

TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Optimización de una red logística de
distribución global e impacto de la
Industria 4.0 en centros de almacenamiento**

Autor:

Alejandro VALLE

Supervisor:

Dr. Peter JACOBSEN

**DTU Management Engineering
Operations Management Group**

Junio de 2019



Abstracto

DTU Management Engineering
Operations Management Group

Optimización de una red logística de distribución global e impacto de la Industria 4.0 en centros de almacenamiento

Por Alejandro VALLE

Este trabajo de fin de máster está desarrollado con relación al área de la implementación y mejora continua de cadenas de suministro a escala global. En él se describen métodos para potenciar las posibilidades de optimización en todas las escalas de procesos en toda la red logística.

También se pretende dar una breve explicación sobre como las redes de distribución han sido desarrolladas y gestionadas durante los años, su evolución, parámetros básicos sobre los que basar sus comportamientos, principales dificultades para implantarlas y posibles campos y áreas de mejora. Para poder llevar eso a cabo se ha realizado un estudio bibliográfico en la primera parte de este proyecto, donde se describen diferentes configuraciones de redes, así como formas de almacenamiento y formatos logísticos en función de las características de los mercados, modelos de negocio y volumen de las empresas analizadas.

Un análisis sobre como operan los centros de almacenamiento en la industria y cuales son los puntos clave en los que focalizarse cuando optimizar sus operaciones también se lleva a cabo durante este documento.

Para demostrar las importantes consecuencias que la optimización de una red logística puede conllevar en términos de reducción de costes y mejora de las operaciones, en este documento se incluye un capítulo experimental en donde un caso real de una red global es estudiado en detalle. Diferentes maneras de mejorar los procesos como transporte, producción o nuevos canales de suministro son estudiados y comparados con el comportamiento real de la red actualmente, con el fin de descubrir nuevos escenarios de negocio y futuras posibilidades.

La tercera y última parte del proyecto se centra en explicar como la Industria 4.0 y la digitalización de la industria están influenciando y modificando los sistemas tradicionales de suministro y logística y qué estrategias podrán adoptar las empresas para adaptarse a este nuevo escenario.

Prólogo

Este trabajo de fin de máster ha sido preparado y desarrollado en el departamento de Management Engineering, en la sección de Operations Management, perteneciente a la Technical University of Denmark (DTU).

El supervisor de este proyecto en la DTU ha sido el profesor Peter Jacobsen y el trabajo ha sido realizado durante 5 meses naturales, desde el 28 de Enero de 2019 hasta el 28 de Junio de 2019.

El documento se ha llevado a cabo siguiendo la normativa y los requerimientos necesarios para finalizar el Máster en Ingeniería Industrial en la Universidad de Oviedo, donde yo, Alejandro Valle soy estudiante.

Ha sido posible gracias a la colaboración y el acuerdo vigente entre mi universidad de origen (Universidad de Oviedo) y la Technical University of Denmark donde he sido estudiante en movilidad durante el curso 2019/2020.

La colaboración y apoyo de mi tutora de movilidad (María Jesús Lamela Rey) ha sido fundamental para facilitar este intercambio y, por supuesto, los conocimientos y consejos aportados el supervisor del proyecto (Peter Jacobsen) han sido de gran ayuda para la finalización del documento.

Kongens Lyngby, 28 de Junio de 2019

Alejandro Valle

Capítulo 0

Introducción

El rápido desarrollo de las tecnologías ha traído un nuevo horizonte que afecta y afectará en el modo en que la industria ha venido funcionando durante los años. La aparición de nuevos canales de comunicación, principalmente relacionados con la aparición de Internet, ha permitido a las empresas pensar desde una nueva perspectiva, una perspectiva global. Los mercados han crecido y esto ha incrementado exponencialmente la competencia entre empresas al poder muchas de ellas suministrar a mismas zonas.

En los últimos años, la industria se dirige hacia un nuevo horizonte muy prometedor en el cual la digitalización de procesos y las soluciones “Smart” crearán un gran impacto. Esta nueva era es conocida como la 4.0 y las empresas están invirtiendo cantidades de dinero importantes para conseguir adaptarse y conseguir ventaja competitiva con ello.

El desarrollo de este documento ha sido basado en las redes logísticas desde una perspectiva global, que configuraciones se han llevado a cabo para optimizar las operaciones en ellas, y como la revolución digital y la introducción de sistemas “Smart” va a cambiar la metodología de trabajo.

El documento consta de 3 capítulos, dos ellos en los que se ha realizado una revisión bibliográfica y otro sobre un caso práctico donde se han estudiado diferentes escenarios de optimización de una red de distribución.

Optimización de redes logísticas desde un punto de vista global

Estudio práctico de optimización de red global de distribución

Industria 4.0 y sistemas “Smart” de almacenaje

El objetivo de este proyecto es que, cualquier leyente de este documento pueda ser capaz de entender y responder sin importar su campo de estudio y especialidad, las cuestiones genéricas escritas a continuación.

¿Como es posible desarrollar la optimización de una cadena global de suministros y gestionar eficientemente la red logística?

- ¿Cómo está la nueva era digital cambiando el concepto de centro de almacenamiento y qué ventajas proporcionarán las “Smart Warehouses” a las industrias adaptadas al ámbito de Industria 4.0?

