



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER LEAN LOGISTICS PPG

Autor: Miguel Ángel JUAREZ HERVELLA

Director: Ignacio TORNOS DE INZA

Co-Director: Miguel Ángel ESPINAR

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

LEAN LOGISTICS PPG

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Miguel Ángel JUÁREZ HERVELLA

Fecha: 02/08/2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Ignacio TORNOS DE INZA

Fecha://

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and strokes, located at the bottom right of the page.

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. _____ Miguel Ángel JUÁREZ HERVELLA _____
DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

LEAN LOGISTICS PPG _____, que
ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...2.. de AGOSTO.. de ...2021.....

ACEPTA

Fdo.....



.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER LEAN LOGISTICS PPG

Autor: Miguel Ángel JUÁREZ HERVELLA

Director: Ignacio TORNOS DE INZA

Co-Director: Miguel Ángel ESPINAR

Madrid

Agradecimientos

Quería agradecer enormemente a la empresa PPG por haberme dado la oportunidad de colaborar con ellos en este proyecto tan enriquecedor y dinámico. Más aun a Miguel Ángel Espinar por su haberme guiado a lo largo del desarrollo del proyecto.

LEAN LOGISTICS

Autor: JUÁREZ HERVELLA, MIGUEL ÁNGEL.

Director: TORNOS DE INZA IGNACIO.

Entidad Colaboradora: PPG

RESUMEN DEL PROYECTO

Debido a una decisión a nivel interno dentro de la compañía de PPG la producción de algunos materiales que antes se producían en Alemania comenzarán a producirse en la fábrica de PPG de Valladolid. El objetivo del proyecto será conocer la opción más optima de transporte de mercancías para la nueva situación.

Palabras clave: Lean, transporte, PPG, pinturas.

1. Introducción

PPG es una fábrica de pinturas y recubrimientos destinados a proteger y embellecer una superficie. Las fábricas de PPG en Wuppertal y Weingarten están enfocadas en el sector de la Pintura del Automóvil.

Los costes de producción en Alemania son bastante elevados y se debe en gran medida a los costes de mano de obra, por lo que a nivel interno se decide mover su producción a la fábrica de PPG en Valladolid (por esta razón, entre otras).

2. Definición del Proyecto

El Proyecto consiste en, una vez se ha decidido que la producción se va a realizar en Valladolid, analizar la opción más optima para transportar las mercancías a los antiguos clientes (en Alemania).

Se considerarán dos opciones:

1. Transportar la mercancía a las antiguas fábricas (Wuppertal y Weingarten)> distribuir a los clientes alemanes.
2. Transportar las mercancías desde España directamente al cliente final.

Los indicadores que se tendrán en cuenta para la decisión son: costes totales (€), distancia recorrida (km) y Lead Time (días).

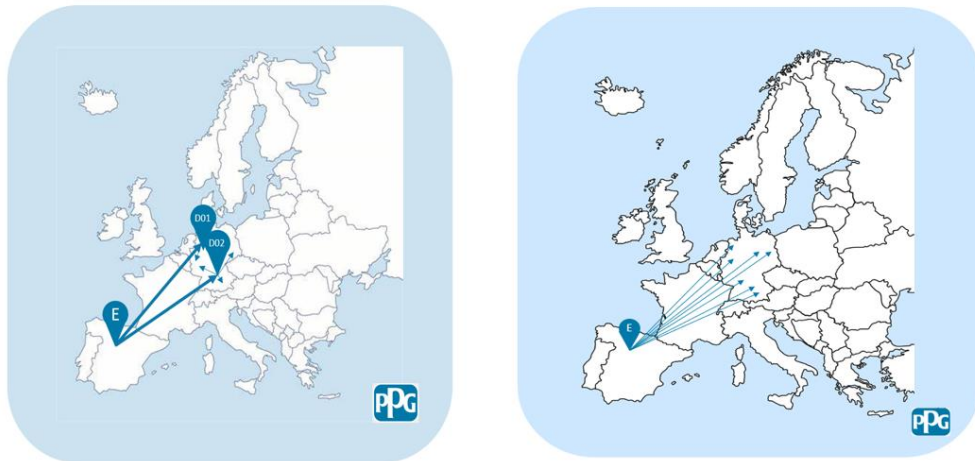


Figura 1: Gráfica de opciones que se compararán a lo largo del proyecto

Además, se tiene como objetivo del proyecto tener conocimiento de la Supply Chain de PPG.

