo módulo de compra.
 - Ahorro: Alto. Actualmente el pallet lleva 25.2 Tn de producto, en 5 bolsas por fila, y 10 filas. La alternativa de agregar una fila de bolsas más al pallet no es viable. La altura de los racks de las estanterías del depósito en Itajaí es de 2.005m, y el del pallet lleno con 10 filas es de 1.85m. A su vez, la altura actual de la bolsa es de 0.17m. Por lo tanto, con 11 filas el pallet mediría 2.02m. En consecuencia, la alternativa que resulta viable es aumentar la cantidad de producto por bolsa. Teniendo en cuenta que la densidad del granel es de 686 kg/m³, la nueva bolsa de 29.5 kg tendría 0.01m más de alto. De este modo, el pallet lleno mediría 1.94m, dejando 0.06m de tolerancia. Aclaramos que a priori se tomaron 29.5kg para la nueva bolsa considerando que la carga máxima por rack en las estanterías de Bahía Blanca e Itajaí es de 26.6Tn (fueron construidos para 25.2Tn con un margen de seguridad del 6%). El ahorro se compone de: menor cantidad de camiones, trenes y barcos movidos, menor cantidad de órdenes procesadas, menos pallets manipulados. El mismo se estima en USD 1.350.000.
- *Producir contra pedido.*
 - Tiempo: Medio. Por el lado de la empresa hay que rediseñar los procedimientos de trabajo. Por el de los clientes hay que informarlos sobre la nueva forma de trabajo y los nuevos tiempos de abastecimiento que deberían tener en cuenta. Se estipula que los mismos irían, para Argentina, de 5 días a un intervalo de 5 a 26 días, con un promedio de 14 días.
 - Costo: Bajo.
 - Accionable: Medio.
 - Ahorro: Bajo. Si bien operativamente el costo de implementación es menor, el verdadero costo son los clientes que se pierdan por la nueva forma de trabajo. Es de esperarse que los mismos le compren a la competencia en Brasil, que tiene un tiempo de

abastecimiento de 10 a 15 días, o a los distribuidores. Y de no perderse volumen y suponer que el de los clientes migraría a los distribuidores, también es de esperarse que los mismos compren a menor precio ya que se verían forzados a tener inventario de todos los productos todo el tiempo.

- *Publicar el cronograma de producción en una página web, y vender “horas de reactor”.*

La idea es publicar el plan de producción, o parte del mismo, para que los clientes tengan acceso a él, y pidan los productos con anterioridad a su fabricación. De esta manera, el mismo es transportado a destino ni bien sale de la línea. Si el pedido no es urgente, se utiliza la alternativa logística más económica (que en general suele tener mayor transit time). En cambio, si el pedido es urgente, se puede utilizar una alternativa más rápida y costosa, o se puede sacar producto del stock de seguridad (para tal fin) a un costo mayor. Es decir, esta alternativa haría que un elemento que no agrega valor, como es el inventario, ahora si lo hiciese (y por ende sería aceptable tenerlo).

- **Tiempo:** Medio. Principalmente, habría que cambiar los procedimientos de trabajo de la empresa y de los clientes, ampliar el sistema informático actual y desarrollar aplicaciones nuevas (facturación on line, comunicación automática a clientes de cambios en los planes, etc) y renegociar las condiciones contractuales con los clientes. También habría que analizar el impacto en los clientes, ya que no todos estarían en condiciones de absorber el aumento en sus stocks de materia prima que esta alternativa podría causar.
- **Costo:** Medio. Se compone por los desarrollos informáticos (estimados en USD 200.000), y la capacitación tanto de los empleados como de los clientes (USD 120.000). La capacitación incluye cursos, viajes a los clientes o de los mismos (o los empleados) y cualquier otro gasto que se requiera para que los mismos puedan manejar los pedidos vía web y entiendan los mecanismos que ponen en acción, y las repercusiones de manejar mal el sistema. El valor se estimó en un promedio de USD 1.000 por cliente (prorrateando los costos de capacitación interna entre ellos). Por otro lado, existe otro costo en bonificaciones a los clientes por tomar producto desde el programa de producción, ya que esto podría ocasionarles un aumento en su stock de MP. Por ejemplo, si se bonificase el costo de capital por la tenencia de un

stock de 15 días a los 24 principales clientes candidatos a tomar producto desde el programa de producción, la bonificación total sería de USD 1.840.000.

- Accionable: Medio.
 - Ahorro: Alto. En un principio se generaría un ahorro por la importante disminución del inventario. Si actualmente el inventario es de 24 días, se espera que no supere los 10 días. Esto significa un ahorro de USD 5.200.000 en costo de capital. Por otra parte, habría que agregar las ganancias generadas por el valor agregado del inventario que se tenga. Las mismas se estiman considerando una diferencial por la venta contra inventario, el cual se calcularía en función del costo de capital por la tenencia del producto en stock 14 días “extras”. Se estipula este ahorro en USD 1.000.000. Y por último, y en menor escala, se encuentran los ahorros por mover menos el producto. Por ejemplo, en lugar de ir de la línea de embolsado al depósito, iría al camión, ahorrando el costo de ingreso al depósito (estimado en USD 600.000). No se incluye el ahorro en días de almacenamiento, estimado en USD 530.000, ya que hay otra propuesta que apunta a minimizar las estadías en el depósito de Buenos Aires. Ahorro Total: USD 6.800.000.
- *Eliminar el stock de seguridad.*
 - Tiempo: Bajo. El tiempo de implementación es el necesario para programar nuevamente la producción, descontando de los volúmenes a producir el stock de seguridad que ya hay de cada producto.
 - Costo: Bajo. Tomar esta medida no tiene ningún costo directo de implementación.
 - Accionable: Alto. Las acciones a tomar dependen sólo de la empresa. El área de planning debe ajustar el programa de producción, y el área comercial tomar los recaudos para mejorar la exactitud del forecast de ventas (mayor seguimiento de los clientes).
 - Ahorro: Nulo. El stock de seguridad sirve para cubrirse de los imprevistos y asegurar un nivel de servicio determinado. El costo del mismo es de 1.200.000 USD al año. Ahora, si se lo elimina y no se toma una acción para reducir la variación mensual de la demanda a un 0.1% (punto en que las ventas perdidas igualarían al costo actual de tenencia de stock, o en el que el stock de seguridad

es prácticamente nulo) contra el forecast, las pérdidas por ventas perdidas son mayores al costo del stock de seguridad. Así que tomar esta medida de forma aislada no genera ahorro. En realidad, la eliminación del stock de seguridad no es fruto de una acción directa sobre esta política, sino fruto de una gestión distinta del inventario, la producción y el abastecimiento de la demanda.

- *Hacer ciclos de producción más cortos.*
 - Tiempo: Bajo. Al igual que la propuesta anterior, esta mejora no es fruto de una decisión sino de un cambio en el proceso. Tomar la decisión e implementarla es inmediato.
 - Costo: Bajo. Tomar esta medida no tiene ningún costo directo de implementación.
 - Accionable: Alto.
 - Ahorro: Nulo. Hacer ciclos de producción más cortos disminuye el tiempo de reposición, y en consecuencia el stock de seguridad. Por otra parte, al hacer ciclos más cortos, aumenta la cantidad de cambios de ciclos de producción al año, y en consecuencia la generación de producto fuera de spec. Cada Tn de off grade extra que se hace genera pérdidas por USD 1.300 (ya que ese es el diferencial de su precio de mercado con el del producto normal), y cada tonelada de inventario que se elimina genera ahorros anuales por 70 USD en costo de capital. Cada día de reposición genera un stock de seguridad de 100 Tn por planta (con un costo de capital de USD 30.000 al año). A su vez, cada nuevo ciclo genera, en promedio, 20 Tn de off grade (es decir, pérdidas por USD 27.000). Si tenemos en cuenta que cada planta hace en promedio 22 productos, con un tiempo de reposición de 12.4 días, en 640 transiciones al año (por planta) debemos aumentar la cantidad anual de ciclos en 50 para reducir el tiempo de reposición en 1 día. Es decir, debemos perder USD 1.300.000 en off grade para salvar USD 30.000 en costo de capital, por planta.

- *Invertir en instrumentos de medición que permitan saber el producto en el reactor “on line”.*
 - Tiempo: Alto. Tales instrumentos existen. Sin embargo, elegir un proveedor apto técnicamente y con un precio razonable, luego instalar tales instrumentos, calibrarlos, probarlos y capacitar al

- personal en su utilización y mantenimiento, puede tomar más de 6 meses.
- Costo: Medio. La tecnología más difundida funciona como un espectrógrafo de masas. Cada instrumento cuesta alrededor de los USD 30.000. Si tenemos en cuenta que hay 4 plantas, y habría que instalar 2 en cada una, son USD 240.000 en instrumentos. Luego, están los costos de set up, capacitación estimados en otros USD 30.000, y el mantenimiento anual, que se rondaría los USD 20.000 por planta.
 - Accionable: Alto.
 - Ahorro: Alto. Actualmente, se sabe “a ciencia cierta” qué producto se está haciendo en el reactor, a las 2hs, con una tasa de fallas del 5% para las transiciones. Esto causa 10.130 Tn extra al año de off grade, causando pérdidas por USD 13.340.000. La detección inmediata de una falla podría reducir este volumen al menos en un 83%. El ahorro sería entonces de USD 11.136.000.
- *Mudar plantas a Buenos Aires.*
 - Tiempo: Alto. Mínimo 2 años desde la toma de la decisión. Hay que conseguir / construir el predio en un parque industrial, conseguir las habilitaciones gubernamentales, construir las plantas, reubicar el personal, capacitar el nuevo personal. Y todo esto a la par que se desmantelan las plantas en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca.
 - Costo: Alto. Mudar 4 plantas de USD 100.000.000 cada una, y cientos de millones de dólares en ventas perdidas, ya que en la transición más perfecta, al menos una planta no estaría funcionando durante los dos años (se mudaría una planta a la vez).
 - Accionable: Bajo. Hay que mover cuatro plantas de USD 100.000.000 cada una, conseguir el predio, el abastecimiento de etileno, reubicar al menos 1000 personas, conseguir las habilitaciones gubernamentales (especialmente las medioambientales) y rediseñar la red de abastecimientos, entre tantas otras acciones.
 - Ahorro: Nulo. El costo diferencial promedio de mover producto desde y hacia Buenos Aires en lugar de Bahía Blanca es de 400 USD por contenedor. Teniendo en cuenta que se mueven al menos 21.300 contenedores al año, el ahorro en transporte y manipuleo sería de USD 8.500.000. Sin embargo, está claro que esta

alternativa no es viable ya que el costo de mover las plantas es mucho mayor (¡el período de repago sería mayor a 50 años!).

- *Vender más a distribuidores, y menos a clientes directos (transferir stocks).*
 - Tiempo: Alto. Implementar esta alternativa requeriría de ayudar a todos los clientes a generar nuevos contactos comerciales con los distribuidores, y a su vez que los mismos aumenten su capacidad de almacenaje y operativa acorde al nuevo throughput que tendrían. Si actualmente, los distribuidores mueven el 33% del volumen de Argentina, para mover por lo menos el 66% deberían como mucho duplicar su capacidad (una empresa que quiere duplicar su capacidad lo puede lograr copiándose a sí misma nuevamente, pero se entiende que la sinergia entre ambas haría que su rendimiento sea mayor al doble de la capacidad original).
 - Costo: Bajo. Tomar esta medida no tiene un costo directo de implementación para la empresa, pero sí para los distribuidores y los clientes, que evidentemente lo transferirán al precio que estarían dispuestos a pagar por los productos (especialmente los distribuidores).
 - Accionable: Bajo. Para los distribuidores puede ser tentador aumentar la porción de las ventas de la empresa en la que se llevan una parte del margen, pero otra parte habría que ver si están dispuestos a llevar adelante el cambio de escala en su negocio. A su vez, habría que asegurar que los clientes de Petropolímeros migren hacia sus distribuidores, y no la competencia.
 - Ahorro: Bajo. El precio de venta a los distribuidores es menor que a los clientes directos (un 16.5%) ya que ellos luego deben agregarle el costo de tenencia en inventario y de distribución. Vender más a distribuidores podría disminuir el stock, y con ello el capital de trabajo, pero aún así, con esta media, el ahorro es muy pequeño: 2 USD/Tn. Además, es cuestionable, desde un punto de vista estratégico, transferir ventas a los distribuidores ya que de esta manera se pierde conocimiento y “cercanía” al mercado.

- *Mudar principales clientes / distribuidores a Bahía Blanca.*
 - Tiempo: Alto. Al igual que en la alternativa de mudar las plantas a Buenos Aires, primero se requiere de un extenso trabajo previo

para generar las condiciones favorables para que los Distribuidores (o principales clientes) decidan mudarse a Bahía Blanca. Las mismas pueden ir desde incentivos fiscales, subvenciones, precios diferenciales, etc. Luego, está el tiempo de mudanza de los depósitos/plantas. Tiempo total: 2 a 3 años.

- Costo: Bajo. Para la empresa no va más allá del costo que pueda tener ayudar en las gestiones gubernamentales (viajes, reuniones, presentaciones, etc).
- Accionable: Bajo. Por qué habría la provincia de Buenos Aires de incentivar una actividad en Bahía Blanca, que ya le da muy buenos ingresos en el Gran Buenos Aires?
- Ahorro: Nulo. Para la empresa el ahorro en fletes sería muy importante, pero como el costo de llegar a los clientes finales serían transferidos a los distribuidores, éstos descontarían el mismo del precio. En definitiva el ahorro sería mínimo o nulo ya que se trataría de una transferencia de costos. Es más, probablemente, daría pérdida ya que Petropolímeros se encuentra mucho más especializada en logística que sus distribuidores, con lo cual la ineficiencia de éstos sería mayor, y por ende, sus costos.

6.2. Selección de alternativas

Para la selección final de alternativas se suma el puntaje del tiempo de implementación, costo y accionabilidad, y los multiplicamos por el ahorro. De esta manera, se separan más las alternativas en función de los ahorros que generan. No debe olvidarse que la meta es reducir costos de distribución e inventarios. Si además fuese urgente, se hubiese tomado un criterio distinto que ponderase de otra manera el tiempo de implementación y la accionabilidad.

Área	Propuestas	Tiempo de Implementación? 1: Alto 3: Medio 5: Bajo	Costo de Implementación? 1: Alto 3: Medio 5: Bajo	Accionable? 1: Bajo 3: Medio 5: Alto	Ahorro? 1: Bajo 3: Medio 5: Alto	(T+C+A)xA
Logística	Transformar el depósito de Dock Sud en una estación de transferencia.	5	5	5	5	75
	Conseguir más camiones en Bahía Blanca.	1	5	3	3	27
	Hacer docs de expo mientras el producto va en el tren a Buenos Aires.	5	5	5	3	45
	Entregar todo "Cliente Retira", para los clientes locales, desde Bahía Blanca.	1	5	1	1	7
	Exportar más por barco (conseguir más navieras y rever mix de transportes).	3	5	3	3	33
	Gestionar todas las empresas de transporte desde Bahía Blanca y Buenos Aires (no tercerizar). Que la empresa administre los fleteros (para los despachos locales).	1	5	3	5	45
	Desarrollar el puerto de Bahía Blanca.	1	5	1	5	35
	Aumentar la cantidad de pallets por camión.	5	5	3	5	65
	Aumentar la cantidad de producto por bolsa / pallet	3	5	3	5	55
Planning / Producción	Producir contra pedido.	3	5	3	1	11
	Publicar el cronograma de producción en una página web, y vender horas de reactor.	1	3	3	5	35
	Eliminar el stock de seguridad.	5	5	5	0	0
	Hacer ciclos de producción más cortos.	5	5	5	0	0
	Invertir en instrumentos de medición que permitan saber el producto en el reactor "on line".	1	3	5	5	45
	Mudar plantas a Buenos Aires.	1	1	1	0	0
Comercial	Vender más a distribuidores, y menos a clientes directos (transferir stocks).	1	5	1	1	7
	Mudar principales clientes / distribuidores a Bahía Blanca.	1	5	1	0	0

Tabla 6.2-1. Evaluación de propuestas de mejora.

De esta manera, las alternativas quedaron priorizadas de la siguiente manera:

Propuestas	Tiempo Impl?	Costo Impl?	Accionable?	Ahorro?	(T+C+A)xA
Transformar el depósito de Dock Sud en una estación de transferencia.	5	5	5	5	75
Aumentar la cantidad de pallets por camión.	5	5	3	5	65
Aumentar la cantidad de producto por bolsa / pallet	3	5	3	5	55
Hacer docs de expo mientras el producto va en el tren a Buenos Aires.	5	5	5	3	45
Invertir en instrumentos de medición que permitan saber el producto en el reactor "on line".	1	3	5	5	45
Publicar el cronograma de producción en una página web. y vender horas de reactor.	3	3	3	5	45
Gestionar todas las empresas de transporte desde Bahía Blanca y Buenos Aires (no tercerizar). Que la empresa administre los fleteros (para los despachos locales).	1	5	1	5	35
Desarrollar el puerto de Bahía Blanca.	1	5	1	5	35
Exportar más por barco (conseguir más navieras y rever mix de transportes).	3	5	3	3	33
Conseguir más camiones en Bahía Blanca.	1	5	3	3	27

Tabla 6.2-2. Selección de propuestas de mejora.

Para el diseño de la propuesta final se tomarán las primeras 6 opciones (las "verdes"). De todos modos, se adjunta también las siguientes 4 (las "amarillas"), ya que eventualmente alguna podría aparecer en la solución final, si es alentada por alguna de las "verdes".

6.3. Propuesta final

Dentro de las alternativas a tener en cuenta, hay algunas que son independientes de otras y pueden implementarse independientemente, y otras que deben considerarse juntas. Entre las primeras se encuentran, por ejemplo, el hacer ciclos de producción más cortos y transformar el depósito de Dock Sud en una estación de transferencia. Mientras que entre las segundas se encuentran las alternativas de aumentar la carga por camión y el aumento de la carga por pallet. Es decir, deberá analizarse simultáneamente si conviene aumentar la cantidad de pallets por camión, los kg de producto por bolsa o la cantidad de bolsas por pallet.

En este apartado se analizarán más en detalle las propuestas que se espera contribuyan a cumplir el objetivo. Luego se hará una descripción de la propuesta final.

6.4. Análisis de propuestas

1. Transformar el depósito de Dock Sud en una estación de transferencia.

Si se revisa el proceso de trabajo actual se verá que el depósito de Dock Sud funciona como un punto de stock. Es decir, los schedulers determinan cuánto producto sale de Buenos Aires y cuánto de Bahía Blanca para abastecer la demanda interna y la de Brasil, y en función de eso determinan el volumen a transportar por los trenes que salen diariamente de Bahía Blanca, y el stock a tener en Dock Sud.

Esta alternativa lo que propone es que las órdenes de los clientes sean colocadas contra la planta en Bahía Blanca, y que para aquellos casos en que se deba despachar desde Buenos Aires se pueda visualizar la red tren + camión (GBA o Brasil) o tren + camión + buque (Brasil) como un todo.