Capítulo 1

Optimización de redes logísticas desde un punto de vista global

Definición, ámbito y necesidad de optimización en redes logísticas

Según (Jang,2017), el término de optimización de red logística cubre las decisiones que se deben tomar antes y durante la implementación de una cadena de suministro o de una o varias áreas de producto dentro de una misma empresa. Esto incluye, en primer lugar, encontrar la combinación adecuada de centros de almacenaje para garantizar el apropiado suministro desde las materias primas hasta el consumidor final. Es necesario decidir cuantos centros habrá, donde estarán localizados y cuanta capacidad tendrán.

La tarea logística puede dividirse en 3 pasos – adquisición, suministro y ventas. La optimización de la red tiene ver generalmente solo con las dos últimas etapas.

Aunque las naves de almacenaje son el principal foco de análisis en la cadena de suministro, los centros de manufactura tienen también un papel relevante ya que suelen tener cierta capacidad de almacenaje en sus instalaciones.

(Kawa, 2012) remarca el hecho de que tener servicios logísticos eficientes junto con unos métodos de transporte seguros y rápidos es cada día más importante en las actividades de las empresas y, por tanto, unos de sus principales objetivos. Una cadena logística bien desarrollada da a muchas empresas una gran ventaja competitiva con otras, siendo incluso en ocasiones aspecto diferencial sobre si la empresa consigue adaptarse al mercado o no, en cuyo caso desaparecería rápidamente.

Para desarrollar una red eficiente e intentar optimizar sus sistemas lo máximo posible, las compañías deben de ser conscientes de que deben implementar tecnologías de información óptimas. Las tecnologías de la información y de la telecomunicación están hoy en día tan directamente conectadas que una no podría existir sin la otra. Aquella empresa que no sea consciente de la importancia fundamental que tienen los sistemas modernos de información y la necesidad de desarrollarlos constantemente, no tendrá oportunidades de mejorar en el futuro – sin los correctos sistemas IT, compañías logísticas no podrán crear ventaja en el mercado respecto a otras empresas. Incrementar la eficiencia y automatizar los procesos tanto como sea posible son dos de los principales objetivos que aplicación de tecnologías de la información pretende garantizar. Gracias a estas tecnologías todo el mundo perteneciente al proceso puede visualizar datos numéricos actualizados, verificar rápidamente y controlar costes, beneficios y ventas, así como comunicarse en tiempo real con cualquier miembro de la cadena.

Por último, gracias a estas tecnologías, se facilitará el hecho de garantizar el suministro a los clientes finales de aquello que ellos necesitan, cumpliendo con sus expectativas. Los clientes no sólo se fijan en el coste del servicio, sino también en la rapidez de entrega y la seguridad de esta, la información que se les proporciona durante el transporte y la eficiencia con la que este se adapta a las necesidades individuales.

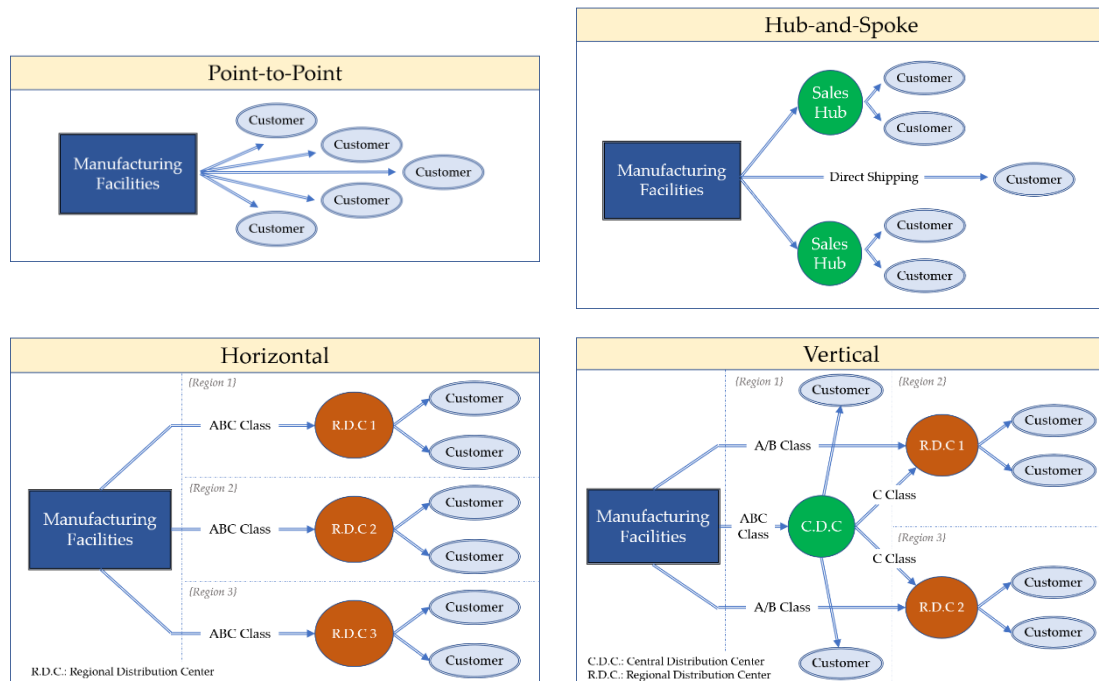
Según dice (Jang, 2017), la optimización de la red es necesaria por muchas razones, siendo las más representativas las indicadas en estos siguientes puntos.