3. Descripción del modelo

Para analizar los datos se ha considerado un año que se cree que es una muestra representativa, en este caso 2019. Se realizan los siguientes análisis con sus correspondientes herramientas:

1. Se analizan y clasifican los productos en ABC/XYZ para prever posibles imprevistos en el futuro y conocer cuál sería la mercancía a priorizar.
2. Se analiza la demanda y se hace una previsión de la demanda para 2022 con el objetivo de entender el comportamiento del cliente y prever el transporte que será necesario.
3. Se analiza la gestión del inventario para ver la opción más óptima de entrega.
4. Se analizan los costes históricos para calcular indicadores de la Opción 1.
5. Se lleva a cabo un modelo para estimar los indicadores de la Opción 2 (teniendo en cuenta el error del modelo)
6. Se clusterizan los clientes para ver posibles combinaciones en las entregas de manera que siempre se hagan de la forma más óptima posible.
7. De manera adicional al proyecto, se calcula cual sería la ubicación más óptima de un almacén para reducir al mínimo los costes de transporte.

Los análisis se llevan a cabo extrayendo los datos desde QlikView y transformándolos y cargándolos en PowerBi (generalmente).

4. Resultados

Los resultados del análisis de las dos opciones fueron los siguientes:

	Opción 1	Opción 2	% Comparativo
Coste total de Transporte (año estimado) (€)	3.543.676,00 €	3.965.946,89 €	89%
Distancia Recorrida (km)	1.407.968 km	2.075.135 km	68%
Lead time	1 día	5 días	20%

Figura 2: Tabla de resultados

5. Conclusiones

Como se puede observar, la opción más optima de transporte sería la Opción 1 ya que es aquella que tiene menores costes. Además, la distancia recorrida es la mínima y por lo tanto las emisiones del transporte son menores. Por último, el Lead Time es mucho menor en esta opción lo que nos permite tener más capacidad de reacción ante imprevistos y una mejor relación con el cliente.

LEAN LOGISTICS

Author: JUÁREZ HERVELLA, MIGUEL ÁNGEL.

Director: TORNOS DE INZA IGNACIO.

Collaborating Entity: PPG

ABSTRACT

Due to an internal decision within the PPG company, the production of some materials that were previously produced in Germany will start to be produced in the PPG factory in Valladolid. The aim of the project will be to find out the most optimal freight transport option for the new situation.

Keywords: Lean, transport, PPG,

1. Introduction

PPG is a manufacturer of paints and coatings to protect and beautify a surface. PPG's plants in Wuppertal and Weingarten are focused on the automotive paint sector.

The production costs in Germany are quite high and this is largely due to labour costs, so internally it was decided to move their production to the PPG factory in Valladolid (for this reason, among others).

2. Project definition

The project consists of, once it has been decided that production is to be carried out in Valladolid, analysing the most optimal option for transporting the goods to the former customers (in Germany).

Two options will be considered:

1. Transport the goods to the former factories (Wuppertal and Weingarten)> distribute to the German customers.
2. Transport the goods from Spain directly to the final customer.

The indicators to be taken into account for the decision are: total costs (€), distance travelled (km) and Lead Time (days).