	De...	A...
Sistema	Orden ingresada contra el depósito de DS	Orden ingresada contra Planta (desarrollo en SAP de nuevo tipo de orden para despachos de tren + camión. El de tren + camión + buque ya existe)
	Modos de despacho desde DS: GBA: camión Brasil: camión / camión a puerto + buque	Modos de despacho desde BB: GBA: tren + cross dock (CD) + camión Brasil: tren + CD + camión / tren + CD + camión a puerto + buque
	Órdenes de transferencia de producto de BB a DS	No necesitarse esta tarea
Proceso de trabajo	Planilla donde se carga el producto que va diariamente a DS en tren	Planilla donde se cargan las órdenes que salen de BB en tren y pasan por DS
	Almacenamiento obligado en DS	Almacenamiento ocasional en caso de no poder despachar los contenedores ese día
	Dos operaciones independientes: Programación de trenes Programación de despachos desde DS	Una única operación coordinada como un todo
	Despachos locales y de expo coordinados por separado	Despachos locales y de expo coordinados juntos (unos serían por la mañana y otros por la tarde con una calesita fija de camiones)
	Eventualmente contar con producto erróneo en DS.	Tener en DS producto ya ligado a una orden.
	Despachos a interior desde BA (lo cual desde el punto de vista de planning y costos es un serio defecto)	No tener despachos a interior desde BA (sólo desde BB)

Logística	<p>Transit time total: GBA: 0/1 días Brasil: Camión: 7 días (+ 4 días en DS para hacer los docs de expo) Camion + buque: 8 días (+ 4 días en DS para hacer los docs de expo)</p>	<p>Transit time total: GBA: 3 días (las urgencias se despacharían desde BB con un TT de 1 día) Brasil: Camión: 9 días (se supone que los trámites de expo se hacen mientras el producto viaja en el tren, o en el peor de los casos, mientras se encuentra en BB) Camion + buque: 10 días (mismo supuesto que en la opción de arriba)</p>
-----------	--	---

Tabla 6.4-1. Cambios para poder trabajar con una estación de transferencia.

Costo: USD 160.000. Por cuestiones contractuales debe darse el 30% del ahorro generado por la mejora al operador logístico.

Ahorro: USD 530.000

Tiempo implementación: 3 meses

2. Hacer docs de expo mientras el producto va en el tren a Buenos Aires.

Actualmente, para las exportaciones desde Buenos Aires los docs de expo se hacen previamente al despacho mientras el producto se encuentra en Dock Sud. Esto ocasiona que el producto deba estar 4 días pagando almacenamiento en DS. A su vez, también es la causa de que el lead time total de la opción tren + camión sea de 13 días (2 de tren + 4 para facturación y docs de expo + 7 de camión a Brasil), mientras que los camiones que salen directamente de Bahía Blanca tienen un lead time total de 12 días (4 + 8).

Al momento del despacho, los camiones deben contar con el CRT, el certificado de origen, el MIC DTA y la factura. El proceso actual establece que primero se debe alocar el producto (asignar lote y reservar el stock), luego facturar, y con la factura hacer el CRT y demás documentos de exportación, que luego son enviados al forwarder en Brasil para que haga la internación de la orden. Está establecido que todas estas tareas deben hacerse en un lapso no mayor a 4 días, luego de los cuales ocurre el despacho.

Lo que impide con las condiciones actuales hacer los docs de expo mientras el producto se dirige en el tren a DS es que ni la alocaión ni la facturación se pueden hacer contra producto en tránsito.

Para poder llevar adelante esta mejora, existen 3 alternativas:

- a) Crear un almacén “virtual” en el sistema para el producto que se encuentra en tránsito de modo de poder alocar, facturar y luego hacer los docs de expo mientras llega el tren a DS.
- b) Crear en el sistema un tipo de factura que no requiera que la orden ya tenga asignado el producto y los lotes. De este modo se podría hacer el CRT y demás docs antes de que el producto ingrese a DS. La alocaión y asignación de lote se pueden hacer en el momento de despacho contra el stock recién ingresado en DS.
- c) Crear en el sistema un nuevo tipo de orden que se ingrese contra Bahía Blanca y contemple el transporte a Brasil como un todo de tren + camión o tren + buque. Así se asigna el producto y los lotes en Bahía Blanca y se puede facturar ni bien se carga el tren. Cualquiera de las alternativas que se elijan la situación cambiaría de la siguiente manera:

	De...	A...
Lead Time	Tren + camión: $2 + 4 + 7 = 13$ días Tren + buque: $2 + 4 + 8 = 14$ días	Tren + camión: $2 + 2 + 7 = 11$ días Tren + buque: $2 + 2 + 8 = 12$ días
Stock	Almacenamiento de 4 días mínimo en DS	A lo sumo 1 día de almacenamiento en DS
Operación	En etapas Simple	En paralelo Requiere mayor coordinación para contar con los camiones ni bien lleguen los contenedores a DS

Tabla 6.4-2. Cambios por el trabajo en paralelo para exportaciones por Buenos Aires.

Costo: USD 3.000. Desarrollos en SAP

Ahorro: USD 177.000

Tiempo implementación: 3 meses

3. Aumentar la cantidad de pallets por camión / Aumentar la cantidad de producto por bolsa / pallet

Esta alternativa cuenta con dos opciones distintas pero que deben analizarse en conjunto. Aumentar la cantidad de pallets por camión (por ejemplo de 18 a 19 o 20) parece ser una alternativa de rápida implementación. Sin embargo, los espacios en los almacenes de Bahía Blanca e Itajaí están modulados para 18 pallets (3 de alto por 6 de profundidad). A su vez, los despachos desde Buenos Aires se hacen con producto que llega por tren en contenedores de 40', que pueden llevar hasta 18 pallets. De este modo, esta alternativa sólo podría implementarse para los

despachos desde Bahía Blanca, y con algunas complicaciones operativas en los almacenes (que podrían llevar a un menor aprovechamiento de los mismos).

La otra opción, que es colocar más producto por bolsa, y por ende por pallet, evitaría problemas por cambio de módulo en los almacenes, pero se encuentra con dos restricciones. En primer lugar, el peso máximo que pueden resistir las estanterías de los racks, y en segundo lugar, el peso máximo por eje que pueden llevar los camiones.

Por lo tanto, primero se aumentará el peso máximo por pallet, y de ser posible se analizará agregar uno más a los camiones para los despachos directos desde Bahía Blanca, y su impacto en el aprovechamiento de los almacenes y sus operaciones.

Análisis de los camiones

Existen distintas configuraciones de camiones entre semis y chasis con acoplados. Para determinar la máxima carga estándar se hizo un censo de las distintas configuraciones de camiones que se despachan desde Bahía Blanca durante 1 mes. El mismo determinó que un 95% de los camiones despachados pertenecían a configuraciones capaces de llevar hasta 3Tn más que lo que llevan actualmente. Los resultados fueron los siguientes:




Imagen	Configuraciones de ejes		Peso Bruto Máx (Tn)	Participación
	Tractor	Semi		
	1 Simple 1 Doble	3 Doble, con eje desplazado	45	70%
	1 Simple 2 Doble	2 Doble - SEPARADOS	45	20%
	Chasis	Acoplado		
	1 Simple 1 Doble	3 Doble	45	5%

Tabla 6.4-3. Resultado del censo de camiones y sus distintas configuraciones.

Dado que el 95% permite aumentar la carga por camión, se asume que el impacto de esta medida en la disponibilidad de camiones sería prácticamente nulo.

Luego, teniendo en cuenta la legislación¹, que estipula cargas máximas por tipo de eje, las distancias entre los mismos y la posibilidad de cargar 18, 19 o 20 pallets, se determinó la carga máxima estándar en 28,5 Tn. La cual puede darse con 19 pallets de 1,5 Tn (100 kg más que los actuales), o con 18 pallets de 1,58 Tn.

Análisis de los almacenes

El proveedor que construyó los almacenes de Bahía Blanca e Itajaí, con espacio para un total de 22.000 pallets entre los dos, los dimensionó para las 25,2 Tn actuales con un coeficiente de seguridad del 10%. Esto significa que dejando un margen "0" de seguridad, podrían colocarse hasta 27.7 Tn en los almacenes.

Dado que en el apartado anterior se determinó que el mejor aprovechamiento de los camiones requeriría aumentar la carga a 28.5 Tn con 18 pallets, para poder utilizar los almacenes habría que modificarlos para que soporten la nueva carga. Dicha modificación fue presupuestada en USD 25 por posición, lo que da un costo total de USD 550.000.

Por otra parte, hay que analizar el impacto que genera llenar almacenes en módulos de 72 pallets, colocarlos en racks con posiciones de 18 pallets cada una, y despachar de a 19 pallets. El almacén de Bahía Blanca se llena con corridas de producto de 72 pallets (18 x 4) por lote, en promedio, ya que así están configuradas las plantas. Son 72 pallets porque aproximadamente son 100 Tn por lote. El almacén de Itajaí seguiría llenándose con módulos de 18 pallets al recibir los contenedores del tren directo de Bahía Blanca, o los contenedores marítimos de Buenos Aires, y pasaría a llenarse con módulos de 19 pallets en el caso de los camiones directos desde Bahía Blanca (17% del volumen), que generalmente viajan en grupos de a 4 (con lo que generarían una restricción parecida a la de la planta).

Teniendo en cuenta las restricciones anteriores, y tratando de minimizar movimientos y distancias dentro de los almacenes se llegó a la siguiente conclusión:

- a. Se requiere una posición de "pulmón" cada 6 posiciones operativas para los casos en que se abastezca con módulos de 72 pallets y se despachen módulos de 19. La idea es que si la posición pulmón cuenta con 18 pallets, y hay otras 6 posiciones que se abastecen

¹ Ley 24.449, Decreto 779/95 y Decreto 79/98

de ella para completar el módulo de 19 pallets, cada 6 despachos se vacía 1/3 de la misma. Luego, si reponemos el producto en esas posiciones, después de los siguientes despachos habremos vaciado 2/3 de la “posición pulmón”. Finalmente, la misma se vacía luego de los siguientes 6 despachos.

- b. La posición de pulmón se libera cada 3 reposiciones, por lo que se encuentra no disponible para el almacenamiento el 66% de las veces.
- c. Por lo tanto, a priori pasa a tenerse un 86% de capacidad respecto a la situación original en Bahía Blanca, y un 98% en Itajaí (sólo el 17% del almacén se ve afectado por esta situación => $0.17 \times 0.86 + 0.83 \times 1$).
- d. Considerando que estaremos metiendo mayor volumen en la misma cantidad de posiciones y “a”, “b” y “c”, se llega finalmente a la siguiente disponibilidad de espacio dentro de los almacenes:

i. Bahía Blanca

El 33% de las veces se contaría con las 650 posiciones originales (cada una alberga 18 pallets), que ahora cargarían un 13% más. Mientras que el 66% restante de las veces sólo se contaría con 558 posiciones. Esto significa que a lo largo del mes se contaría con un promedio de 582 posiciones. Pero como los racks ahora cargarían más, para albergar el mismo volumen que antes sólo serían necesarias 566 posiciones. Por lo tanto, **la capacidad del depósito de Bahía Blanca no sólo no se ve afectada por la medida, sino que termina siendo mayor en un 3%.**

ii. Itajaí

El 89% de las veces se contaría con las 570 posiciones originales (cada una alberga 18 pallets), que ahora también cargarían un 13% más. Mientras que el 11% restante de las veces sólo se contaría con 557 posiciones. Esto significa que a lo largo del mes se contaría con un promedio de 569 posiciones. Pero como los racks ahora cargarían más, para albergar el mismo volumen que antes sólo serían necesarias 496 posiciones. Por lo tanto, **la capacidad del depósito de Itajaí no sólo no se ve afectada por la medida, sino que termina siendo mayor en un 15%.**

Finalmente, la propuesta se compone de la siguiente manera:

- Pasar de bolsas de 28kg a 30kg. Incremento del 7,1%.
- Despachos en camión a GBA, Interior y Brasil, desde Bahía Blanca, deben hacerse con 19 pallets, cargando un total de 28,5 Tn (originalmente eran 18 pallets por 25,2 Tn). Incremento del 13,1%.
- Despachos en contenedores (ferroviarios y marítimos) se modulan en 18 pallets, cargando un total de 27 Tn. Incremento del 7,1%.
- Los despachos desde Buenos Aires siguen modulando en 18 pallets, pero con el incremento del 7,1% en su carga.

Costo: USD 550.000

Ahorro: USD 3.300.000

Tiempo implementación: 6 meses

4. Invertir en instrumentos de medición que permitan saber el producto en el reactor "on line".

Las transiciones de un producto a otro en el reactor generan producto fuera de especificación u "off grade". Según la tecnología de cada planta las transiciones pueden tomar de 10 a 20 minutos. Por otra parte, actualmente la detección del producto final en el reactor se hace con un sistema predictivo en función de las condiciones dentro del mismo. Predicción que es verificada con un retardo de 2 hs, ya que el método actual se basa en la toma de una muestra a la salida de la línea (tres procesos luego del reactor) y en el análisis en laboratorio. Es decir, que ante una anomalía, en el mejor de los casos, y resolviéndola en el momento, se produjeron 2hs + el tiempo de transición de off grade.

Como se vio más arriba existen instrumentos que podrían analizar el producto en el reactor, haciendo que la detección de anomalías sea casi instantánea. Según los expertos de planta las anomalías se resuelven en un promedio de 15' (las mismas suelen ser causadas por un error en la dosificación de aditivos, a su vez causada por un error en la medición de las concentraciones).

	Antes	Después
Tiempo de transición promedio	0.11 hs	0.11 hs
Tiempo de transición promedio ante fallas	2.11 hs	0.36 hs
Generación de off grade por falla	23 a 60 Tn según la planta	1,4 a 3 Tn según la planta
Generación anual de off grade	4%	2%

Tabla 6.4-4. Cambio de performance de transiciones.

Estas mejoras se traducirían en 8.457 Tn más al año que en lugar de venderse a precio de off grade, podrían colocarse a precio de producto de primera calidad.

Costo USD 270.000 el primer año (USD 80.000 al año en mantenimiento):

Ahorro: USD 11.136.000 en 1 año

Tiempo implementación: 6 meses

5. Publicar el cronograma de producción en una página web y vender horas de reactor.

En el análisis de causas raíces para la tenencia de inventarios y extracostos logísticos, se vio que el forecast de ventas inexacto y la mala comunicación entre los clientes y la empresa estaban entre las principales causas.

Otra causa para la tenencia de inventarios radica en que las ventas se hacen contra inventario. O sea, que las plantas producen para stock, y no para órdenes. Por lo tanto, se debe tener en stock la casi totalidad de los productos. Más específicamente, el 95%, ya que esa es la meta de servicio para las plantas.

Para manejar mejor las variaciones en la demanda y disminuir los inventarios, surge esta propuesta que lo que busca es reducir los eslabones entre los clientes y las plantas. La misma se basa en que el área de planning cuente con datos precisos y en el menor tiempo posible, de lo que desean los clientes, y no estimaciones. A su vez, la idea es que el cliente se beneficie con un conocimiento más certero de su proveedor, como pueden ser los ciclos de producción, y por ende los tiempos de reabastecimiento.

Para ejemplificar el impacto que generaría en la empresa esta medida podemos ver los dos gráficos a continuación:

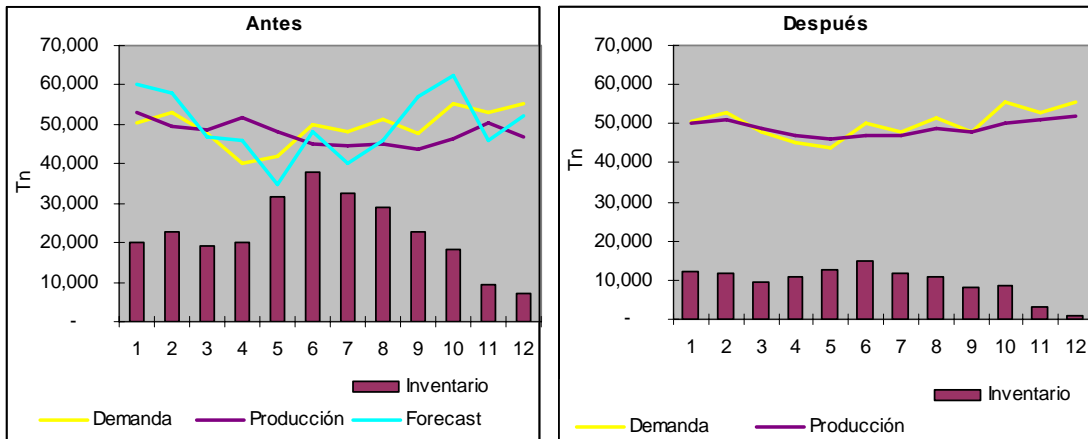


Figura 6.4-1. Acompañamiento de la demanda y la producción.

Como puede verse, se espera que la producción y la demanda se acompañen mutuamente y que las variaciones sean absorbidas por un pequeño inventario.

¿En qué consiste la idea?

Es una idea realmente fruto de un pensamiento “out of the box”. En una industrial tradicionalmente “push” como la cual en la que se desarrolla la empresa, la idea es trabajar lo más “pull” que se pueda. Para ello se desarrollaría un lugar en la actual página web de la empresa dónde los clientes, accediendo con un usuario y password, puedan ver para el producto que les interesa en qué momento se está produciendo y por cuánto tiempo, y así poder hacer los pedidos desde la página web para que sus órdenes salgan directamente desde la línea de empaquetado sin pasar por los almacenes.

¿Qué se publicaría en la página?

La misma mostraría:

- los ciclos de producción por producto (fecha y hora de inicio y fin y toneladas producidas en todo el ciclo)
- sólo el producto (toneladas / hora) que se destina como de libre disposición entre los clientes. Otra parte no se publica para que la pueda administrar el área de planning, para cubrirse de eventualidades o destinarla a reclamos particulares de clientes que serían atendidos a una tarifa diferencial.
- Tiempos de abastecimiento.

De este modo el cliente ingresa la cantidad de producto que quiere y cuándo, y así con el lead time y el calendario de producción la página le muestra las posibles horas que puede tomar. Luego, el cliente confirma y recibe la factura por correo al día siguiente.

Planta 2

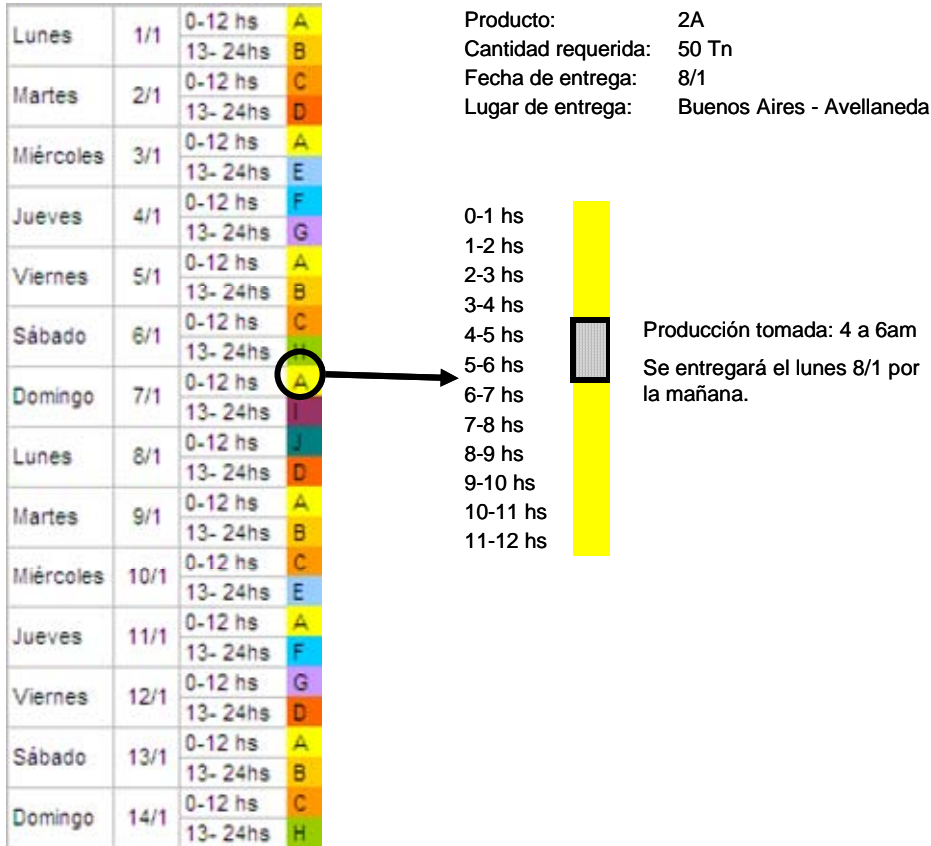


Figura 6.4-2. Vista del pedido de un cliente.