- Variaciones en la demanda por producto como por área geográfica
- Apariciones de nuevos canales de venta en nuevas áreas geográficas
- Ajustes en el mercado con sub-empresas
- Cambios en sistemas de manufactura
- Nuevas estrategias de marketing
- Nuevos convenios y asociaciones con empresas
- Cambios en las estrategias de negocio de competidores

Estos puntos pueden ser vistos en muchos casos reales. Hoy en día hay una creciente turbulencia en los ambientes corporativos de empresas de producción, caracterizada por ciclos más cortos de los productos, así como por una demanda más individualizada de los clientes mediante pequeños lotes y plazos de entrega más cortos. Para poder adaptarse, las empresas tienen que flexibilizar sus procesos tanto en sus etapas de producción como de distribución de sus productos.

Tipos de redes logísticas y procedimientos de optimización de proyectos

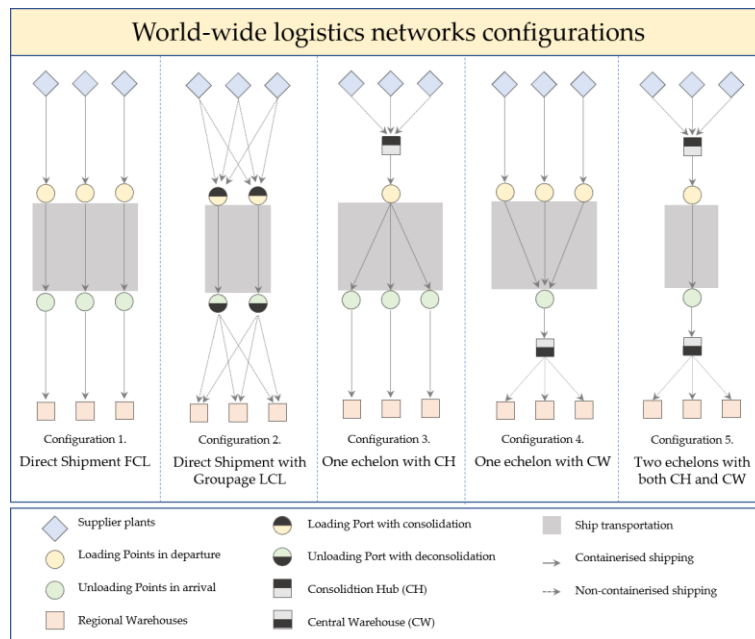
Existen cuatro divisiones básicas principales para empezar a comprender la actividad de una red logística. Todas ellas se refieren a sistemas tradicionales gestionados por una empresa o un pequeño grupo de ellas. En la actualidad, los sistemas tienden a ser mucho más complejos al estar los mercados más conectados y tener, por tanto, una mayor interdependencia entre todos ellos.



En relación con la gestión del transporte en redes de gran alcance en cuando a numero de clientes y área suministrada, muchos artículos están de acuerdo en que el transporte mediante unidades marítimas es el principal método utilizado. Se caracteriza por sus

bajas tarifas de flete y por su principal desventaja que son los largos tiempos de tránsito. Existen dos tipos principales de envío mediante contenedores: Full container load y less than container load. Normalmente las configuraciones de redes son personalizadas, aunque existen varias tendencias y prototipos que son seguidos por una gran parte de ellas. En concreto, varios autores explican que hay cinco configuraciones de transporte marítimo principales:

1. Envío directo + Full Container Load (FCL):
2. Envío directo + Grupage Containers (LCL):
3. Red de un escalón + Centro de consolidación arriba (cerca de proveedores):
4. Red de un escalón + Centro de almacenamiento abajo (cerca de consumidores):
5. Red de dos escalones + Centro de consolidación arriba y abajo:



La configuración 1 tiende a tener los tiempos de entrega más bajos al tener menos etapas en la cadena de transporte. Claramente, cuando hay más partes involucradas en la red como son la configuración 3 y 4, los tiempos de entrega suelen ser mas largos. El mismo patrón explica los mayores riesgos de hipotéticas demoras en los plazos de entrega (menor en la configuración 1 y mayor en la 5). Muchas compañías suelen adoptar estructuras similares a la 1, por su simplicidad menor interconexión con centros intermedios, reduciendo así potenciales problemas y asegurando tiempos de entrega menores.