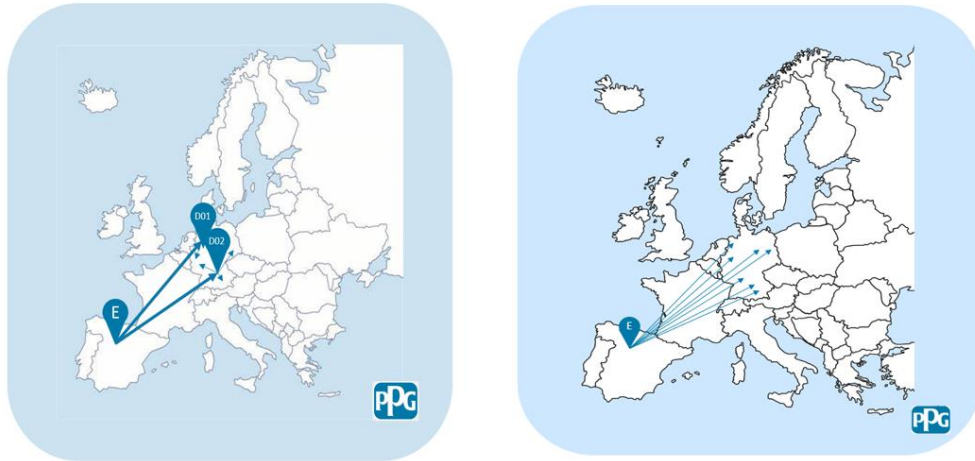


Figure 1: The two options that will be considered in the project

3. Description of the model

To analyse the data, a year has been considered that is believed to be a representative sample, in this case 2019. The following analyses are carried out with their corresponding tools:

1. The products are analysed and classified in ABC/XYZ in order to foresee possible unforeseen events in the future and to know which merchandise should be prioritised.
2. The demand is analysed and a demand forecast is made for 2022 in order to understand customer behaviour and forecast the transport that will be necessary.
3. Inventory management is analysed to see the most optimal delivery option.
4. Historical costs are analysed to calculate indicators for Option 1.
5. A model is carried out to estimate the indicators for Option 2 (taking into account model error).
6. Cluster the customers to see possible combinations of deliveries so that they are always made in the most optimal way possible.
7. In addition to the project, it is calculated which would be the most optimal location of a warehouse to minimise transport costs.

The analyses are carried out by extracting the data from QlikView and transforming and loading it into PowerBi (usually).

4. Results

The results of the analysis of the two options were as follows:

	Opción 1		Opción 2	% Comparativo
	3.543.676,00 €		3.965.946,89 €	89%
	1.407.968 km		2.075.135 km	68%
	1 día		5 días	20%
Coste total de Transporte (año estimado) (€)				
Distancia Recorrida (km)				
Lead time				

Figure 2: Results table

5. Conclusions

As can be seen, the most optimal transport option would be Option 1 as it is the one with the lowest costs. In addition, the distance travelled is the minimum and therefore transport emissions are lower. Finally, the Lead Time is much lower in this option, which allows us to have more capacity to react to unforeseen events and a better relationship with the client.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Acerca de PPG.....	6
1.2 Motivación del proyecto.....	6
1.3 Acerca del Proyecto.....	8
1.4 ¿Por qué LEAN Logistics Methodology?	9
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	12
2.1 QlikView	12
2.2 Power BI Desktop	12
2.3 Uso de las Tecnologías.....	13
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	14
3.1 Productos de PPG (Automóvil).....	14
3.2 Situación Actual: Producción Actual y Oportunidad de mejora	17
3.3 Nuevo País de Fabricación	18
3.4 Clientes de la Industria del Automóvil de PPG en Alemania.....	20
Capítulo 4. Análisis de los Flujos Logísticos.....	23
4.1 Objetivos	23
4.2 Previsión de la Demanda	24
4.2.1 Previsiones 1: Ventas Totales PPG.....	28
4.2.2 Previsiones 2: Ventas de los items seleccionados en 2019 (kg).....	32
4.3 Clasificación del Surtido ABC/XYZ.....	35
4.4 Modos de Transporte.....	40
4.5 Análisis del Transporte España-Alemania-Clientes	42
4.5.1 Análisis de los Costes de Transporte España-Alemania-Clientes.....	43
4.5.2 Distancia Recorrida (España-Alemania-Clientes).....	50
4.5.3 Gestión del inventario MOQ (make-to-stock) (Justificación del Lead Time)	53
4.5.4 Tiempo de trayecto (España-Alemania- Clientes).....	57
4.6 Análisis del Transporte España-Clientes	59
4.6.1 Análisis de los Costes de Transporte España-Clientes	60
4.6.2 Distancia Recorrida (España- Clientes)	63