Consideraciones especiales

- Para evitar problemas crediticios, el cliente sólo pueda ingresar a la página si tiene su situación crediticia en regla.
- Los clientes no disponen de un volumen infinito para hacer las compras. Cada uno tiene un tope (una cuota) en función de su historial de compras y comportamiento crediticio. Para modificar el mismo haría falta la aprobación del vendedor, el área de créditos y el área de planning.
- Para evitar que los clientes tomen un volumen mayor al necesitado para cubrirse y luego decidan ajustarlo, se establece que el pedido en

la página web es un orden de compra no modificable, con el castigo de una multa o una reducción de su cuota disponible, de querer hacerlo.

- ¿Qué pasa si el cliente requiere el producto en un momento que no se está produciendo? En ese caso puede tomar producto del stock de seguridad, pero a un precio mayor.
- ¿Qué pasa si el cliente accede a comprar el producto en el momento que se está produciendo, pero lo requiere con un tiempo de entrega menor? Para algunos destinos hay varias opciones logísticas. La página mostraría en un principio el tiempo de abastecimiento teniendo en cuenta la opción logística más económica. De ser necesaria una entrega en el menor tiempo posible, y de estar disponible esa opción, el cliente podría requerirlo en la página web, donde se le recalcularía el tiempo de abastecimiento y se le informaría el recargo en el precio, de haberlo, ya que las opciones de menor tiempo de tránsito suelen ser más costosas.
- No todos los clientes están en condiciones de poder tomar producto desde el programa de producción. Posibles razones:
 - No cuentan con la disciplina, estructura necesaria o conocimiento de su demanda para poder planear su producción con la anticipación necesaria.
 - No cuentan con depósitos lo suficientemente grandes para almacenar el producto necesario de modo de contar con disponibilidad del mismo mientras no se está produciendo.
- Para Argentina, se eligieron 32 clientes y 3 distribuidores como los más aptos para tomar producto desde la página web. La demanda de los mismos equivale al 74% de la demanda local. Los mismos fueron elegidos en base a dos restricciones: la capacidad de sus almacenes y su capacidad de programar los pedidos con una antelación mayor a 10 días.

	Tn / año	Días promedio para entregar	% demanda	Tiene capacidad en almacenes?	Programa o puede programar con más de 10 días?
Distribuidor A	58,658	9	21%	x	x
Distribuidor B	36,920	9	13%	x	x
Distribuidor C	24,722	8	9%	x	x
Ciente 1	15,580	2	5%	x	
Ciente 2	10,016	10	4%	x	x
Ciente 3	10,012	13	4%	x	x
Ciente 4	9,480	6	3%		
Ciente 5	9,061	17	3%	x	x
...		

Tabla 6.4-5. Selección de clientes aptos para tomar producto desde la web.

De los 57 clientes restantes, 40 poseen la capacidad necesaria para almacenar producto en función de los tiempos de reposición, pero no programan con anticipación, 12 son buenos programadores pero no poseen capacidad en almacenes, y 5 no cumplen ninguna de las dos condiciones.

Dado que la empresa es el principal productor en la región, y se encuentra en un mercado con demanda "infinita", hasta que se amplíe la capacidad productiva propia y/o de la competencia, la misma posee la fortaleza para comunicar esta nueva forma de trabajo al mercado, premiando a los que se adhieran, y castigando a los que no. El premio consistiría en la bonificación de los intereses por tenencia de inventario por un año (para un inventario de 15 días), y el castigo transferir esa carga financiera al precio.

La empresa posee hoy un inventario de 25 días, y con esta propuesta esperaría reducirlo a 10. Es por ello que el "castigo" sería el equivalente a la carga financiera de tener el inventario 15 días más de lo estipulado.

La bonificación equivaldría a una reducción de USD 8.75 por tonelada (0,6% del precio). El castigo sería por el mismo valor.

Con esto se esperaría poder alinear los clientes restantes a esta nueva forma de trabajo. De todos modos, aquellos con una demanda importante y que no puedan adherirse a esta alternativa deberán ser considerados a parte.

- Para Brasil, se encontró que el 10% de la demanda no se planea con una antelación mayor a 18 días, que es el tiempo de abastecimiento teniendo en cuenta 10 días en planta y 8 de camión desde Bahía Blanca a Brasil. Por lo tanto, el 90% de la demanda iría contra programa y el resto contra stock, entregado en camión.
- En general, las plantas pueden producir del 80% al 90% de la demanda de cada una con un tiempo de reposición de hasta 10 días:

Planta	Producto	Tn / año	% prod	% acum	t rep (días)
1	1A	27,975	32%	32%	1.5
	1B	9,808	11%	43%	4.3
	1C	9,458	11%	54%	4.4
	1D	8,956	10%	64%	4.7
	1E	8,395	10%	74%	5.0
	1F	7,390	8%	82%	5.7
	1G	5,064	6%	88%	8.3

Total 1		87,511			
2	2A	21,740	28%	28%	1.8
	2B	9,233	12%	41%	4.3
	2C	8,813	12%	52%	4.5
	2D	7,673	10%	62%	5.2
	2E	6,484	8%	71%	6.1
	2F	6,291	8%	79%	6.3
	2G	6,233	8%	87%	6.4
	2H	4,630	6%	93%	8.6

	Total 2		76,422		
3	3A	39,678	35%	35%	0.7
	3B	14,250	13%	48%	2.1
	3C	8,549	8%	55%	3.5
	3D	6,975	6%	61%	4.2
	3E	6,358	6%	67%	4.6
	3F	6,296	6%	73%	4.7
	3G	3,871	3%	76%	7.6
	3H	3,139	3%	79%	9.4

Total 3		113,167			

Planta	Producto	Tn / año	% prod	% acum	t rep (días)
4	4A	49,851	21%	21%	0.8
	4B	18,142	8%	29%	2.3
	4C	17,430	7%	36%	2.4
	4D	12,668	5%	41%	3.3
	4E	12,398	5%	46%	3.3
	4F	12,171	5%	52%	3.4
	4G	10,646	4%	56%	3.9
	4H	10,615	4%	61%	3.9
	4I	9,114	4%	64%	4.5
	4J	8,792	4%	68%	4.7
	4K	8,705	4%	72%	4.8
	4L	7,631	3%	75%	5.4
	4M	6,608	3%	78%	6.3
	4N	5,659	2%	80%	7.3
	4O	5,512	2%	82%	7.5
	4P	5,374	2%	85%	7.7
	4Q	4,631	2%	87%	8.9
4R	4,433	2%	88%	9.3	
...	
Total 4		237,756			

Tabla 6.4-6. Producción por planta.

Cada planta tiene un producto principal que abarca del 21% al 35% de su producción, y un tiempo de reposición de 0.7 a 1.8 días. También, se puede apreciar que del 70% al 75% de la producción tiene un tiempo de reposición de hasta 5 días.

- La demanda es programada en un 30% con un tiempo de entrega de hasta 5 días, el siguiente 30% con un tiempo de 6 a 13 días, y 40% restante de 14 días en adelante. Si el 52% de la demanda requiere un tiempo de abastecimiento menor a 10 días, y las plantas pueden en ese tiempo producir aproximadamente el 90% de la producción, es de esperar que esta medida no impacte seriamente en el nivel de servicio a los clientes.
- Los clientes podrían visualizar la producción de 0 a 24 hs. Sin embargo, se utilizarían las horas donde no se despacha (10pm a 4am) para la producción destinada a stock o con planeamiento a cargo de Petroplímeros. Con esto se evitaría en gran medida hacer que el producto espere la llegada del camión o el tren a la planta.

Costo: USD 2.160.000

Ahorro: USD 6.800.000

Tiempo implementación: 1 año

6.5. Business Case - Alternativa final

Según el apartado anterior, la alternativa final se compone de 5 propuestas de mejora.

Propuesta	Costo USD	Ahorro USD	Tiempo de implementación
Transformar el depósito de Dock Sud en una estación de transferencia	160.000	530.000	3 meses
Hacer docs de expo mientras el producto va en el tren a Buenos Aires	3.000	177.000	3 meses
Aumentar la cantidad de pallets por camión / Aumentar la cantidad de producto por bolsa/pallet	550.000	3.300.000	6 meses
Invertir en instrumentos de medición que permitan saber el producto en el reactor "on line"	270.000 luego (20.000/año)	11.136.000	6 meses
Publicar el cronograma de producción en una página web y vender horas de reactor	2.160.000	6.800.000	1 año

Tabla 6.5-1. Propuestas finales.

La mismas pueden complementarse, pero no implementarse todas juntas. Por lo tanto, para ver el tiempo total de la implementación se hará un Gant de la misma, teniendo en cuenta los recursos con los que se cuentan, y las propuestas que pueden superponerse y las que no.

- **Gant implementación**

Dado que existen restricciones de recursos, como las horas disponibles de cada área para asignar a los proyectos, o de simultaneidad en las implementaciones, y a la vez se está buscando maximizar el valor actual neto al día de hoy, a través de una cartera de proyectos de distintas duraciones, hallar la secuencia óptima de implementación no es tarea sencilla.

Se puede, por ejemplo, intentar resolver este problema utilizando programación lineal. Para ello habría que expresar la ecuación del objetivo a maximizar, y las ecuaciones de las restricciones (ver Anexo III "Hallando Gant óptimo de implementación con programación lineal").

El problema es que de querer escribir todas estas ecuaciones para ingresarlas en un software capaz de hallar la solución óptima (por ejemplo, "LINDO"), se deberían ingresar miles de ecuaciones, (4.439) con todo el trabajo posterior de "debugueo" o compilación del programa. Al ser este el trabajo de una persona con restricciones de recursos (como el tiempo), se intentará hallar el plan de implementación óptimo a través de otro método.

Se podría entonces, ver cuál es el VAN resultante de implementar todos los proyectos a la vez, sin ninguna restricción (que resultaría ser el máximo), y el resultante de hacer la peor implementación (todos en serie comenzando con los de menor VAN y terminando con el de mayor). Luego, teniendo en cuenta las restricciones, plantear un par de alternativas y ver cuánto se diferencian.

	VAN (miles USD)	Período de repago	TIR
Todos en serie	12.904	13 meses	30%
Alternativa 1	14.225	6 meses	49%
Alternativa 2	14.089	6 meses	58%
Todos en paralelo	14.840	7 meses	27%

Tabla 6.5-2. VAN, TIR y período de repago para distintas alternativas de implementación.

Como se puede ver, la diferencia entre el VAN de la peor alternativa y la mejor es del 13%. Por lo tanto, la implementación óptima se encuentra dentro de ese rango.

Para la determinación de las alternativas 1 y 2 (ver filmina 13 "Gant de la implementación de las distintas alternativas") se utilizaron dos criterios distintos. Para la primera, se trató de implementar primero los proyectos más cortos, de modo de contar con ingresos cuanto antes. Para la segunda, se trató de implementar primero los proyectos de mayor VAN, y así tener los mayores ingresos lo más cerca posible del momento "0". Finalmente, vemos que la diferencia entre el VAN de una y el de la otra es de tan sólo el 1%. Sin embargo, la alternativa 2, que es la que tomaremos como definitiva, cuenta con una TIR mucho más interesante, que en la práctica significa una inversión inicial menor en comparación con la alternativa 1.

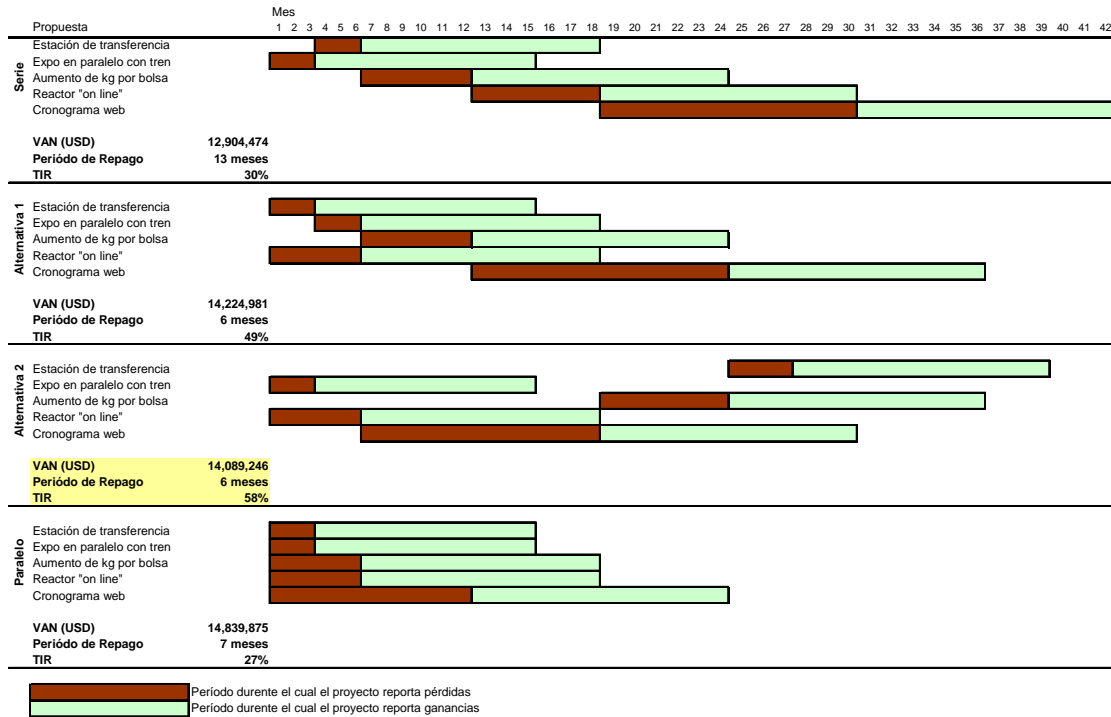


Figura 6.5-1. Gant de las distintas implementaciones.

7. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA FINAL

7.1. Simulación de la propuesta final en ARENA

Ahora que se conoce la propuesta final, es hora de ver cuál es el impacto de la misma en el sistema (a través de los indicadores cuantitativos que se determinaron anteriormente). Para ello, se deberá modificar le modelo inicial de ARENA para que refleje las propuestas de mejora que se han hecho.

Modificaciones al modelo:

Transformar el depósito de Dock Sud en una estación de transferencia

- Ordenes que antes iban contra BA ahora van directamente contra BB, con una nueva secuencia de transporte (tren+camión o tren+camión+barco)

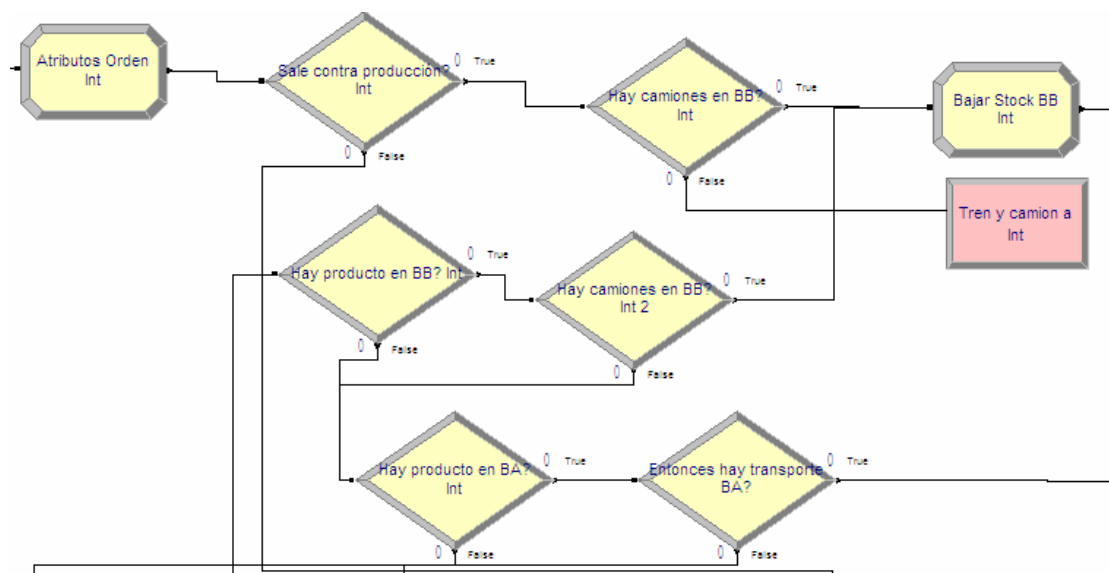


Figura 7.1-1. Lógica en ARENA de la distribución a clientes del Interior.

- El armado del tren no sólo va a tener en cuenta el stock objetivo en Dock Sud. También van a ingresar las órdenes que incluyan un tramo ferroviario a Buenos Aires

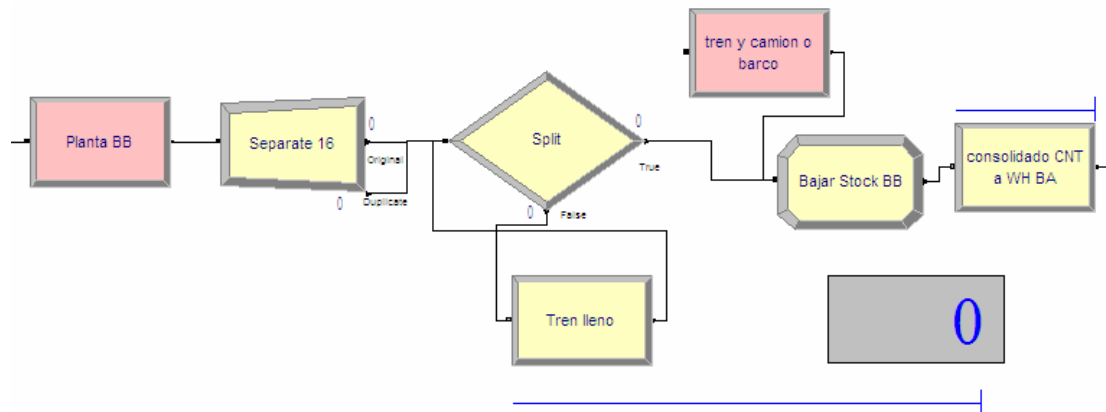


Figura 7.1-2. Lógica en ARENA del armado del tren a Buenos Aires.

**Hacer docs de expo mientras el producto va en el tren a Buenos Aires
Idem anterior para expos a Brasil**

- Transit time:
 - Tren + camión de 13 a 9 días
 - Tren + buque de 14 a 10 días
- El mix de camiones a Brasil pasa de:
 - 17% BB / 4% BA a 11% BB / 10% BA

Aumentar la cantidad de pallets por camión / Aumentar la cantidad de producto por bolsa/pallet

- Disminuye la cantidad de CNT con que se dimensionó la demanda del modelo en un 7,1%. Lo mismo para la producción.

Invertir en instrumentos de medición que permitan saber el producto en el reactor “on line”

- Al contar con menos producto fuera de spec, y más “Premium”, se ve afectada favorablemente la capacidad productiva.
- No modifica el modelo de Arena ya que el off grade estaba fuera del mismo.