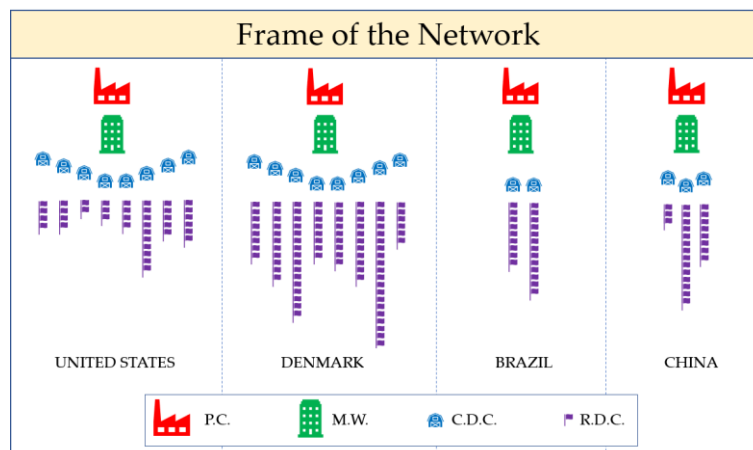
Capítulo 2

Estudio práctico de optimización de red global de distribución

Este apartado del documento se centra en el análisis del actual comportamiento de una red y de sus posibilidades de mejora en ciertos ámbitos de la misma. Los cambios que se plantean no generarían en ningún momento grandes modificaciones en las operaciones del mismo ya que, al ser una red de tan gran escala, es de gran dificultad poder definir cambios que afectasen a diferentes ámbitos de la misma sin conocer en detalle y tener valores analíticos de ella. Sin embargo, como se detalla en el siguiente recuadro, se puede ver como además de hacer un análisis detallado del estado de la red y del modelo logístico, se han propuesto diferentes escenarios de mejora o de hipotéticas situaciones reales y cómo la red podría responder a los mismos, así como que hipotéticos beneficios, desventajas o dificultades conllevarían cada uno de ellos.

- Introducción al estudio experimental del caso práctico
- Comportamiento actual y estructura de la red
- Modelos mejorados propuestos y optimización derivada
 2. Análisis de hipotéticos incrementos de demanda y limitaciones de la red
 3. Optimización de canales y métodos de transporte
 4. Diferenciación de canales de producción por canales
 5. Optimización de canales de producción
 6. Optimización combinada de métodos de transporte y producción
 7. Comparación de costes y estudio de implantación

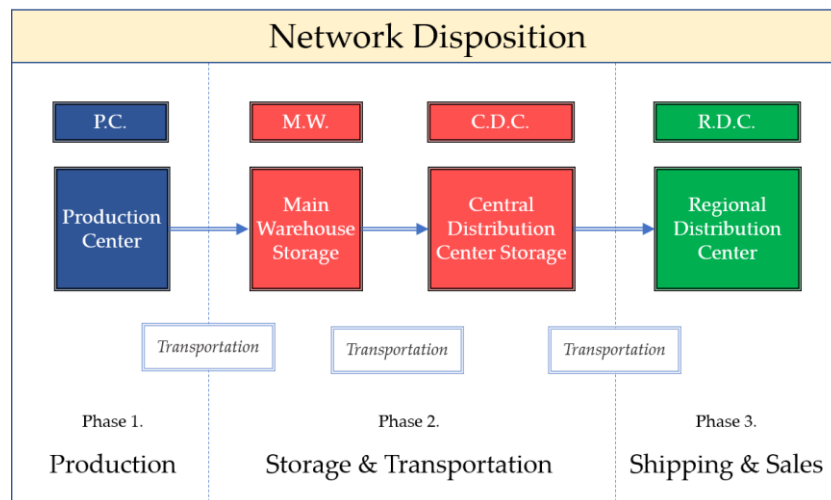
La red que se ha estudiado para este caso práctico consta de 4 canales de producción, repartidos de forma que cubren una gran extensión de terreno y, por tanto, suministran a una gran cantidad de consumidores. Las localizaciones de los centros de manufactura son las siguientes: Estados Unidos (Atlanta), Dinamarca (Aarhus), Brasil (Rio de Janeiro) y China (Shangai).



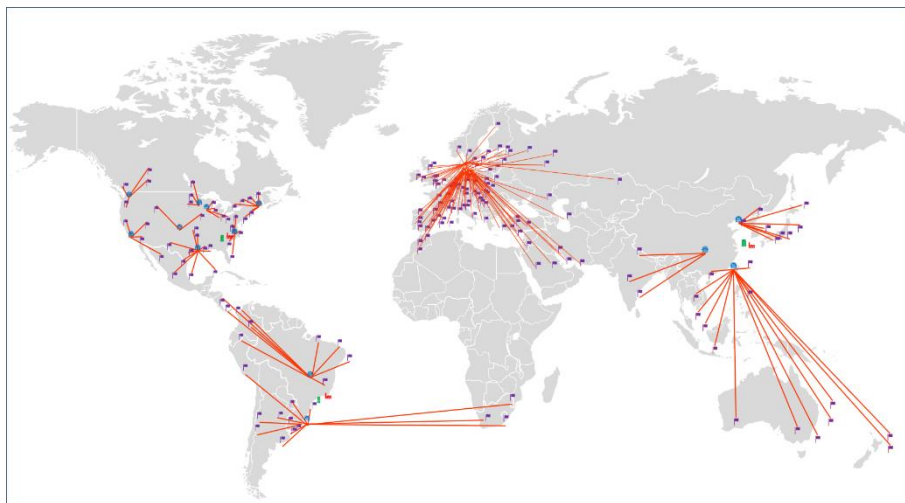
Además de un centro de producción (PC) ubicado en cada una de las localizaciones mencionadas anteriormente, la red se compone de otros centros intermedios que se utilizan para procesar los pedidos hasta el consumidor final. En concreto la red está formada por una nave de almacenamiento principal en cada uno de los cuatro canales de producción (MW), varios centros de distribución principales (CDC) y muchos otros centros de distribución secundarios o regionales (RDC). Como se puede visualizar en la imagen anterior existen diferente numero de centros en cada canal, siendo el numero exacto de componentes en ellos el siguiente:

- Canal de Estados Unidos: 1 PC, 1MW, 8 CDCs y 38 RDCs (4, 4, 2, 3, 4, 10, 5 y 6 respectivamente)
- Canal de Dinamarca: 1 PC, 1 MW, 8 CDCs y 89 RDCs (8, 11, 16, 8, 9, 11, 20 y 6 respectivamente)
- Canal de Brasil: 1PC, 1 MW, 2 CDCs y 22 RDCs (9 y 13 respectivamente)
- Canal de China: 1 PC, 1 MW, 3 CDCs y 25 RDCs (3, 14 y 8 respectivamente)

La secuencia de la red se detalla en la figura siguiente, teniendo en cuenta que en la red existe una última etapa que no ha sido objeto de análisis en este proyecto al tener insuficientes datos para poder comprender y estudiar su funcionamiento. Esta etapa se trata de la que suministraría directamente desde los centros regionales al consumidor final.

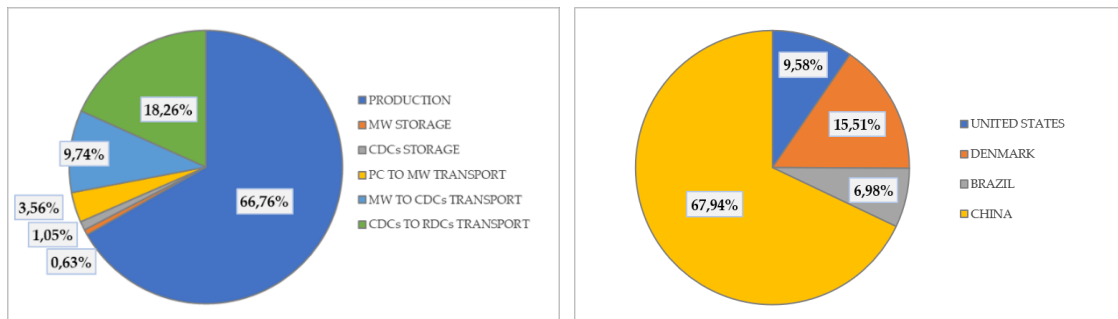


Teniendo en cuenta la estructura anterior y el numero de agentes que participan el proceso se puede entender la siguiente imagen, en la que todos ellos están representados. Cabe destacar el hecho de que los modos de transporte que se utilizan por esta compañía son únicamente vía terrestre por camiones y vía marítima por contenedores. Además, los agentes están por el momento asignados en base a la distancia mínima y, por tanto, el consumidor final es suministrado por un centro de producción u otro en base en la distancia a recorrer por el transportista. Sabiendo eso, se puede entender mejor la imagen en la que las conexiones y rutas están representadas a escala global. En ella se puede ver también la gran extensión que cubre esta compañía y entender, por tanto, las grandes cantidades de producción y venta que se manejan.



Sin más, interpretando los resultados anuales simplificados se puede ver como si dividimos los gastos totales por sectores la actividad que más coste supone es la producción (aproximadamente dos terceras partes del total), seguida por el transporte y siendo el almacenamiento de coste bajo en comparación con los otros dos.

Si por el contrario se representan los costes según canal de distribución, se puede ver como el canal chino representa el 68% de los gastos totales, siendo los otros tres considerablemente menos representativos en cuanto a costes.



Por supuesto, que el coste total del canal asiático sea mucho más alto está relacionado con que la demanda requerida para el mismo es ampliamente mayor que en los otros canales, teniendo éste que fabricar cantidades mayores de los productos ofrecidos.

2. Optimización de canales y métodos de transporte

Tal y como funciona la asignación de unidades de transporte, la compañía desaprovecha capacidad en muchas de sus unidades, ya que no basa sus cálculos en garantizar el llenado del 100% del volumen de transporte sino en enviar diariamente las unidades de producto a su destino, Sin embargo, utilizando las cantidades de productos existentes en los centro de almacenajes intermedios es posible garantizar ambos – la utilización completa de cada una de las unidades de transporte y la demanda diaria de los consumidores. Con ello se consigue reducir de manera muy notable el presupuesto destinado a gastos de traslado al reducir el numero de camiones o contenedores necesarios para enviar la misma cantidad de producto.

Para descifrar las cantidades que se deberían enviar diariamente y cuantas unidades habría que involucrar en basa a la demanda esperada durante dicho año estudiado, se ha seguido la siguiente formula.

- X_{i-1} : Variación acumulada entre productos ya suministrados y demanda real
- X_i : Diferencia acumulada entre volumen suministrado y demanda real después de operaciones diarias
- D_i : Demanda diaria solicitada a cada centro
- S_i : Volumen de productos enviados diariamente desde el centro
- C_t : Capacidad de transporte de los camiones
- C_s : Capacidad de transporte de los contenedores marítimos

$$\cdot \text{ IF } D_i \leq X_{i-1} \rightarrow S_i = 0$$

$$\& \quad X_i = X_{i-1} - D_i$$

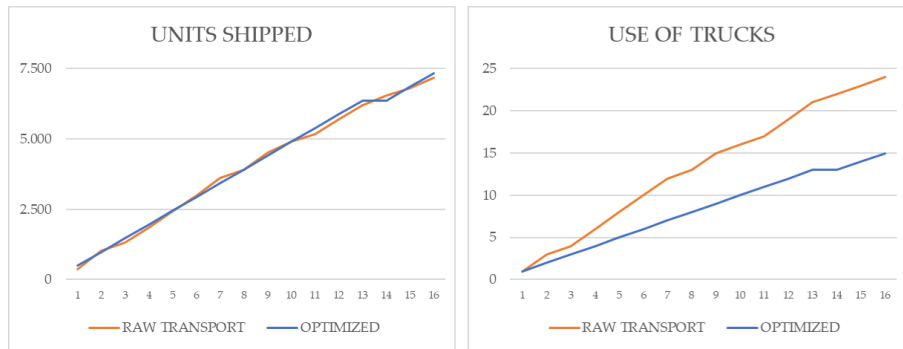
$$\cdot \text{ IF } D_i > X_{i-1} \rightarrow S_i = \text{ROUNDED } [D_i - X_{i-1}]^*$$

$$\& \quad X_i = \text{ROUNDED } [D_i - X_{i-1}]^* - [D_i - X_{i-1}]$$

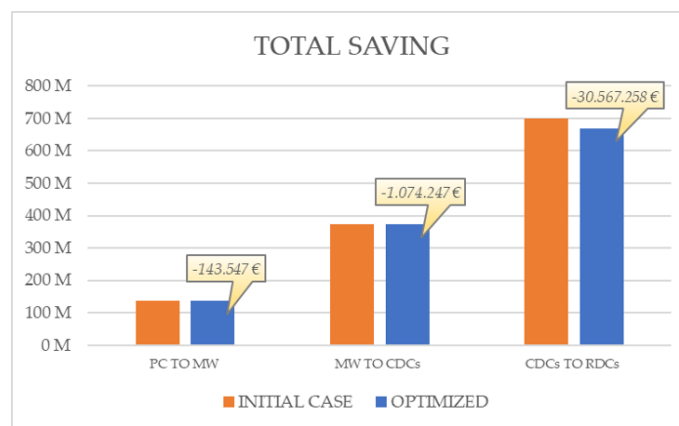
*Redondeado a multiples de C_t/C_s o a cero en caso de ser un valor bajo. **

Los resultados son realmente positivos y se consigue reducir notablemente tanto los recursos como los gastos destinados a la tarea de transporte.

A modo de ejemplo, analizando solamente una cantidad reducida de datos, se puede comprobar como con la nueva estrategia se sigue garantizando el suministro requerido a la vez que se rebaja proporcionalmente la necesidad de contratar unidades de transporte.



Resumiendo los resultados en término de costes anuales, se puede observar como se reduce en más de 31 millones de euros la inversión en transporte, siendo especialmente remarcable entre los centros de distribución principales y secundarios, donde hay más rutas y también más margen de mejora.

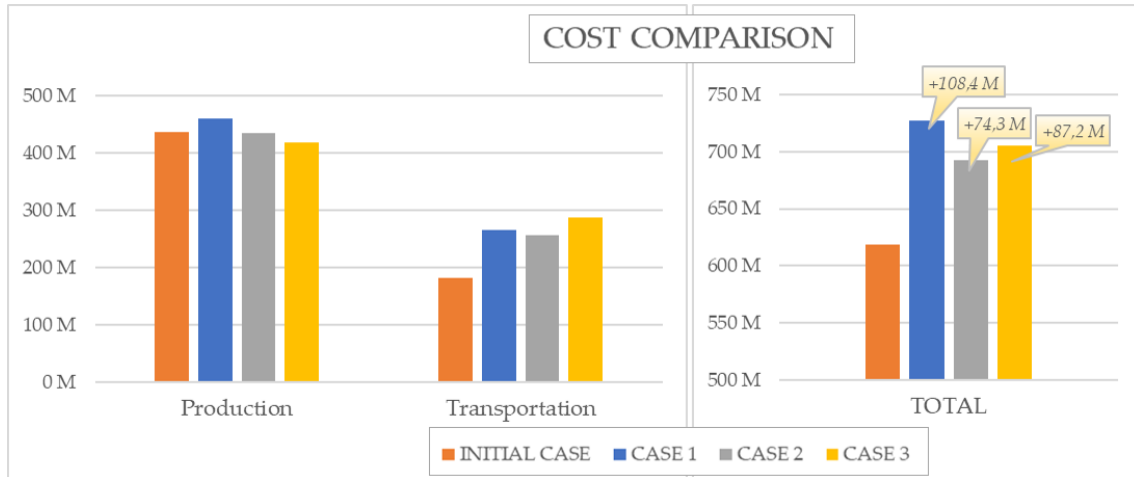


3. Diferenciación de canales de producción por canales

La compañía ofrece 3 productos diferentes. Estos tres tipos de productos se producen todos en cada uno de los cuatro centros de producción. Sin embargo, ninguno de ellos está funcionando a máxima capacidad y algunos de ellos (Brasil y China) son considerablemente más interesantes desde el punto de vista económico ya que la producción en ellos es más barata.