Publicar el cronograma de producción en una página web y vender horas de reactor

- Se disminuye la variabilidad en la producción.

- Las órdenes se colocan siempre primero contra BB, y luego contra stock en BB o BA.

Observación: llevar la cadena de abastecimientos a trabajar un poco más en “pull” aumenta el grado de complejidad de la misma. ¿Cómo podemos ver eso? Por ejemplo, el modelo de ARENA inicial cuenta con 813 elementos (entre módulos, conexiones, variables, recursos, etc), mientras que el modelo final cuenta con 917 (un 13% más).

7.1.1. Resultados obtenidos

Según el modelo, la performance proyectada para los indicadores cuantitativos es:

	GBA	Interior	Brasil
% Entregas On Time	79%	69%	82%

Tabla 7.1.1-1. Entregas a tiempo.

- Costo de la cadena de Distribución

	GBA	Interior	Brasil
Bahía Blanca	3,044,796	2,957,982	5,576,448
Buenos Aires	1,781,233	549,131	10,826,215
Total	4,826,029	3,507,114	16,402,663

Tabla 7.1.1-2. Costo total de la cadena de distribución por origen y destino.

- Nivel de Inventarios (en Toneladas)

	Min	Promedio	Máx	Desv. Estándar
Bahía Blanca	2,016	6,496	8,820	1,008
Buenos Aires	0	3,207	3,780	672

Tabla 7.1.1-3. Nivel de inventarios.

- Capital Inmovilizado (Stocks en Miles de USD)

	Miles USD
Bahía Blanca	11,799,636
Buenos Aires	5,826,336
Total	17,625,972

Tabla 7.1.1-4. Capital Inmovilizado.

7.1.2. Comparación entre la situación inicial y la proyectada

- Entregas a tiempo

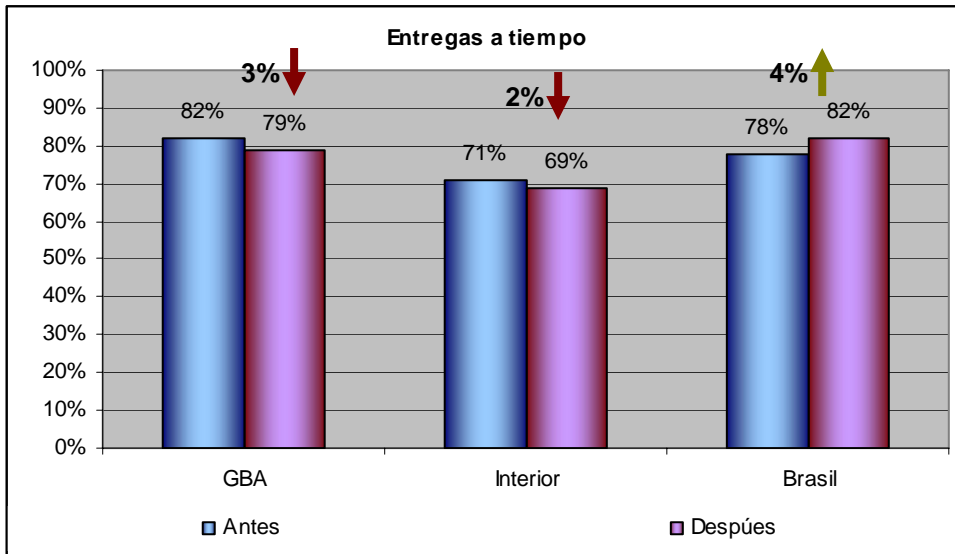


Figura 7.1.2-1. Comparación de entregas a tiempo.

- Costo total de la cadena de Distribución

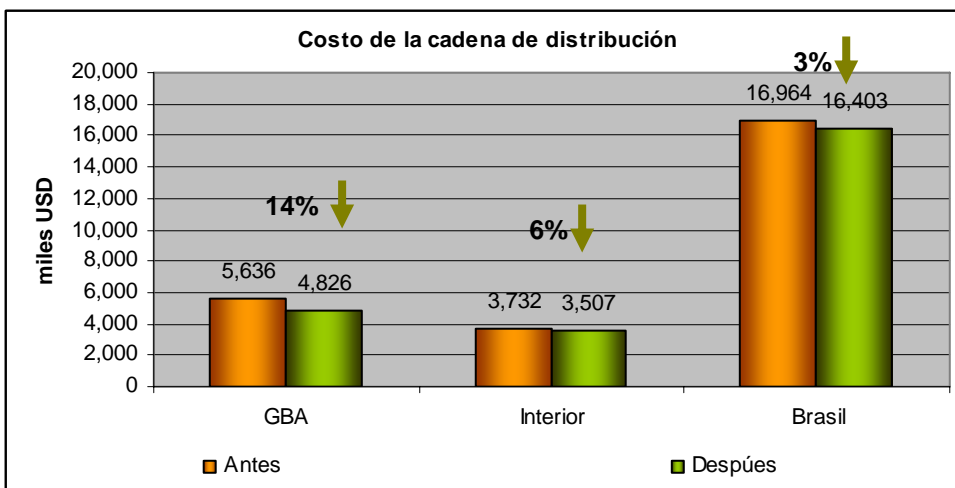


Figura 7.1.2-2. Comparación del costo total de las cadenas de distribución.

- Nivel de Inventarios (en Toneladas)

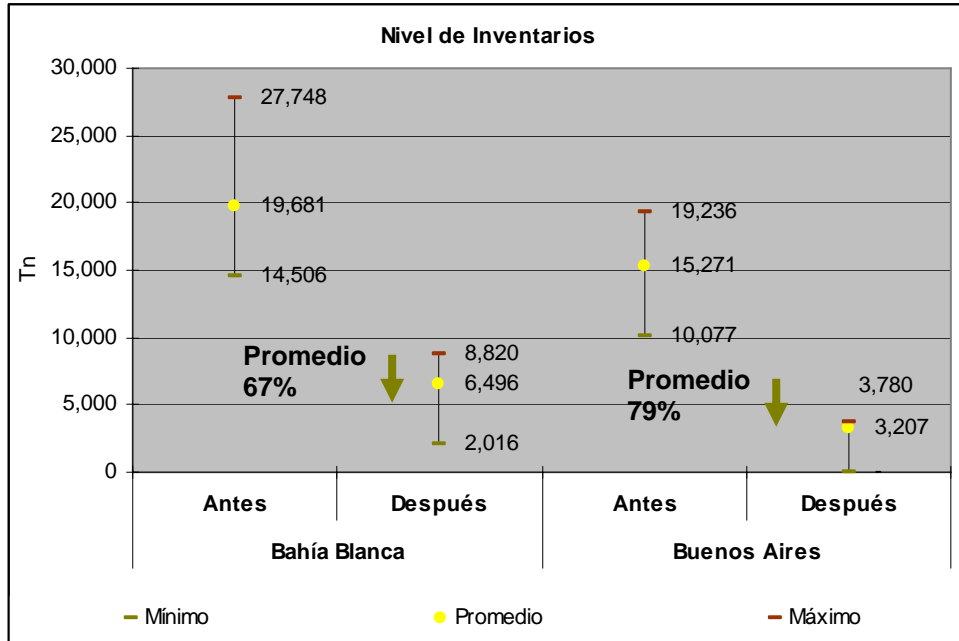


Figura 7.1.2-3. Comparación del nivel de Inventarios.

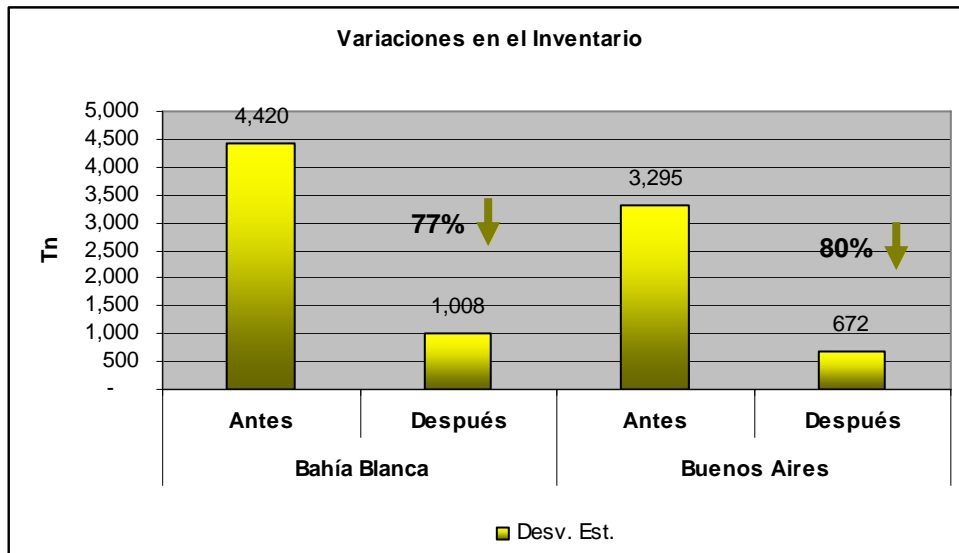


Figura 7.1.2-4. Comparación de las variaciones en el Inventario.

- Capital Inmovilizado (Stocks en Miles de USD)

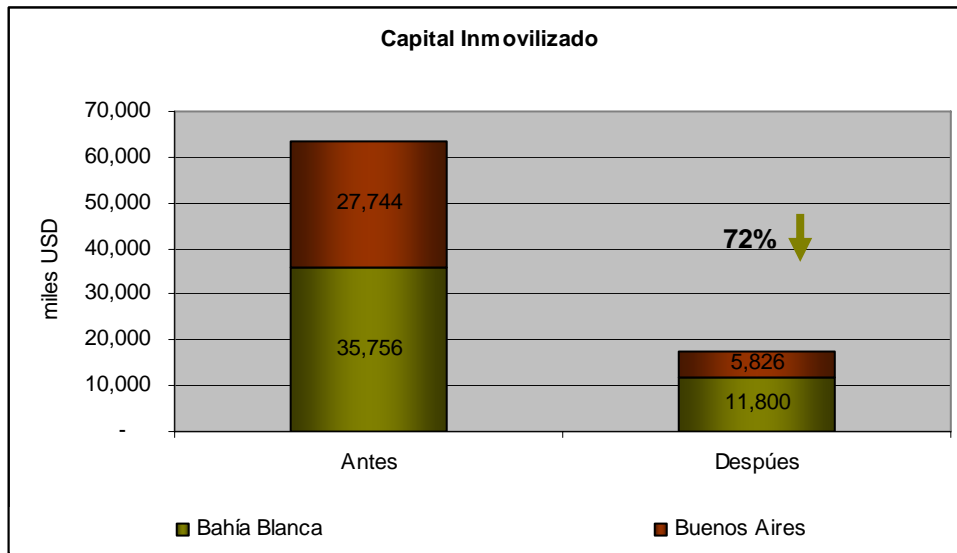


Figura 7.1.2-5. Comparación del Capital inmovilizado.

7.2. Conclusión

La performance de la cadena de abastecimientos se vería mejorada en:

- *Entregas a tiempo a Brasil*

Al balancear el mix de despachos en camiones casi en un 50% y 50% entre Bahía Blanca y Buenos Aires, se aprovecha más la capacidad ociosa del segundo. Inicialmente salían de Bahía Blanca el 80% de los despachos rodoviaros.

- *Costo total de la cadena de distribución*

La menor utilización del depósito externo en Buenos Aires, el mayor uso de cadenas más económicas y el mayor aprovechamiento de la capacidad de transporte y almacenaje impactan muy positivamente en la reducción de costos de la cadena.

- *Niveles de inventarios tanto en Bahía Blanca como en Buenos Aires*

- *Variaciones en los inventarios de Bahía Blanca y Buenos Aires*

La variación en el depósito de Buenos Aires se ve más reducida que la de Bahía Blanca ya que el inventario en Dock Sud es meramente operativo, y además la nueva red apunta más a Bahía Blanca como primer punto de despacho, con lo que su inventario es el más expuesto a las variaciones de la demanda o la planta.

De todos modos, no creemos que la reducción de la variación sea tanta como pronostica el modelo. Antes el inventario funcionaba como “fuelle” entre dos fuerzas: Producción y Demanda.

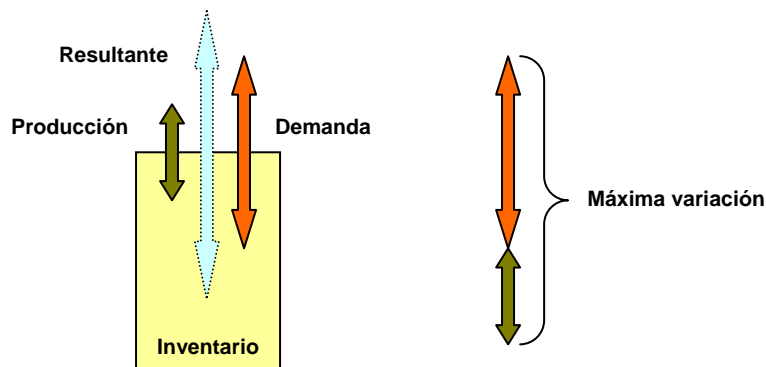


Figura 7.2-1. Inventario como fuelle entre producción y demanda.

Y ahora, al vender contra producción, si bien se vería menos expuesto directamente a las variaciones en la producción, éstas impactarían en la demanda, la cual aplicaría su efecto “multiplicador” sobre el mismo.

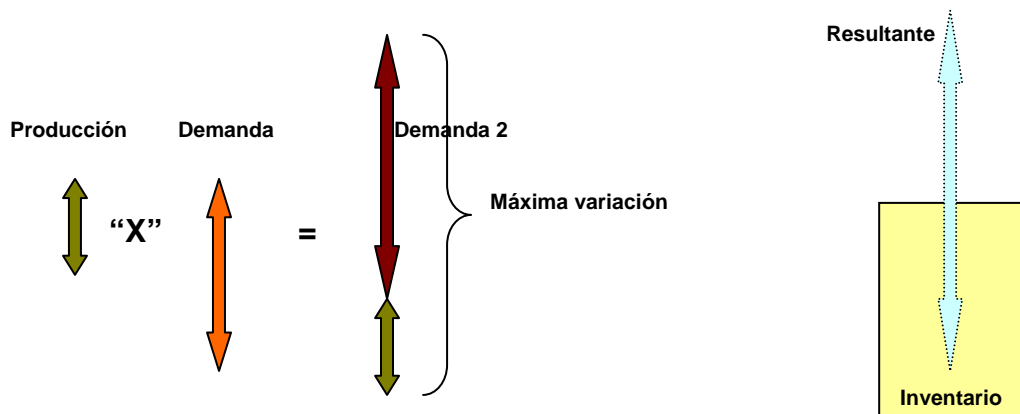


Figura 7.2-2. Inventario afectado por las variaciones de la demanda.

Aun así, aclaramos que las variaciones de inventario sí se verían reducidas ya que:

- Contamos con inventarios menores
- Sólo el 20% de las ventas irían contra inventario

Los esquemas no deben ser comparados en escala. Lo que los mismos están tratando de mostrar es un efecto que no fue tenido en cuenta a la hora de la modelización (como se aclaró en uno de los supuestos del modelo, el mismo no es “inteligente” ni tiene memoria, con lo cual no contemplaba el efecto multiplicador de las variaciones en la demanda frente a la producción, conducta que se estima inteligente, subjetiva y difícil de cuantificar).

- *Capital inmovilizado en ambos puntos de despacho*

Y afectada en:

- *Entregas a tiempo en Argentina, tanto para GBA como Interior*

Al aumentar los despachos a Brasil desde Buenos Aires se satura el tren con contenedores para Brasil. Esto desplaza los despachos a GBA a Bahía Blanca, con lo cual también se satura la disponibilidad de camiones de ésta. Quizá negociando una mayor disponibilidad en el tren podría revertirse esto. O aumentando las tarifas de los camiones, se podría aumentar su disponibilidad.

Es decir que, en líneas generales, se podría lograr el objetivo y reducir el costo de la cadena de abastecimientos en un 15%, generando ahorros por USD 17.325.000 en un período de 39 meses. Si se toma el costo para la cadena para el mismo lapso de tiempo sin haber llevado a cabo ninguna mejora se obtiene el punto de comparación: USD115.000.000. Y además, no sólo no se vería afectada la performance general de la cadena, sino que mejoraría notablemente en costos, inventarios y variaciones del mismo.

8. CONCLUSIÓN FINAL

Si bien el problema a resolver era una reducción de costos total de la cadena de distribución en 10 años, aquí se ha presentado una reducción del 15% en 39 meses.

La reducción se ha compuesto por un 5%, en promedio, para los costos de distribución, y un 72% en inventarios, con su respectivo costo de capital.

¿Cómo se haría esto? Si se miran las causas raíces, se aprecia que muchas son restricciones en el sistema, y otras, variaciones.

Restricciones:

- Limitaciones en IT y procedimientos en exportaciones a Brasil.
- Red actual diseñada para exportar mayormente desde el puerto de Buenos Aires y en camión desde Bahía Blanca.
- Ciclos de producción largos ya que las transiciones entre productos generan producto fuera de especificación.

Variaciones:

- Variaciones en la Demanda, un pronóstico de ventas inexacto y una mala comunicación.

Por otro lado las propuestas de mejora están orientadas a aumentar la flexibilidad y conectar la demanda con la producción. También se trataría de mejorar el aprovechamiento de la capacidad existente.

- Estación de transferencia en Buenos Aires en lugar de un depósito.
- Operaciones en paralelo
- Mayor flexibilidad en la producción a través de un tiempo de respuesta menor.
- Bolsas con más producto.
- Ventas contra programa de producción vía Internet.

Estas propuestas modificarían la forma de trabajo a lo largo de toda la cadena de abastecimientos. El diseño inicial empujaba la producción a los almacenes en función de una demanda estimada. La alternativa final propone “escuchar” la demanda desde su fuente, y que ésta luego “tire” del producto

que sale de las plantas a través de una cadena logística compleja, pero sin paradas hacia el cliente.

Puede verse como la forma de trabajo se movería de “push” hacia una en “pull”. Y también se aprecia cómo el área más afectada por el cambio sería la comercial, luego logística y finalmente las plantas. El área Comercial vería un cambio de 180° en su forma de trabajar. Dejaría de salir a vender o “levantar pedidos” y estimar el volumen mensual de cada cliente, para aportar su conocimiento de los mismos a la hora de asignarles una cuota de horas reactor máxima que pueden comprar al mes. Logística seguiría moviendo producto desde las plantas a los clientes, pero con menos paradas intermedias o más breves. Y las plantas seguirían produciendo según su modelo de costos, rendimientos y ciclos de producción óptimos. Aunque con un rendimiento mayor, por la detección más temprana de off grade.

Por último, los elementos sobre los que trabajaríamos serían: Inventarios, tecnología en planta, complejidad y aprovechamiento de la cadena de distribución y tecnología en la comercialización.

8.1. Posible modelo de análisis para determinar el grado óptimo de push o pull en una cadena de abastecimientos

Viendo los cambios propuestos a la red, las áreas afectadas y la respuesta que se esperaría obtener del sistema, surgen algunas preguntas:

1. ¿Qué relación hay entre el “pull”, el “push”, las alternativas propuestas, las áreas afectadas y el costo final de la cadena de abastecimientos?
2. ¿El cambio entre la situación inicial y la propuesta es discreto o continuo?
3. ¿Hay una tendencia en la dirección de las propuestas de mejora?
4. ¿Por qué se detuvieron?

En este “epílogo” del trabajo, ya habiendo cumplido el objetivo, se intentará responder estas preguntas o al menos reflejar algo de lo que se ha aprendido de este caso práctico.

Migración de push a pull según el área de la cadena

¿Por qué el área más afectada fue la Comercial? ¿Y por qué las menos, fueron las plantas? La respuesta está quizá, en que el cambio comienza primero por las áreas más pequeñas y flexibles, y se va frenando a medida que nos acercamos a las áreas más pobladas, con activos más tangibles y

“fierros” más costosos (un reactor cuesta unos cuantos millones de dólares y no se modifica cada 2 años).

Esto se podría graficar de la siguiente manera:



Figura 8.1-1. Tendencia de migración de push a pull según el área.

¿En el caso analizado, hubo un cambio en este aspecto entre la situación inicial y la propuesta final?

- **Producción:** Se optimizaron las transiciones y la producción de producto fuera de especificación. Pero se sigue produciendo según un plan que busca optimizar los ciclos de producción. Inicialmente se encontraba en “push”, y así lo haría al final.
- **Distribución:** Originalmente la producción era empujada hacia los almacenes, lo que es una forma de trabajo “push”. Especialmente, el hecho de llevar producto a Buenos Aires, cerca de los clientes, a la espera del ingreso de las órdenes. Por otro lado, la alternativa final transformaría el depósito de Buenos Aires en una estación de transferencia entre los trenes y los camiones. Y plantea un inventario del 20% para absorber variaciones y casos especiales. La nueva red tendría el mismo trazado que la original, pero ahora la demanda “tiraría” de las distintas opciones de transporte desde Bahía Blanca, viéndolas como un todo.
- **Comercialización:** Es difícil determinar si la empresa inicialmente tenía un esquema “push” o “pull” para las ventas. Por un lado, la empresa tiene productos a medida para algunos clientes. Pero por el otro, se tratan de cumplir cuotas mensuales de venta manejando precios o descuentos diferenciales. Si se le suma que la estrategia de venta se basa en un acercamiento del vendedor al cliente, y no del mismo a la empresa, se podría tomar la situación inicial como de “push”. La situación propuesta, donde el vendedor es más bien un analista del perfil y el riesgo del cliente, y el mismo es el que toma

planta desde el programa de producción, indica que se estaría trabajando en “pull”.

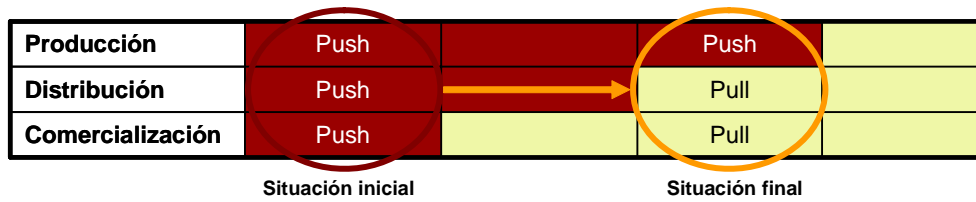


Figura 8.1-2. Migración de push a pull entre la situación inicial y la propuesta.

Aquí se puede ver cómo la dirección del cambio sería de “push” a “pull”, deteniéndose en el área menos propensa al cambio, en el caso de estudio: Producción.

Comportamiento de las variables principales

El objetivo de este trabajo ha sido reducir los costos en una cadena de abastecimientos actuando sobre los principales causantes: inventarios, transporte, movimientos y retrabajos.

Como se mencionó antes, ello llevó a trabajar en: Inventarios, tecnología en planta, complejidad y aprovechamiento de la cadena de distribución y tecnología en la comercialización.

A continuación se ve como evolucionaron las tres primeras entre la situación inicial y la final.

Inventarios

Los mismos se reducirían un 72%. EL 28% restante sería para absorber el 20% de pedidos urgentes que actualmente hay, y satisfacer la demanda de aquellos clientes que todavía no puedan tomar producto desde el programa de producción. También, se contaría con un inventario mínimo para las variaciones en la producción. Es decir, se reducirían los inventarios todo lo que los clientes, y las variaciones en la demanda y la producción lo permitan. Esto traducido a dinero, significa que hay plata en los depósitos para evitar perder más plata por ventas perdidas o insatisfacción de los clientes, y dar el servicio acordado con los mismos.

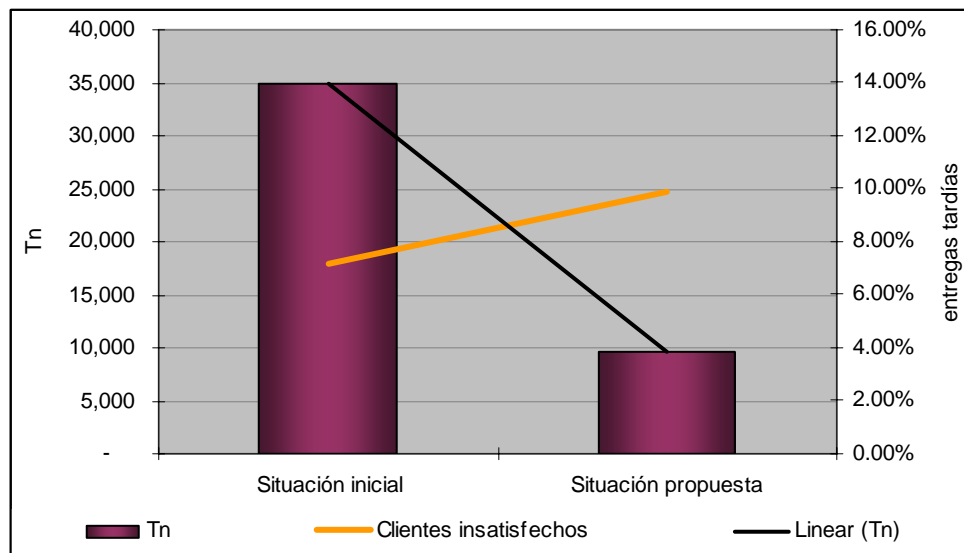


Figura 8.1-3. Reducción de inventarios vs Servicio al cliente.

Las pérdidas por ventas no realizadas podrían ir aumentando a medida que disminuye el inventario, ya que se aumentaría el grado de exposición de los clientes.

Costos distribución

Los mismos se reducirían un 5% a través de la mayor utilización de modalidades más económicas, y menos movimientos al pasar menos veces por los almacenes. Lo que impediría reducirlos aún más serían las limitaciones en la capacidad de la red. Por ejemplo, en teoría es más económico entregar a los clientes de GBA con camión directo desde Bahía Blanca en lugar de tren a Buenos Aires y luego camión. Pero dado que no daría abasto la capacidad de camiones desde Bahía Blanca es que se utiliza esta modalidad más costosa. De querer salvar esta restricción se debería pagar una tarifa mucho mayor o desarrollar proveedores, lo cual también tiene un costo.

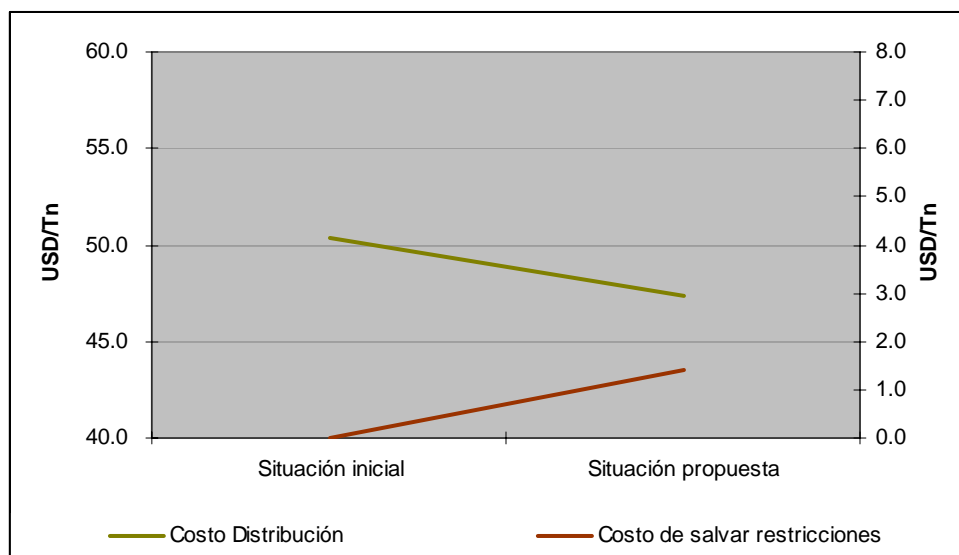


Figura 8.1-4. Reducción Costo Distribución vs Costo de salvar restricciones.

Como se muestra en este trabajo, ajustar la distribución para trabajar más en pull requiere de operaciones más complejas (como pasar algunas tareas de serie a paralelo). Salvar restricciones logísticas a medida que la operación se vuelve más compleja puede resultar más costoso. Es por ello que la curva de costos de restricciones aumenta en la migración de push a pull. Por ejemplo, mientras más se diversifican los productos, también ocurre lo mismo, en mayor o menor medida, con el transporte o los almacenes. O también, mientras se trata de trabajar más “just in time”, como puede ser la coordinación de una operación de tren + camión sin almacenaje, se requiere de proveedores más serios, y por lo tanto, más costosos.

Costo de producción

La reducción lograda en este trabajo se basa en una menor producción de producto fuera de especificación, gracias a la inversión en tecnología. El 55% de las ganancias en este proyecto vendrían de esta iniciativa. Lo que podría significar que salvar una restricción en las áreas más “rígidas” es lo que nos podría dar la oportunidad de lograr las mayores ganancias.

El costo de producción en este caso es del 30% del precio ponderado de venta. Si se toman todas las toneladas vendidas por año, y se dividen por las mismas el ahorro de esta alternativa, se ve que se reduciría el costo de producción en un 3.2%.

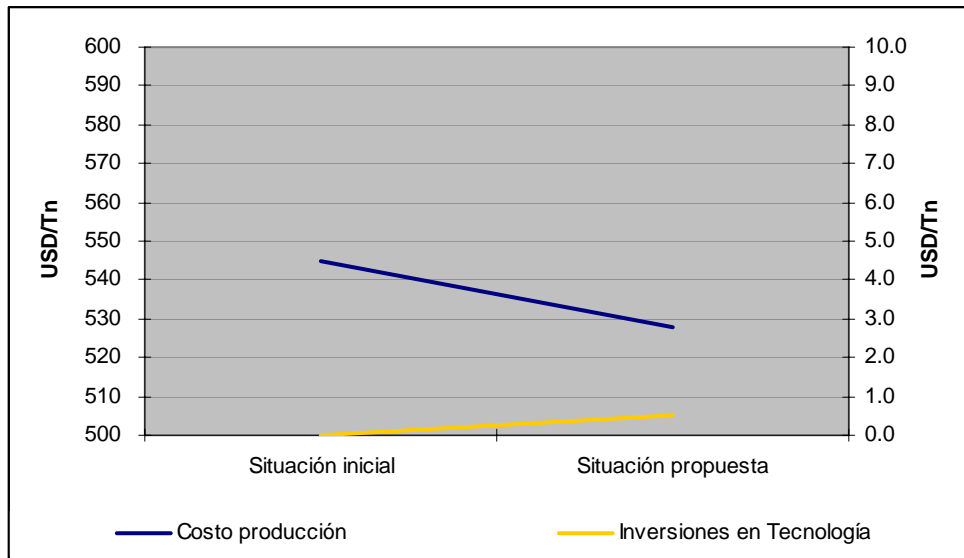


Figura 8.1-5. Reducción Costo Producción vs Inversiones en tecnología.

De querer reducir aún más el mismo el cambio tecnológico debería ser mayor, y por ende, más costoso. Incluso se debería pensar en un salto en las inversiones, ya que los cambios en la tecnología de producción son más discretos que continuos. Esta mejora se ha manejado dentro del espectro continuo.

Resumen final

Hasta aquí se ha mostrado la migración de push a pull según las áreas, y el comportamiento de los elementos principales de la cadena de abastecimientos por separado. ¿Pero qué es lo que se ve al analizarlos todos juntos?

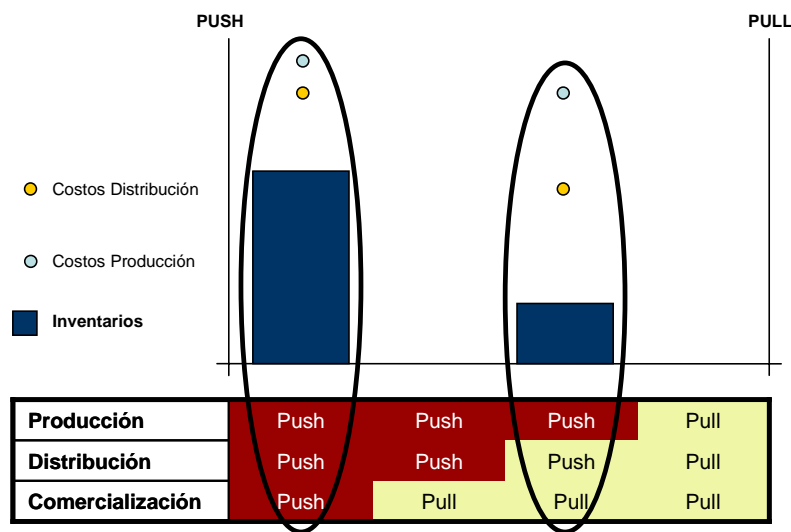


Figura 8.1-6. Situación inicial vs Situación propuesta.

Se ve la mejora para los tres elementos analizados, y el mix entre push y pull al que corresponden.

¿Si se toman los puntos de la situación inicial, y los de la propuesta, y con ellos se construyen las curvas de tendencia, podría inferirse el comportamiento de los inventarios, los costos de producción y distribución para las otras configuraciones?

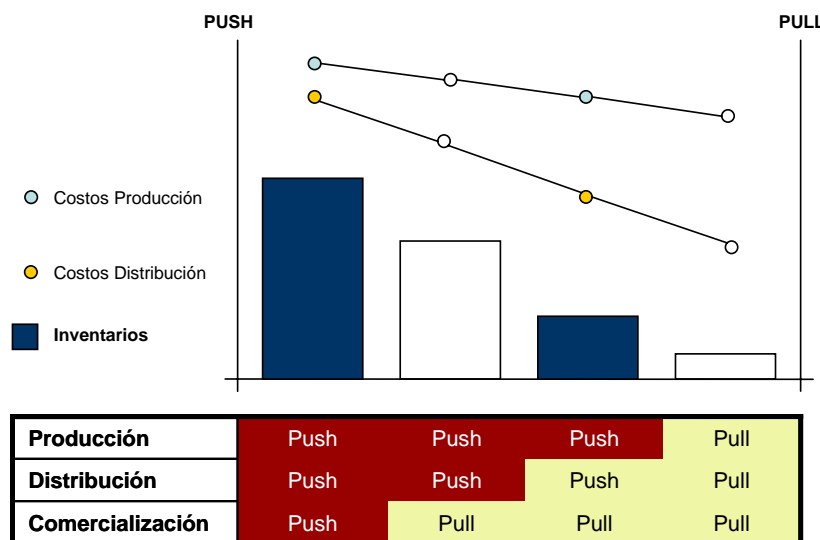


Figura 8.1-7. Inferencia del comportamiento de la cadena para las otras configuraciones.

Tener una producción y distribución en push, y una comercialización en pull, puede ayudar a disminuir los inventarios mejorando el planeamiento de

la producción a través de un mejor conocimiento de la demanda. Los costos de distribución podrían disminuir ya que al mejorar el planeamiento, se podría tener producto en los puntos de stock más convenientes para entregar a los clientes con mayor precisión. A su vez, un mejor conocimiento de la demanda podría disminuir la cantidad de productos con riesgo de obsolescencia.

Luego, tener las tres áreas trabajando en pull es muy probable que cause una disminución significativa del inventario. Los costos de distribución podrían disminuir por un almacenamiento menor en volumen y días, dada la mayor rotación del inventario. Finalmente, la producción en pull podría tener un costo menor que en push, siempre y cuando la tecnología acompañe dicho cambio.

¿Significa esto que la mejor propuesta de mejora debería haber considerado el pull en las tres áreas analizadas? Para poder responder esta pregunta, y continuar con el análisis, se presenta el comportamiento de las restricciones, y su inferencia para las otras configuraciones:

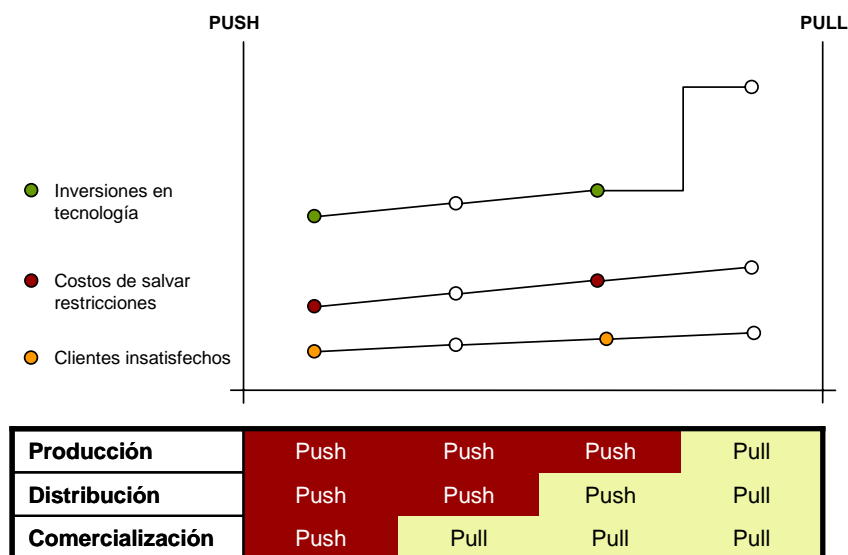


Figura 8.1-8. Inferencia del comportamiento de la cadena para las otras configuraciones.

La primer situación inferida, sólo con la comercialización en pull, podría ver un aumento de la insatisfacción de los clientes por un aumento del tiempo de abastecimiento o un cambio en las condiciones de venta. Cuando se comercializa en push el producto es casi “empujado” al cliente y las condiciones de pago suelen ir a favor del mismo. Al comercializar en pull, las condiciones de venta (especialmente los días de crédito) suelen ser menos tentadoras, ya que no urge tanto “colocar” el producto. A su vez, para poder planear la producción en sintonía con la demanda, y no a través de un forecast mensual, se requiere una tecnología que haría necesaria una inversión en el área de planeamiento (como la página web). Por último, una

logística diseñada para mover flujos acorde a la producción, que en este caso es más estable que la demanda, podría encontrar restricciones en la disponibilidad de camiones en los picos de pedidos. En esos casos, conseguir los medios de transporte puede resultar un poco más costoso, con lo que aumentaría el costo por salvar restricciones.

La última alternativa, con las tres áreas en pull, presenta el hecho que para el área de producción el cambio de push a pull no se produce dentro de un espectro continuo de inversiones, sino que requeriría un salto “cuántico”. El mismo, como ya se mencionó con anterioridad, se debe a la naturaleza de la tecnología utilizada en esta industria de commodities. Respecto a la satisfacción de los clientes, es probable que encuentren que el tiempo de abastecimiento es un poco mayor, ya que el producto no se encontraría “esperando” por ellos en el depósito más cercano a su localidad, sino que saldría directo desde la línea de producción en una fecha acordada, que en el caso de urgencias, puede no ser la deseada (el cliente puede requerir un producto todavía no producido y agotado en el stock de seguridad). Finalmente, mantener el alineamiento entre la planta y los clientes sin ser el cuello de botella, puede causarle a logística algunos extra costos para asegurarse capacidad.