Se pretende estudiar que pasaría si alguno de los centros de producción se especializara en ciertos productos y otro en los restantes. Para ello se ha hecho un estudio detallado sobre que combinación podría traer resultados más positivos y se ha concluido que el intercambio de demanda y especialización de producción entre Brasil y Estados Unidos podría ser beneficioso. Sin embargo, la dificultad de este escenario es que, aunque los costes de producción se puedan reducir respecto a los actuales, los costes de transporte esperados son mayores debido a la mayor distancia que habrá ahora en aquellas rutas entre norte y Sudamérica. Por eso, es necesario comprobar si el comportamiento global de esta nueva suposición pudiese ser favorable. Para estudiar varias opciones se ha supuesto el intercambio de producción entre diferentes productos en un total de tres casos diferentes.

Sin embargo, y como se puede visualizar en la siguiente imagen, pese a que los gastos de producción se reducen en alguno de los tres casos respecto al caso actual, los costes extras derivados del transporte son excesivamente grandes y no compensará en ningún caso implementar esta nueva propuesta.

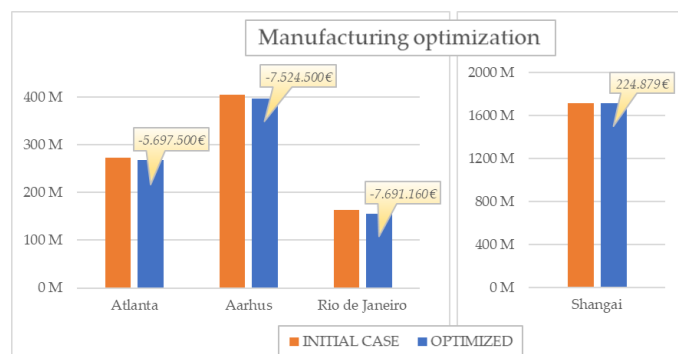


4. Optimización de canales de producción

Los costes de producción se dividen en tres diferentes: coste unitario por producto fabricado, coste horario por cuando línea de producción en funcionamiento y, por último, coste diario por apertura de línea de manufactura en los centros de producción.

Actualmente y, pese a que la demanda no representa la máxima capacidad de los centros, todos ellos abren sus puertas y todas sus líneas diariamente. Esto hace que los gastos fijos por poner en marcha personal, maquinaria e infraestructura necesaria sean pagados cada uno de los días del año. Por eso, en este escenario se plantea la posibilidad de utilizar las líneas de producción en su máxima capacidad durante gran parte de los días del año y pararlas completamente durante otros para ahorrar los costes de infraestructura mientras que se sigue garantizando los ratios de producción requeridos.

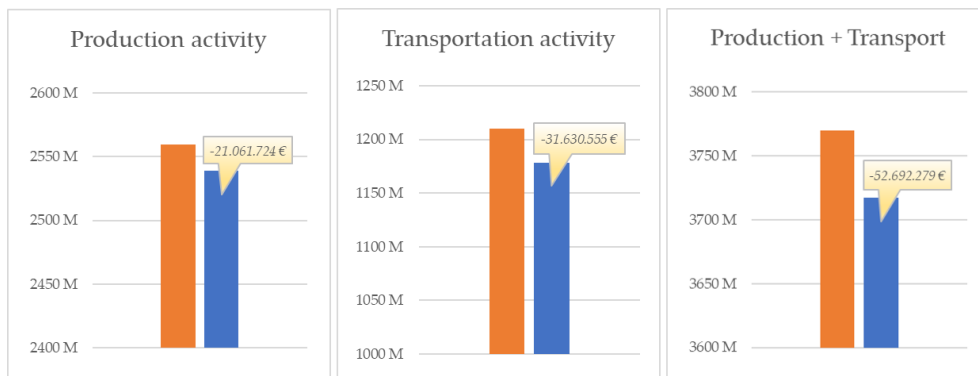
Claramente, aquellos centros donde el porcentaje de producción esté más por debajo del volumen posible total serán aquellos donde la reducción del número de días de trabajo será mayor. Otro factor a tener en cuenta es el precio diario que se paga en cada una de las fábricas, ya que no es igual en cada una de ellas.



Esos dos factores combinados hacen que una hipotética implementación de este escenario estudiado conlleve una rebaja del presupuesto total destinado a producción de aproximadamente unos 21 millones de euros. Teniendo en cuenta la fácil maniobra que poner este sistema en marcha supondría, este beneficio parece ser una cifra realmente significativa.