En conclusión, está claro que la dirección de las alternativas de mejora se dirige del push al pull, y detuvo su movimiento en las áreas que presentaron restricciones más costosas que los beneficios que se pueden obtener de trabajar en pull.

Esto no significa que las plantas no deban trabajar en pull, sino que para la red y tecnología actual, la mejor configuración, no lo contempla.

A lo largo de este trabajo, se planteó el problema de los costos de distribución y la tenencia de inventarios, luego se buscaron las causas raíces, se plantearon propuestas de mejoras y se las validó con simulación. Con esto, no sólo se encontró una manera de disminuir el costo de la cadena de abastecimientos en un 15% en casi 3 años, sino que también se habría encontrado el punto óptimo de composición entre push y pull para las diferentes áreas en la configuración actual de la cadena de abastecimientos.

Esto convertiría a la propuesta de mejora presente, no en una propuesta de mejora, sino en la mejor propuesta de mejora para la cadena actual.

Propuesta

Por lo tanto, el aporte de este trabajo al mundo de conocimiento de la ingeniería es este modelo. El mismo, en función de la capacidad de cada área en la cadena de abastecimientos, de trabajar en push o pull, y de la

evolución de los principales motores de costos propone que existe un punto óptimo en el mix entre push y pull en que se debe trabajar.

Las curvas presentadas en el gráfico son propias de la industria analizada en este caso. No quieren ser generales, pero sí dan una idea conceptual que podría extrapolarse a otras industrias.

Por lo tanto, lo que se propone es que las empresas interesadas en hallar su forma óptima de trabajo para satisfacer la demanda, hagan este mismo análisis. Podrán así aprovechar el máximo potencial de cada área, y entender aquellas menos flexibles al cambio.

Anexo I

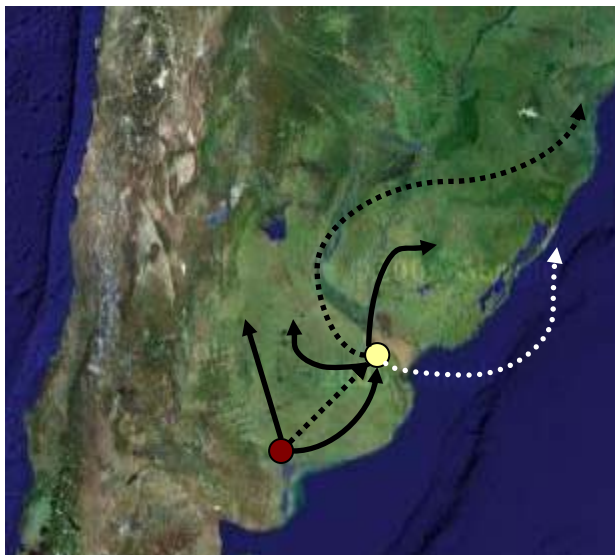
Modelización en Arena

I.a Modelo conceptual

El modelo se construye sobre la red de distribución con sus puntos de salida, nodos y puntos de llegada, la lógica de los flujos a través de ella, las eventualidades que pueden ocurrir (con sus probabilidades de ocurrencia), las características de la demanda, de la producción y los tipos de órdenes.

Red de transporte

Un esquema de la misma se muestra en la figura a continuación:



Las líneas continuas representan los flujos en camiones, las intermitentes oscuras los flujos en tren y las intermitentes clara los marítimos.

La configuración de los arcos depende de si son flujos continuos, como el de los camiones, o intermitentes, como los ferroviarios y marítimos, lo cual genera colas o stocks intermedios. También del hecho de que puede haber varios operadores para algunos arcos y uno sólo para otros.

La utilización de los arcos también depende de la capacidad de carga de las distintas modalidades de transporte.

También se debe tener en cuenta que algunos arcos pueden no estar disponibles ante eventualidades como piquetes. Las cosechas, cerca de los puntos de despacho, suelen generar falta de transporte, y también esto deberá ser tenido en cuenta.

Nodos

El punto de salida es el conjunto de plantas en Bahía Blanca (que para simplificación del modelo se tomará como una sola), de la cual interesa la

capacidad de producción, el espacio en los depósitos a la salida de la línea y la disponibilidad de materia prima.

Del warehouse de Dock Sud interesa el throughput y la capacidad de almacenamiento.

Demanda

La demanda total es casi constante a lo largo del año. Sin embargo, observando los distintos países por separado se encuentra que presentan cierta estacionalidad que compensan uno con otro.

En esta industria la demanda crece de manera constante a un 5% anual desde hace más de 20 años, y se espera que siga así. Por lo tanto, la misma, en vistas generales, no presenta grandes problemas para su simulación.

Ordenes

Es la entidad principal en el modelo. La misma contiene la siguiente información:

1. Cliente. *Esta información incluye los datos del cliente como lugar de entrega.*
2. Producto. *Simulamos un único producto.*
3. Cantidad. *Como se comercializa el producto en contenedores de 40', el módulo son las 25 toneladas que pesa cada uno de ellos.*
4. Fecha de entrega. *Se carga en la orden la acordada con el cliente, y el sistema agrega la definitiva en función de la disponibilidad de producto, transporte y otros factores que pueden afectar el cumplimiento de la misma.*

La vida de una orden a lo largo del sistema sería como sigue:

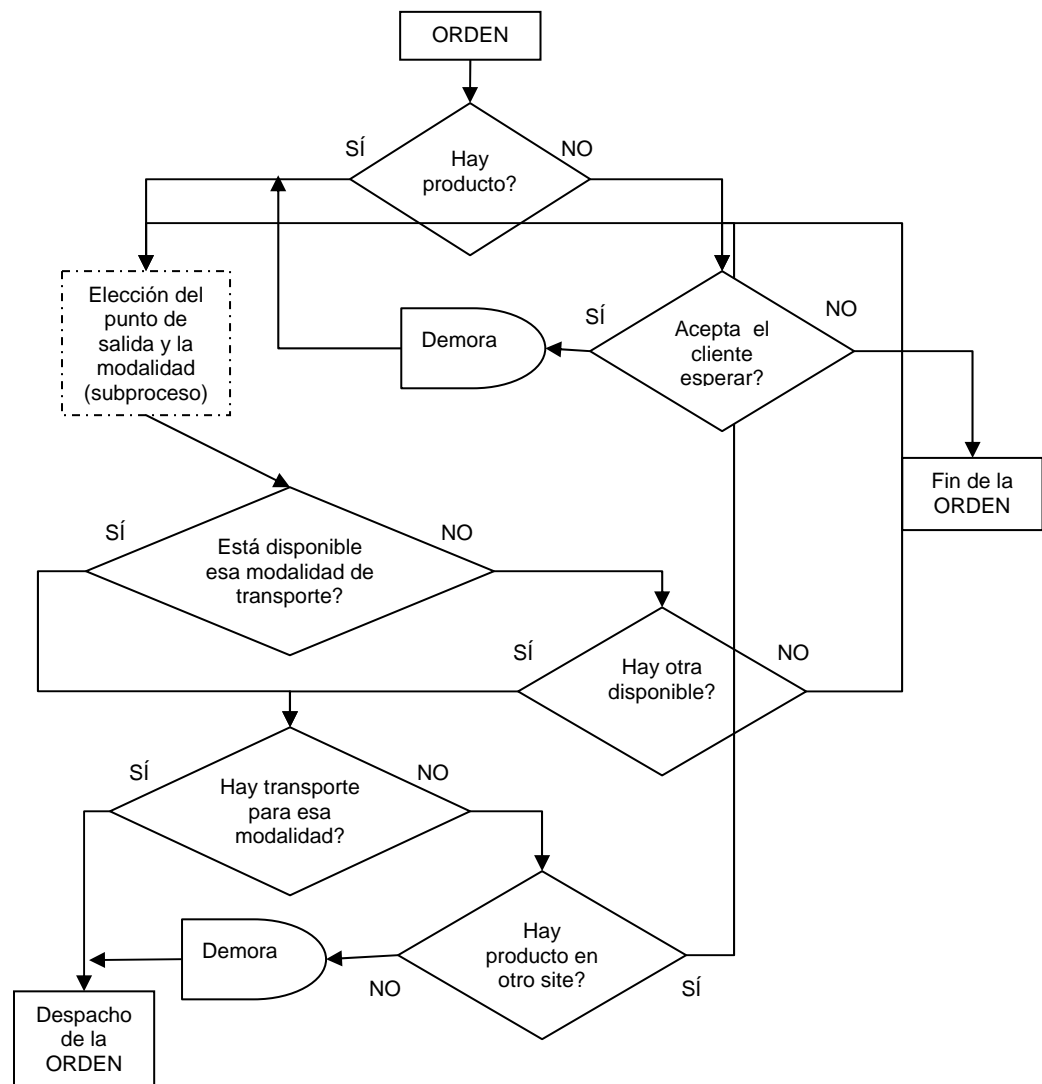


Figura 1.a-2. Flujograma de una orden

Descripción del subproceso

En este Módulo se procesan las siguientes decisiones. Primero, se analiza y selecciona la modalidad óptima de transporte (rodoviario, ferroviario, marítimo o combinación de ellos). Esto se decide con la intención de priorizar costos o tiempos según el caso. En segundo lugar, se selecciona la mejor opción en cuanto al origen de despacho del producto, planta en Bahía Blanca o depósito en Dock Sud. Esta decisión se realiza basada, principalmente, en la disponibilidad del producto.

Límites y Contexto

El modelo se limita a describir el comportamiento de la red de abastecimientos antes mencionada, en base a la producción de la fábrica, la disponibilidad de materia prima proveniente desde Neuquén, la demanda de las distintas zonas, la disponibilidad de los distintos medios de transporte y la lógica del procesado de una orden; sin atender otras cuestiones que bien podrían influenciar su comportamiento y evolución. Por ello, los resultados están limitados a este nivel de precisión.

Supuestos y simplificaciones

Se supone, como ya se ha mencionado, que la demanda total de producto prácticamente constante a lo largo del año, aunque se contempla su estacionalidad para las distintas zonas en base a una distribución de probabilidades para cada una de ellas. Otra de las simplificaciones es que a la empresa se la supone fabricante de un único producto. Simplificación que se puede hacer dado que todos los productos son manipulados y transportados con el mismo criterio de modulización (18 pallets de 50 bolsas de 25 kg cada una), y poseen una demanda de comportamiento similar.

Una simplificación muy importante realizada sobre el modelo es asumir que el conjunto de plantas ubicadas en Bahía Blanca son una sola (los procesos de producción son similares, la materia prima es la misma, y todas confluyen en la misma línea de palletizado). Otra de las simplificaciones es construir el modelo suponiendo que los clientes de cada zona de Argentina, como de los demás países donde se ubican los clientes de la empresa están ubicados todos juntos y en un único punto.

Variables y parámetros

Las variables consideradas en el modelo son las siguientes:

- Stock de producto terminado, tanto en la planta de Bahía Blanca como en el depósito de Dock Sud.
- Los costos en los que se incurre (para cada medio de transporte) hacia los distintos destinos.
- La disponibilidad de los distintos medios de transporte en el tiempo.
- La demanda de las distintas zonas y países.
- La producción de la planta de Bahía Blanca.
- La disponibilidad de etileno proveniente de Neuquén.

En cuanto a los parámetros se pueden mencionar:

- La capacidad máxima de cada almacén
- La cantidad máxima y frecuencia de cada tipo de transporte en función de cada recorrido posible.

Estados, redes y flujos

Para describir los estados, las redes y los flujos, se divide a esta red de abastecimiento por zonas.

Argentina

Este país tiene 3 regiones a las cuales abastecer: Gran Buenos Aires, Interior y Tierra del Fuego. Para atender estos puntos de demanda, la empresa abastece desde el centro de distribución de Buenos Aires y desde la planta de Bahía Blanca según sus posibilidades. Para los primeros destinos, este abastecimiento se realiza por camiones únicamente presentando ocasionalmente los siguientes inconvenientes:

- Con respecto a los camiones que parten desde Buenos Aires, existe una merma en la disponibilidad de los mismos en 2 momentos del año. En marzo debido a cosechas, las cuales insumen una importante cantidad de camiones, y en octubre, ya que se suelen dar importantes conflictos gremiales.
- En relación a los camiones que parten desde Bahía Blanca, el motivo de la disminución de su disponibilidad es que en la época de marzo-abril se dan las cosechas en la región.

Tierra del fuego es abastecido por buque desde Bahía Blanca. Dado que es un flujo que no interfiere en la estructura de la cadena de distribución (se puede decir que tiene una cadena por su cuenta, la cual es muy simple y económica) se la ha dejado fuera del análisis.

Brasil

Este destino es abastecido desde Buenos Aires o desde Bahía Blanca. Desde Buenos Aires esto se puede hacer por barco (con una disponibilidad de aproximadamente 2 por semana) o por camión en ese orden de preferencia.

Desde Bahía Blanca este destino se puede abastecer por barco (con una disponibilidad de aproximadamente un barco por semana), por tren o por camión, en ese orden de preferencia.

Este destino no suele presentar inconvenientes con ninguno de los medios de transporte mencionados (eventualmente pueden faltar camiones si se altera mucho el mix entre barco, tren y camiones. Lo cual suele ocurrir cuando la necesidad de producto en Brasil es muy urgente).

El depósito de Buenos se abastece desde Bahía Blanca por tren únicamente no presentando inconvenientes este medio de transporte.

Memoria y evolución

Este modelo no posee memoria. El mismo no es capaz de aprender por si mismo ni evolucionar en función de su aprendizaje. Son los usuarios del mismo los que se encargan de aprender de los resultados que arrojan las simulaciones; actuando consecuentemente sobre las variables de control (o eventualmente los parámetros) con el fin de que la red evolucione en pos de su optimización en cuanto a los costos.

I.b Modelo operacional

Para la realización del modelo en Arena se dividió la programación en tres grandes bloques: *Abastecimiento de Etileno, Producción Planta Bahía Blanca y Demanda y distribución.*

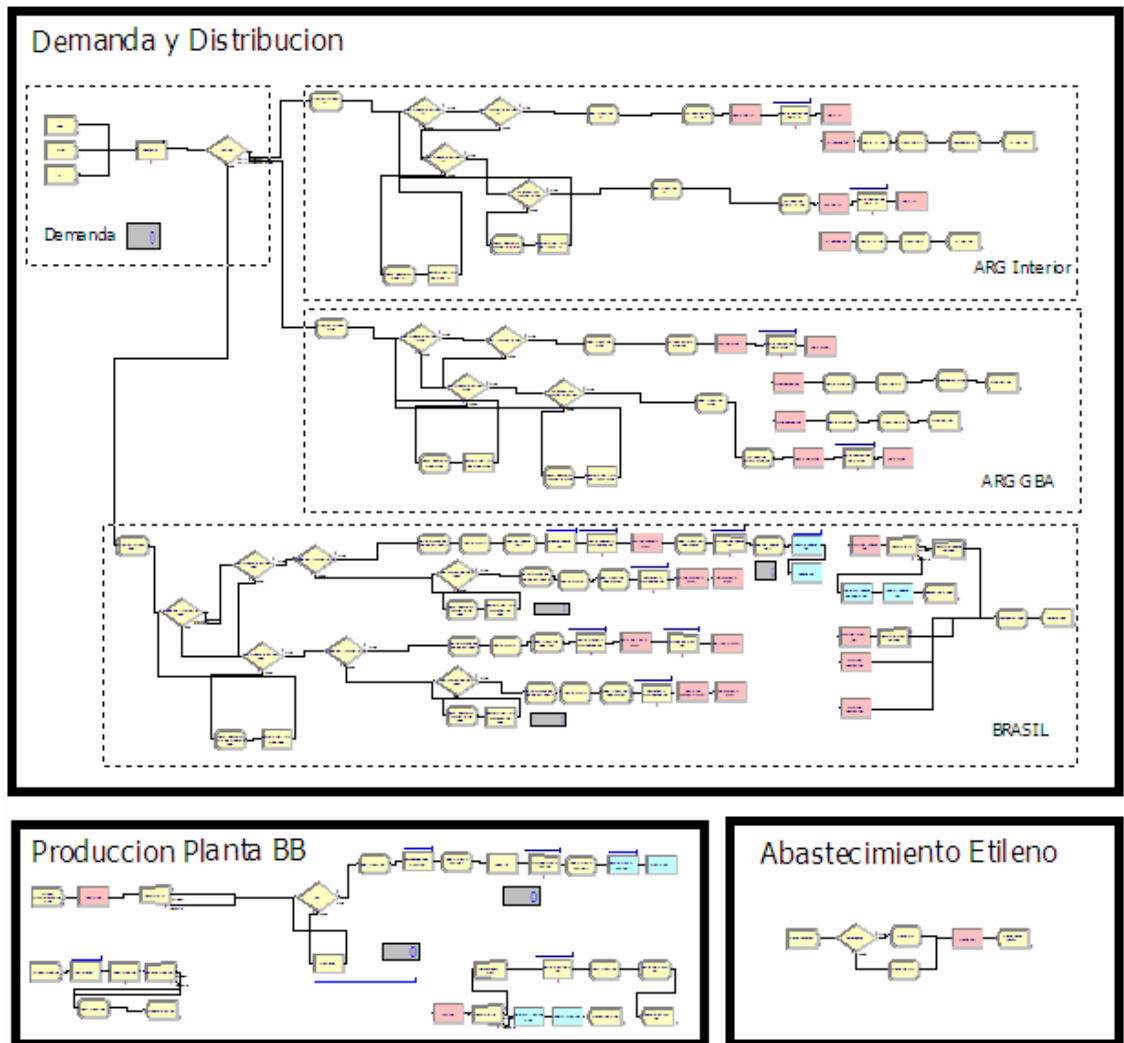


Figura I.b-1. Módulos del programa de simulación.

Abastecimiento de Etileno

Este módulo representa la disponibilidad o no de la materia prima necesaria para la producción del Polietileno de alta densidad. No indica cuanto etileno ingresa a la planta sino que este ingresa. Se supone que al haber abastecimiento del gas, este es suficiente para cubrir los requerimientos de producción.

Producción Planta Bahía Blanca

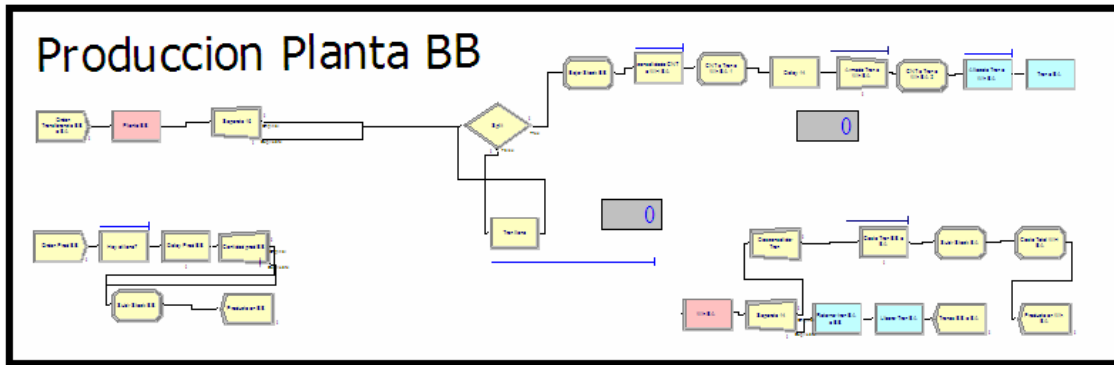


Figura 1.b-2. Módulo de Producción en el programa de simulación.

Aquí está representada la producción del Polietileno de la planta de Bahía Blanca, además del abastecimiento de producto terminado al depósito de Dock Sud.

La lógica del módulo es la siguiente; primero se crea una orden de producción, la cual le da “vida” o inicio al proceso. Luego esta entidad pasa por un módulo “HOLD” en el cual se pregunta si hay o no MP disponible, en caso de ser negativo retiene a la entidad hasta que se reestablezca el flujo de Etileno.

Paso siguiente, la entidad atraviesa una serie de módulos en los cuales adquiere ciertos atributos y es “retrasada” para simular el tiempo necesario para la producción. Luego la producción obtenida es destinada a los diferentes almacenes mediante un criterio preestablecido.

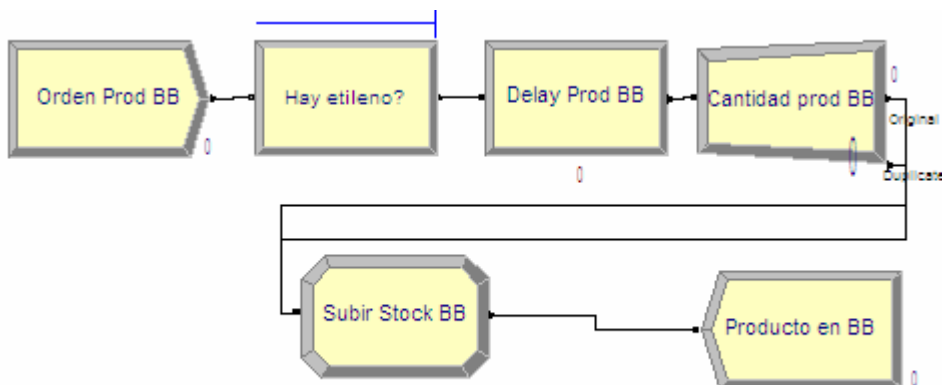


Figura 1.b-3. Detalle de módulos de producción en el programa de simulación.

Para representar el transporte al warehouse de Dock Sud se utilizaron los siguientes módulos: “CREATE”, “SEPARATE”, “DECIDE”, “ASSIGN”,

“BATCH”, “PROCESS”, “ALOCATE”, “TRANSPORT”, “STATION”, “MOVE” Y “FREE”.

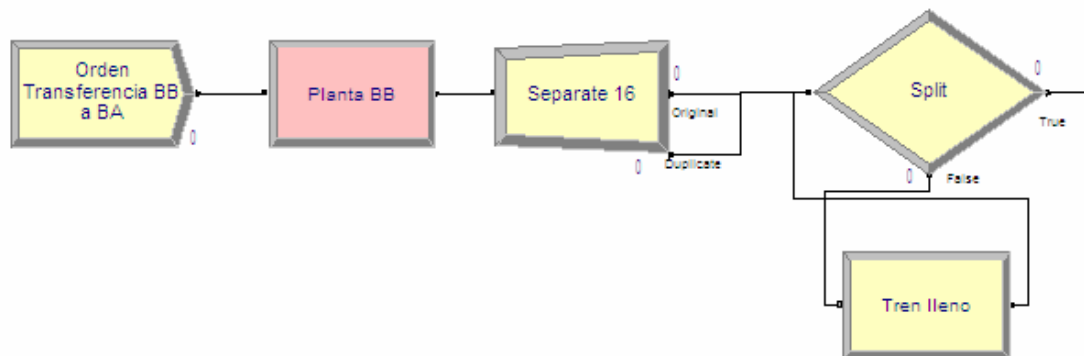


Figura 1.b-4. Detalle de módulos de transferencia a BA en el programa de simulación.

El módulo “CREATE” envía todos los días una orden de transferencia de producto desde Bahía Blanca al depósito de Dock Sud en función del stock en el mismo, con un piso mínimo de 30 contenedores por tren (que se asignan en el módulo “SEPARATE”). Luego se evalúan en el “DECIDE” la disponibilidad de trenes, y a continuación se consolida la carga a ser despachada mediante un módulo “BATCH” que agrupa la carga en función de la capacidad del tren. Luego la entidad sigue su “rumbo” y atraviesa una serie de módulos de “ADVANCED TRANSFER” que simulan el viaje. Además estos últimos sirven para luego realizar la animación del modelo.

En esta rama también se procede a el costeo del transporte y a la generación de los stocks en los puntos establecidos. Estas dos últimas acciones se realizan mediante el uso de contadores que suman a las variables correspondientes. Por último las entidades siguen su camino a través de distintos módulos que las preparan para su salida del modelo.

Demanda y distribución

Esta sección del modelo explica el cuerpo principal del programa. Aquí se simulan las demandas de producto de las distintas regiones como GBA, Interior o Brasil. También la distribución de los pedidos a sus destinos, según las diferentes modalidades de transporte, camión, tren o barco, y el costo de los mismos.

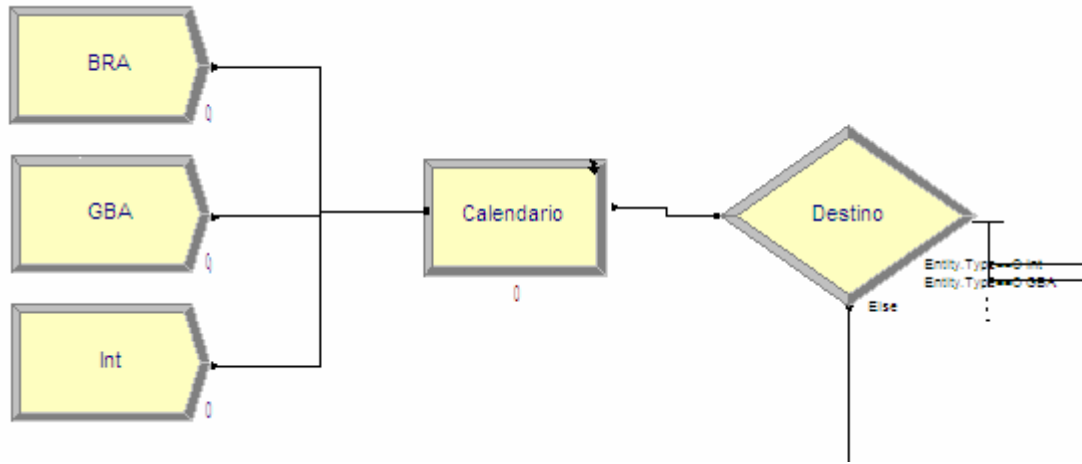


Figura I.b-5. Detalle de módulos de demanda en el programa de simulación.

La creación de las entidades se realiza con módulos “CREATE”. En los mismos se encuentran cargadas las distribuciones de probabilidad de las demandas para cada país.

Luego, las entidades pasan por el subproceso “Calendario” que computa los días, los meses y los años.

Finalmente, el proceso “Destino” asigna a las órdenes de las distintas regiones a las cuales se dirigen los despachos.

El primer paso, una vez que la orden llega conformada a Petropolímeros, es ver si es urgente o no. Luego, en función de si hay producto o no, ver si el cliente espera o no. Este módulo “Decide” verifica que las variables de Stock en a planta y el warehouse son suficientes para satisfacer la demanda.

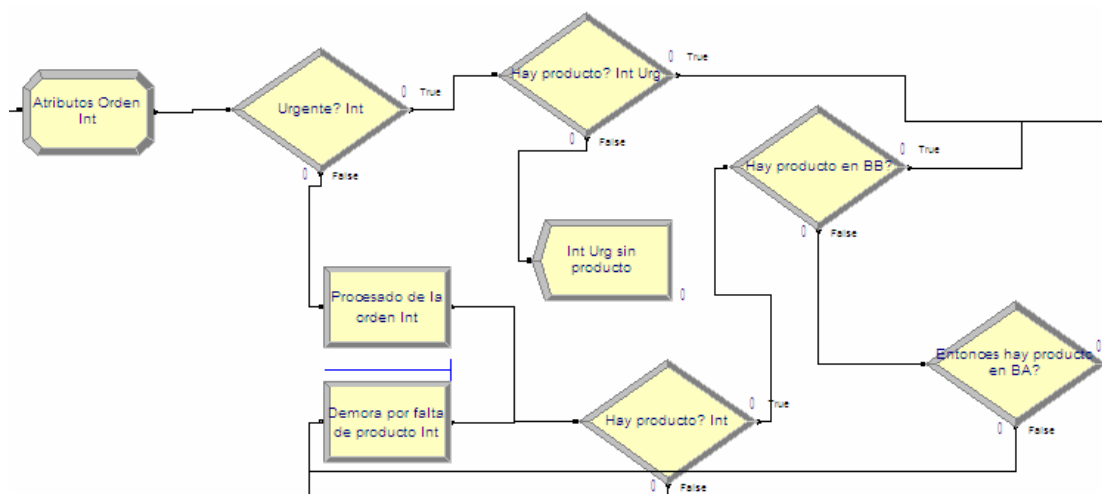


Figura I.b-6. Detalle de módulos de distribución en el programa de simulación.

Para todos los destinos, la lógica es básicamente la misma. Primero, se cerciora si hay producto en el punto de despacho más cercano o con la modalidad de transporte más económica. Luego, verifica la disponibilidad de la misma. En caso de contar con el medio de transporte se procede a bajar el stock del inventario, se costea y se toma el recurso de transporte, y se pasa a los módulos de animación que marcan el punto de salida y asignan el tiempo de viaje hasta el destino.

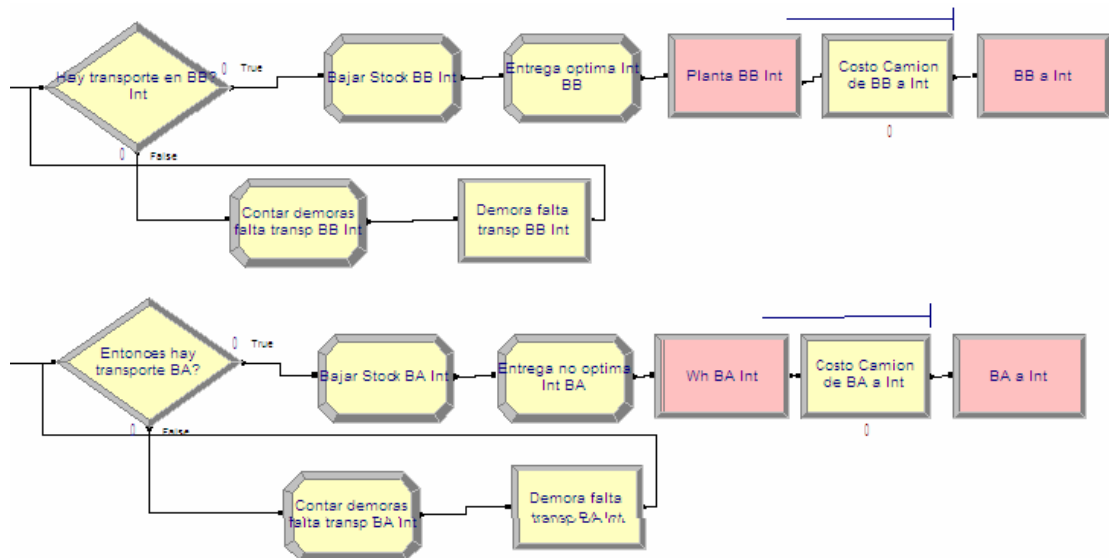


Figura 1.b-7. Continuación detalle de módulos de distribución.

Finalmente, una vez en destino, se procede a liberar el recurso asignado para el transporte, y se envía la orden al módulo "DISPOSE".

El bloque de "Demanda y Distribución" cuenta con otros módulos que sirven a los fines de llevar indicadores del comportamiento de la red. Los mismos son básicamente módulos de "ASSIGN" que contabilizan variables como "Entregas óptimas" (costo o tiempo), "Entregas no óptimas" (costo o tiempo) o "Costos de camiones en Argentina" y otros costos por el estilo.

Merece un comentario la manera en que se cargan las distribuciones de las demandas en los módulos "CREATE". Para ellos se introducen las fórmulas de las distribuciones de modo tal que sus parámetros característicos son tomados de vectores que varían mes a mes.

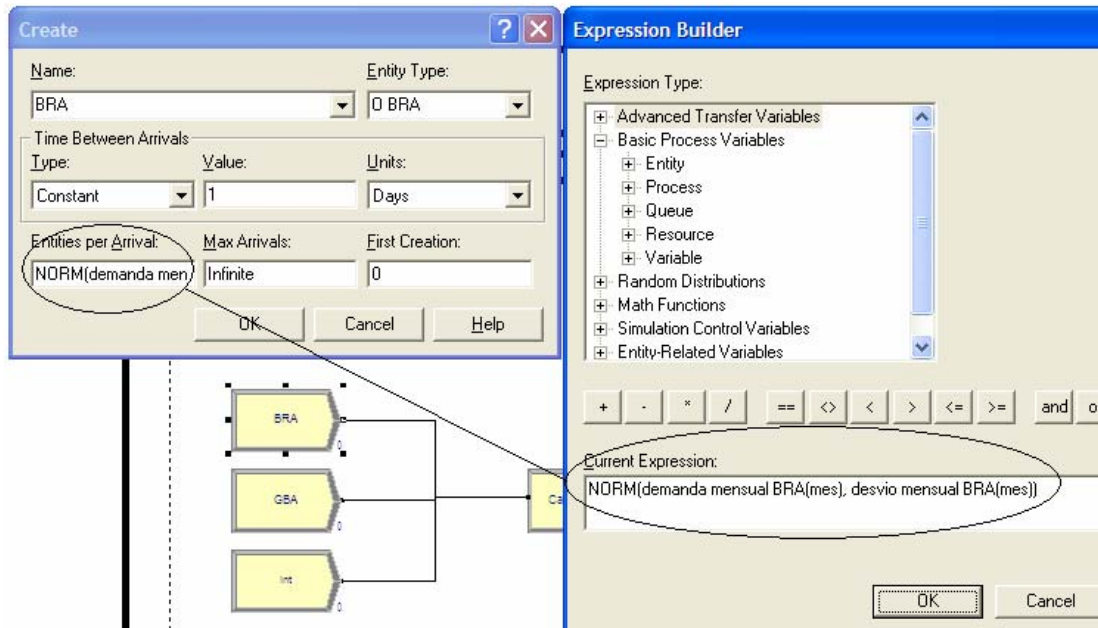


Figura I.b-8. Carga de las distribuciones de las demandas en el programa de simulación.

I.c Modelo de datos

Para la realización del modelo de datos, primero es necesario definir las variables y parámetros principales que regirán el comportamiento del sistema. Estas últimas son las definidas en el modelo conceptual; ellas son:

- La demanda de las distintas zonas y países.
- La disponibilidad de los distintos medios de transporte en el tiempo.
- Los costos en los que se incurre (para cada medio de transporte) hacia los distintos destinos.
- En cuanto a los parámetros se pueden mencionar: la capacidad máxima de cada almacén y la cantidad máxima de cada tipo de transporte en función de cada recorrido posible.

Una vez establecidas las variables principales es necesario determinar su comportamiento. Para ello se utilizaron diferentes métodos:

- El análisis de datos históricos para ajustarlos a una distribución que los represente, para así poder crear en el modelo una evolución ficticia de la variable.
- Y, la opinión de los expertos en el tema.

La demanda de las distintas zonas y países. Como se menciona en secciones precedentes del trabajo, en el modelo existen demandas diferenciadas para Brasil y Argentina, y además, para esta última una discriminación entre GBA e Interior.

Para estas variables se contó con la posibilidad de tener datos históricos (una serie de datos de 15017 muestras) para poder así, luego de seleccionar la distribución a la que mejor ajustan, generar una historia ficticia. Dichos datos estaban presentados como demandas diarias del producto por país de destino a lo largo de dos años.

La disponibilidad de los distintos medios de transporte en el tiempo. Esta variable se estimó según los diferentes imprevistos que pudieran ocurrirse a lo largo del año y en las distintas rutas, para los diferentes medios de transporte.

Como metodología, se utilizó la experiencia de las personas del área, las cuales nos suministraron los datos para este modelo. Ellas nos proporcionaron las posibles causas de falta de disponibilidad del transporte o

cortes de los flujos, como ser la cosecha de la cebolla en la región de Bahía Blanca en marzo y abril.

Con el análisis de estos datos se llegaron probabilidades que representan la disponibilidad del medio de transporte para cada mes del año. Esto fue lo que se cargo al modelo.

Capacidad máxima de cada almacén, cantidad máxima de cada tipo de transporte en función de cada recorrido posible, costos en los que se incurre (para cada medio de transporte) hacia los distintos destinos. Para obtener la cantidad máxima de transporte disponible se estudiaron los datos de la cantidad de operadores logísticos más representativos y sus capacidades, para luego llegar a un promedio que represente a todo el sector. Esto mismo se hizo con los costos de transporte. Las capacidades máximas de los almacenes fueron proporcionadas por gente de la empresa en cuestión.

Vale aclarar que por un tema de confidencialidad, algunos datos no pudieron ser obtenidos o tuvieron que ser modificados. En el caso de estos a los que no se pudo tener acceso, se incluyeron en el modelo aproximaciones, las cuales fueron orientadas por gente del medio. Aquellos que fueron modificados, se lo hizo de forma tal, de no alterar la esencia de los mismos.

Comportamiento y Distribución de las variables

Se tomarán datos a partir del 2004, ya que para años anteriores la información no se encuentra completa.

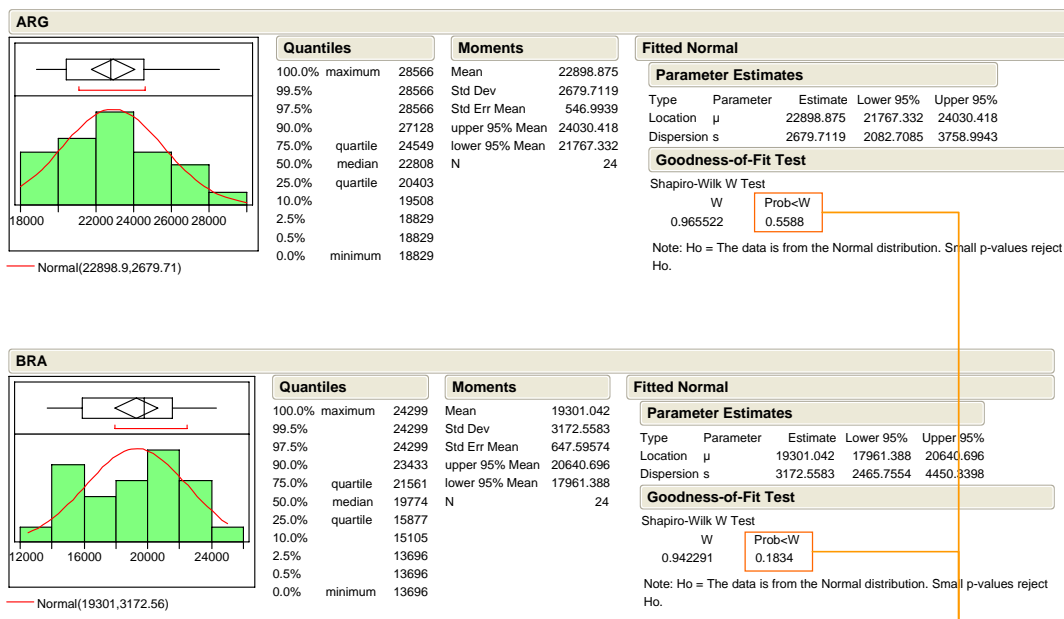
Demanda

Argentina

- La demanda mensual de Argentina presenta una distribución normal, con una media de 22.900 Tn y un desvío estándar de 2.700 Tn.
- El comportamiento a lo largo del tiempo es variable y no presenta estacionalidad.
- El 65% se concentra en GBA y el 35% restante en el Interior. Dado que no se puede negar con una significancia estadística importante su normalidad, a los fines de simplificar el análisis, se tomarán sus distribuciones como normales.