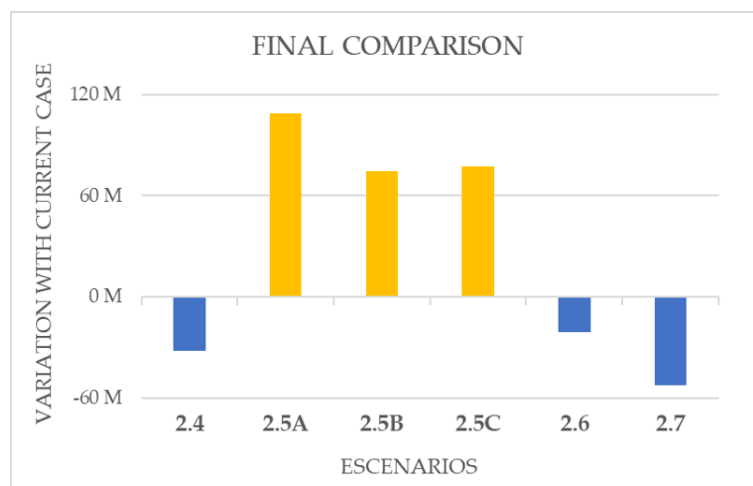
5. Optimización combinada de métodos de transporte y producción

Teniendo en cuenta los resultados positivos de modificar la tarea productiva de transporte, también se ha analizado en detalle la ventaja que la implementación en ambas áreas supondría. El ahorro ascendería a aproximadamente 52 millones de euros.



6. Comparación de costes y estudio de implantación

En resumen y, comparando cada uno de los escenarios estudiados, se concluye que mientras que el escenario relativo con la diferenciación y especialización de los centros productivos no saldría rentable en ninguno de los tres casos analizados, los relativos con la reorganización de la producción y del envío de unidades relativo al sistema de transporte son realmente beneficiosas y serían de fácil implementación.



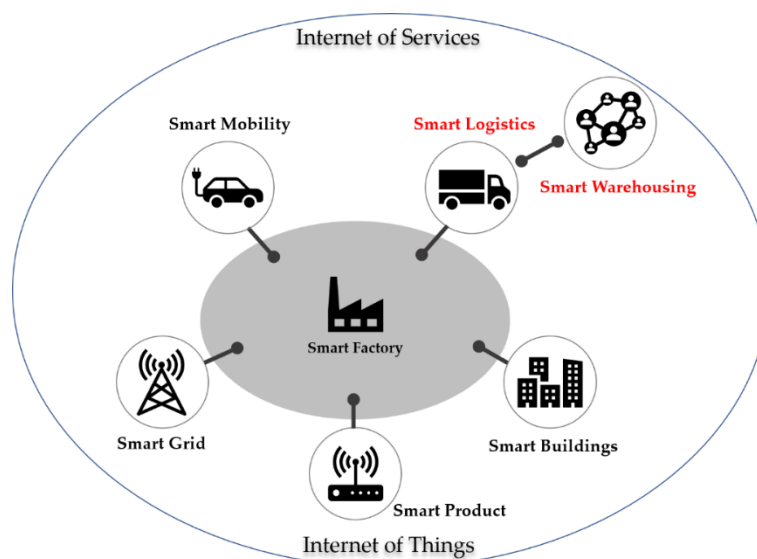
Capítulo 3

Industria 4.0 y sistemas “Smart” de almacenaje

La evolución de la tecnología cibernética y su impacto y conexión con sistemas digitales que ya existían en las redes ha provocado la aparición de una nueva era que se conoce como “Industria 4.0”. Este nuevo concepto industrial describe la nueva integración, desarrollo y mejora de las tecnologías de la comunicación y de la información, así como la digitalización de los procesos. Este nuevo modelo persigue la implementación de un modelo de manufactura digital, usualmente conocido como “Smart”, que promueve la flexibilidad de las operaciones, integración con clientes y proveedores y nuevas ideas innovadoras a lo largo de la cadena. El objetivo es crear redes inteligentes tanto a nivel de procesos como de productos a lo largo de toda la cadena de valor. El objetivo final de la industria 4.0 es facilitar procesos de manufactura flexibles y personalizados al coste más bajo posible para grandes niveles de producción.

El Internet de las Cosas (IoT) es el concepto que se refiere a la conexión de cualquier aparato con una red inteligente mediante el uso de Internet. IoT ha afectado al modo en que los sistemas ciber-físicos (CPS) interactúan, se controlan, gestionan y monitorizan. En este nuevo modelo industrial los ambientes de trabajo serán totalmente automatizados gracias a la apropiada interacción entre IoT y CPS, mientras que los datos serán procesados ahora de forma online gracias al uso de Cloud Computing.

El uso de aplicaciones tecnológicas y el desarrollo de redes inalámbricas con sensores embebidos y actuadores nos lleva hacia nuevas aplicaciones en nuevas áreas como la producción, transporte, sistemas logísticos, servicios autónomos... todos ellos ayudando a mejorar los sistemas que ya existen como los SCADA.



Este concepto y su innovativo nivel de organización y control de todo el sistema de valor añadido, que considera el ciclo completo de los productos con el objetivo final de garantizar el suministro de las necesidades de los consumidores, se compone de muchas áreas denominadas inteligentes como Smart mobility, Smart logistics (warehousing), Smart buildings, Smart grids...

Esta era cambiará la forma en la que la tarea humana se desarrollara y será útil para los procesos, ya que se necesitará que las personas se encarguen de procesos que requieran inteligencia en lugar de automatización, que será realizada automáticamente por sistemas digitales.

Por último, mencionar que para poder desarrollar sistemas de Smart Warehouses basadas en sistemas ciber-físicos y sensores se deben considerar en detalle los siguientes cuatro aspectos: eficientes canales de comunicación, localización precisa y robusta, colaboración multi-robot y reconocimiento de la actividad humana.