Brasil

- Para el caso de la demanda mensual de Brasil no se puede negar, con una significancia estadística del 95%, que presenta una distribución normal. De todos modos, la misma es muy variable, con una media de 19.300 Tn y desvío estándar de 3.170 Tn.
- El comportamiento a lo largo del tiempo es variable y no presenta estacionalidad.



Según el test de Shapiro-Wilk no podemos rechazar la hipótesis nula de que los volúmenes mensuales tienen una distribución Normal. Entonces "aceptamos" su Normalidad...

Figura I.c-1. Volumen mensual – Distribuciones para Argentina y Brasil

Observaciones

No pudiendo negar la normalidad de las distribuciones de demandas involucradas, se asume la misma para la simplificación del análisis. Para aquellos casos donde la variabilidad es baja se puede pensar en estructuras de distribución estables, y arriesgarse a soluciones menos flexibles que, a su vez, suelen ser menos costosas². Por ejemplo, se pueden atender ciertos flujos con tren o barco. En los casos de alta variabilidad habrá que apoyarse más en el transporte rodoviario.

² Recordemos que generalmente quitar restricciones en un sistema es costoso.

I.d Bondad del modelo

¿Cómo se sabe que el modelo en ARENA refleja la realidad? O dicho de otra manera: ¿cómo se asegura que el modelo es bueno?

Para determinar la bondad del modelo se eligieron las tres variables de salida “% de entregas a tiempo” para GBA, Interior y Brasil, y se contrastaron sus valores con la realidad a través de un test de comparación de variabilidades y medias.

Se eligieron estas variables ya que reflejan el comportamiento final del modelo afectado por todas las restricciones (disponibilidad de medios de transporte, disponibilidad de producto, variaciones en la demanda, etc).

Comparación de las medias para las entregas a tiempo

Existen distintos test estadísticos para comparar dos medias. En este trabajo se hizo una comparación de las medias mes a mes (para 1 año) del porcentaje de entregas a tiempo entre los valores reales y los otorgados por el modelo. Es decir, se compararon 12 medias reales contra 12 medias simuladas, para cada destino.

La hipótesis nula que se trató de refutar es que ambas medias son iguales. Para ello se utilizó un software estadístico (JMP) que hizo el test de ANOVA (Análisis de Variaciones). Pero antes, como el ANOVA se basa en la normalidad de las distribuciones de datos, se debió analizar la misma (ver filmina 14 “Normalidad de las medias del porcentaje de entregas a tiempo”).

De dicho análisis arrojó que no se puede rechazar la hipótesis nula de que las distribuciones de las medias son normales, por lo que “se aceptó” la normalidad.

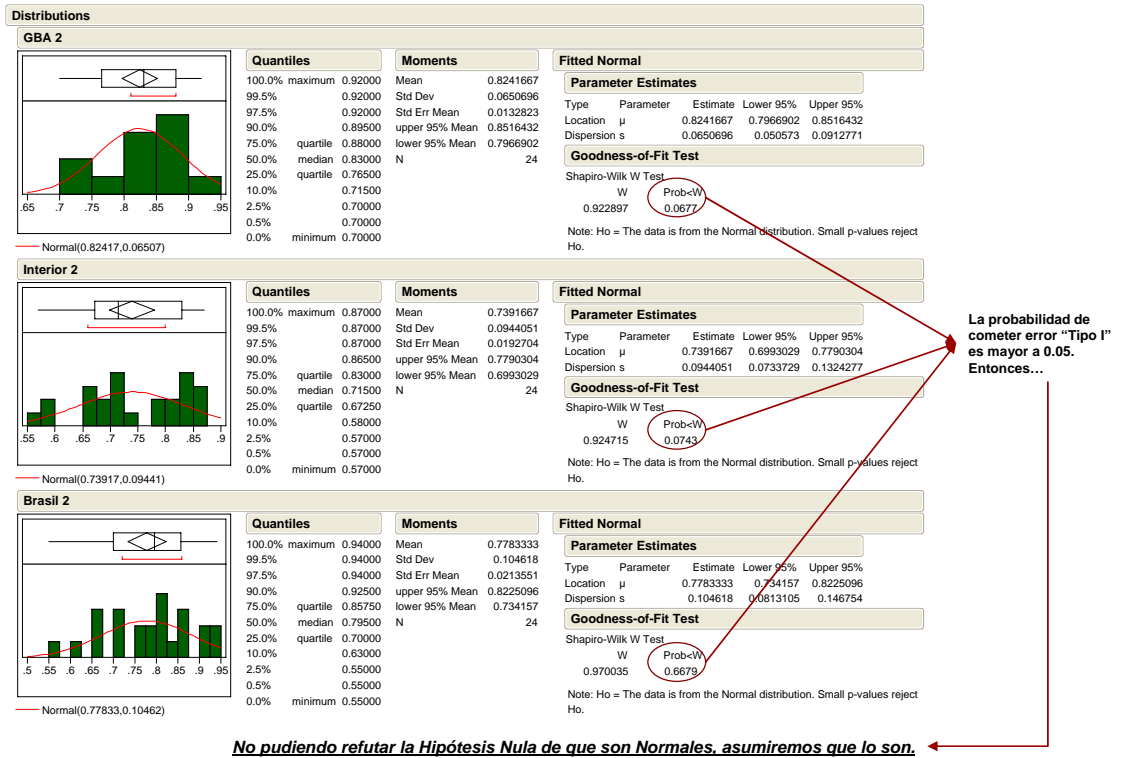
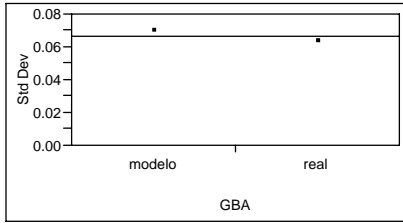


Figura I.d-1. Volumen mensual – Distribuciones para GBA e Interior

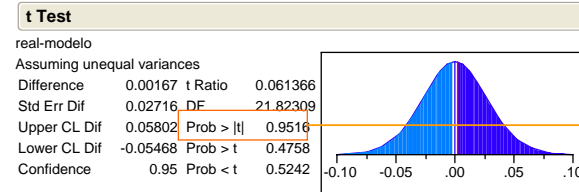
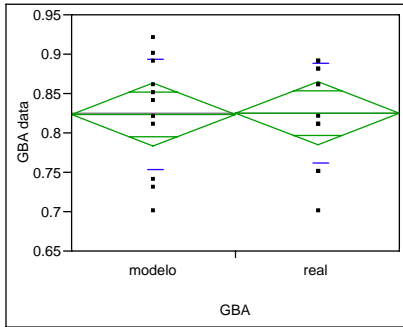
El primer paso en el test de ANOVA, es analizar si las variaciones de los datos para las muestras reales y las medias simuladas son iguales o no. Ya que de serlo, el test de medias debería ser un ANOVA regular, y de no serlo, se podría utilizar un test Welch's ANOVA.

Según el test de Brown-Forsythe no podemos rechazar la hipótesis nula de que los desvíos estándar son iguales. Entonces "aceptamos" su igualdad...



Level	Count	Std Dev	MeanAbsDif to Mean	MeanAbsDif to Median
modelo	12	0.0694568	0.0533333	0.0533333
real	12	0.0634608	0.0516667	0.0516667

Test	F Ratio	DFNum	DFDen	p-Value
O'Brien[.5]	0.1372	1	22	0.7147
Brown-Forsythe	0.0106	1	22	0.9187
Levene	0.0118	1	22	0.9147
Bartlett	0.0856	1	.	0.7698
F Test 2-sided	1.1979	11	11	0.7699



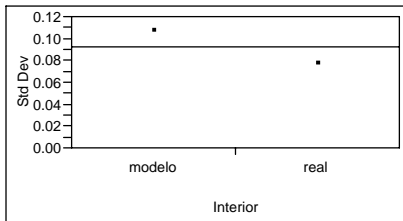
Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
GBA	1	0.00001667	0.000017	0.0038	0.9516
Error	22	0.09736667	0.004426		
C. Total	23	0.09738333			

Siendo la probabilidad de equivocarnos al rechazar la hipótesis de que las medias son iguales mayor a 0.05, no podemos rechazar la hipótesis nula. Entonces "aceptamos" su igualdad...

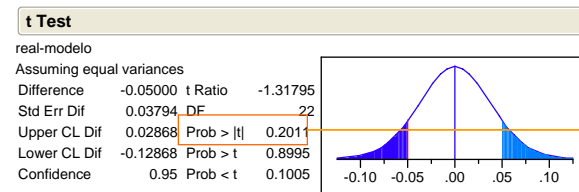
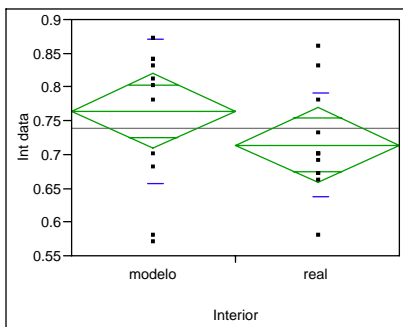
Figura I.d-2. Bondad de ajuste del modelo de ARENA - Entregas a tiempo GBA

Según el test de Brown-Forsythe no podemos rechazar la hipótesis nula de que los desvíos estándar son iguales. Entonces "aceptamos" su igualdad...



Level	Count	Std Dev	MeanAbsDif to Mean	MeanAbsDif to Median
modelo	12	0.1064688	0.0877778	0.0791667
real	12	0.0770429	0.0572222	0.0525000

Test	F Ratio	DFNum	DFDen	p-Value
O'Brien[.5]	1.2635	1	22	0.2731
Brown-Forsythe	0.9016	1	22	0.3527
Levene	2.1164	1	22	0.1598
Bartlett	1.0824	1	.	0.2982
F Test 2-sided	1.9098	11	11	0.2983



Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Interior	1	0.01500000	0.015000	1.7370	0.2011
Error	22	0.18998333	0.008636		
C. Total	23	0.20498333			

Siendo la probabilidad de equivocarnos al rechazar la hipótesis de que las medias son iguales mayor a 0.05, no podemos rechazar la hipótesis nula. Entonces "aceptamos" su igualdad...

Figura I.d-3. Bondad de ajuste del modelo de ARENA - Entregas a tiempo Interior

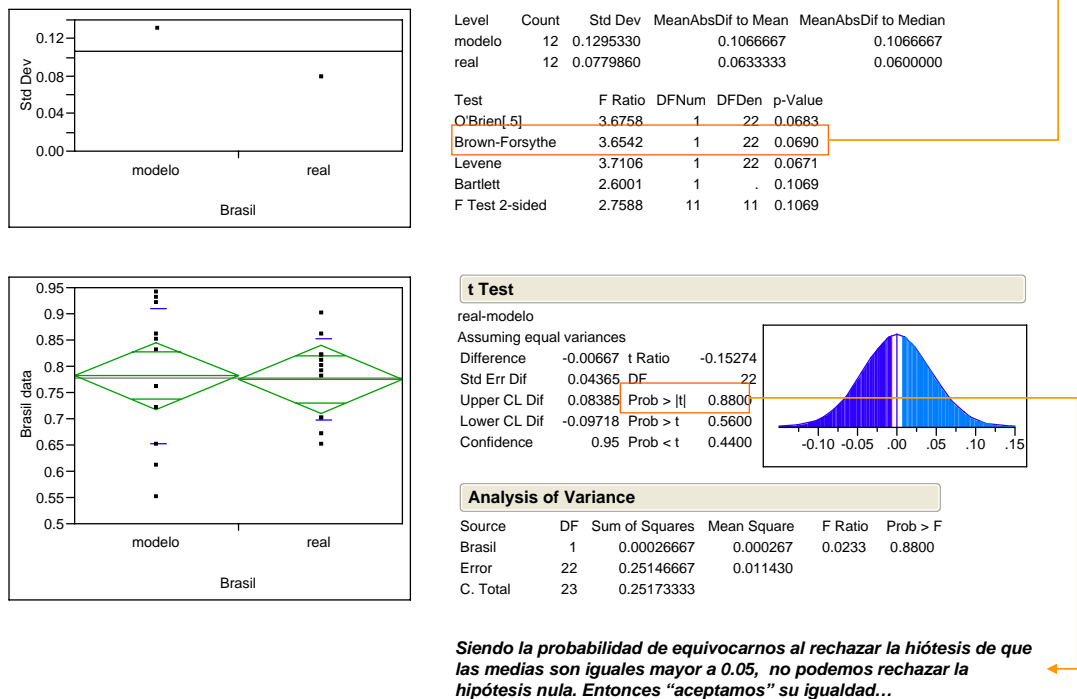


Figura I.d-4. Bondad de ajuste del modelo de ARENA - Entregas a tiempo Brasil

Luego de ese test, se concluye que los tres pares de muestras de datos no varían de manera distinta. Tomando esto como un “entonces puede ser que varían de la misma forma”, se pasa finalmente a la comparación de medias (ver filminas 15 a 17 “Bondad de ajuste del modelo de ARENA”).

Finalmente, luego de comparar las medias no se puede rechazar la hipótesis nula de que son iguales, con lo que se da por bueno el modelo.

Anexo II

Hallando Gant óptimo de implementación con programación lineal

El resultado de los sistemas de ecuaciones presentados a continuación, son las variables M_i que indican a partir de qué mes se debe comenzar con la implementación de la propuesta "i".

Variables:

- V_T : VAN Total de la cartera de proyectos, que deseo maximizar.
- X_{ij} : participación de la implementación del proyecto "i" en el mes "j", que va de 1 a 30 que es lo más lejos que puede llegar una implementación si ponemos todos los proyectos en serie. Debe ser discreta, tomando sólo los valores "0" o "1".
- M_i : meses hasta el momento "0" de la implementación del proyecto "i". Se trata de una variable discreta.

Constantes:

- V_i : VAN del proyecto "i" llevado al momento "0" de implementación de ese proyecto. "i" va de 1 a 5.
- HS_i : horas mensuales del área de Sistemas que requiere el proyecto "i".
- HP_i : horas mensuales de gente de Planta que requiere el proyecto "i".
- HL_i : horas mensuales del área de Logística que requiere el proyecto "i".
- HC_i : horas mensuales del área Comercial que requiere el proyecto "i".
- HS_T : horas mensuales disponibles del área de Sistemas.
- HP_T : horas mensuales disponibles de la gente de Planta.
- HL_T : horas mensuales disponibles del área de Logística.
- HC_T : horas mensuales disponibles del área Comercial.

Función objetivo:

Tomando una tasa de corte del 14%...

- $$\text{MAX } V_T = (1,14)^{-M_1} \times V_1 + (1,14)^{-M_2} \times V_2 + (1,14)^{-M_3} \times V_3 + (1,14)^{-M_4} \times V_4 + (1,14)^{-M_5} \times V_5$$

Restricciones:

Horas totales disponibles

- $HS_T \geq X_{1j} HS_1 + X_{2j} HS_2 + X_{3j} HS_3 + X_{4j} HS_4 + X_{5j} HS_5$
- $HP_T \geq X_{1j} HP_1 + X_{2j} HP_2 + X_{3j} HP_3 + X_{4j} HP_4 + X_{5j} HP_5$
- $HL_T \geq X_{1j} HL_1 + X_{2j} HL_2 + X_{3j} HL_3 + X_{4j} HL_4 + X_{5j} HL_5$

$$\circ \quad \mathbf{HC}_T \geq \mathbf{X}_{1j} \mathbf{HC}_1 + \mathbf{X}_{2j} \mathbf{HC}_2 + \mathbf{X}_{3j} \mathbf{HC}_3 + \mathbf{X}_{4j} \mathbf{HC}_4 + \mathbf{X}_{5j} \mathbf{HC}_5$$

Para “j” de 1 a 42.

Utilización de las horas de cada área

$$\circ \quad \sum_{j=1}^{30} (X_{ij} HS_i) = 3HS_i$$

$$\circ \quad \sum_{j=1}^{30} (X_{ij} HP_i) = 3HP_i$$

$$\circ \quad \sum_{j=1}^{30} (X_{ij} HL_i) = 3HL_i$$

$$\circ \quad \sum_{j=1}^{30} (X_{ij} HC_i) = 3HC_i$$

Para “i” de 1 a 5 para los proyectos de 3 meses de implementación.
En los de 6 o 12 cambia el 3 por 6 o 12.

No simultaneidad de la implementación del proyecto 5 con el 3 o el 4

$$\circ \quad 1 > \mathbf{X}_{5j} + \mathbf{X}_{3j}$$

$$\circ \quad 1 > \mathbf{X}_{5j} + \mathbf{X}_{4j}$$

Para “j” de 1 a 30.

Relación entre “M_i” y “X_{ij}”

Para proyectos de 3 meses de implementación

$$\circ \quad \sum_{j=1}^{27} \sum_{j=1}^{30} X_{ij} - 6 = 3M_i$$

Para proyectos de 6 meses de implementación

$$\circ \quad \sum_{j=1}^{24} \sum_{j=1}^{30} X_{ij} - 21 = 6M_i$$

Para proyectos de 12 meses de implementación

$$\circ \sum_{j=1}^{18} \sum_{j=1}^{30} X_{ij} - 78 = 12M_i$$

Básicamente lo que hace es contar hasta que X_{ij} valga "1", para cada proyecto "i".

Estas tres ecuaciones pueden resumirse en una sola de la siguiente manera:

$$\circ \sum_{j=1}^{27} \sum_{j=1}^{30} X_{ij} - (d+1)d/2 = dM_i \text{ tal que "d" es la duración de la implementación.}$$

Para que haya continuidad en las etapas de implementación, de modo que si en el mes "j" se comienza una implementación, en el "j+1" el valor de X_{ij} no sea "0" hasta que se termine la implementación, hay que decirle al sistema que NO se cumpla simultáneamente las siguientes condiciones:

- $X_i = X_{i+2}$
- $X_{i+1} + X_i = 1$
- $X_{i+1} + X_{i+2} = 1$

Se pueden resumir las tres condiciones en una sola:

$$\circ 2 X_{i+1} + X_i + X_{i+2} = 2$$

Que es el equivalente a decir que si tomamos tres valores de X_i seguidos nunca debe aparecer las series: 0 1 0 ó 1 0 1.

Una manera de escribir esto para que el sistema no cumpla la restricción anterior es:

- $2 X_{i+1} + X_i + X_{i+2} > 2$
- $2 X_{i+1} + X_i + X_{i+2} < 2$

Bibliografía

- Goldratt, Eliyahu M. 2005. *La Meta, un proceso de mejora continua*. Diaz de Santos.
- Van Hoek, R. I. y Weken, H. 1998. *SMART (car) and smart logistics, A case study in designing and managing an innovative de-integrated supply chain*. Erasmus University Rotterdam.
- Sall, J., Creighton, L. y Lehman, A. 2005. *JMP Start Statistics*. Thomson.
- Cañete, G. 2006. *Costos Logísticos, Temperatura en aumento*. Revista Terminal C. Número 5. Páginas 6-10.
- David Brojt. 2006. *Taller de Liderazgo de Proyectos*.
- Apuntes de un curso sobre Six Sigma. Junio 2006.
- Apuntes de cátedras: Investigación Operativa, Calidad, Logística, Simulación, Planeamiento de la Producción y Estadística Aplicada.

Software utilizado

- ARENA 5.0. Rockwell Software. 2005.
- JMP 6.0. SAS Institute. 2006.