4.6.3 Tiempo de trayecto (España- Clientes)	65
4.7 Clusterización de clientes	66
Capítulo 5. Interpretación de los resultados.....	69
Capítulo 6. Ubicación Optima del Almacén	72
Capítulo 7. Objetivos del Desarrollo Sostenible	77
Capítulo 8. Bibliografía.....	79
ANEXO I: Materiales Elegidos.....	81
ANEXO II: Demanda Real 2019 de algunos ITEMS	84
ANEXO III: Costes de Transporte Valladolid-Alemania	85
ANEXO IV: Procedimiento Problema Optimización con Solver	86

Índice de figuras

Figura 1	Ejemplo Primer PPG	13
Figura 2	Ejemplo Barniz PPG	14
Figura 3	Ejemplo Pintura PPG	14
Figura 4	Listado de clientes de PPG en Alemania	20
Figura 5	Proceso ATO en PPG	24
Figura 6	Proceso MTO en PPG	24
Figura 7	Proceso MTS en PPG	25
Figura 8	Ecuación para estimar la demanda	26
Figura 9	Ventas (en millones) trimestrales de 2017, 2018 y 2019	27
Figura 10	Ecuación para calcular la demanda desestacionalizada	27
Figura 11	Demanda desestacionalizada en los periodos de los años 2017, 2018 y 2019	27
Figura 12	Demanda desestacionalizada en los periodos de los años 2017, 2018 y 2019	28
Figura 13	Ecuación de la demanda desestacionalizada en los periodos de los años 2017, 2018 y 2019	28
Figura 14	Ecuación para determinar el factor estacional	28
Figura 15	Factor estacional de los años 2017, 2018 y 2019	29
Figura 16	Previsión de la demanda trimestral en 2022	29
Figura 17	Gráfico de la previsión de la demanda trimestral en 2022	30
Figura 18	Demanda agregada en 2019 de los ítems seleccionados	31
Figura 19	Previsión de la demanda en 2022 de los ítems seleccionados	31
Figura 20	Gráfica previsión de la demanda en 2022 de los ítems seleccionados	32
Figura 21	Clasificación ABC(valor) XYZ (rotación)	35
Figura 22	Clasificación ABC(kg) XYZ (rotación)	36
Figura 23	Clasificación ABC(kg) XYZ (rotación) para pinturas	37
Figura 24	Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes	40
Figura 25	Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes	43
Figura 26	Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes (func. 1)	43
Figura 27	Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes (func. 2)	44
Figura 28	Coste total de transportar la mercancía de España a las fábricas de Alemania (en 2019)	44
Figura 29	Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes (D-C)	45
Figura 30	Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Ford Cologne	46
Figura 31	Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Mercedes Ludwigsfelde	47

	Coste total de transportar la mercancía de España>Alemania>Clientes	
Figura 32	(considerando la demanda en 2019)	47
Figura 33	Demanda ficticia Valladolid a Alemania	48
Figura 34	Número de entregas a Weingarten	49
Figura 35	Número de entregas a Wuppertal	49
Figura 36	Km recorridos de Alemania a Clientes	50
Figura 37	Modelo EOQ PPG	51
Figura 38	Ecuación Reorder Point	52
Figura 39	Demanda teórica diaria de un primer escogido	53
Figura 40	Stock mínimo teórico de un primer escogido	53
Figura 41	Stock de seguridad teórico de un primer escogido	53
Figura 42	Reorder Point teórico de un primer escogido	54
Figura 43	Stock máximo teórica de un primer escogido	54
Figura 44	Modelo EOQ de gestión de inventarios para un primer	54
Figura 45	Opción 1 Flujo Valladolid-Alemania-Clientes	56
Figura 46	Opción 2 transporte España-Clientes	57
	Ecuación para estimar los costes de transporte de la Opción 2	
Figura 47	transporte España-Clientes	58
Figura 48	Detalle del total entregas a 3 clientes en 2019	59
	Ecuación resuelta para estimar los costes de transporte de la Opción 2	
Figura 49	transporte España-Clientes	59
	Parte 1 Tabla Estimación Costes Totales considerando la demanda en	
Figura 50	2019	60
	Parte 2 Tabla Estimación Costes Totales considerando la demanda en	
Figura 51	2019	61
	Tabla Distancia recorrida considerando la Opción de Transporte 2 y la	
Figura 52	demanda en 2019	62
Figura 53	Tiempo de trayecto Opción 2 (España-Clientes)	63
Figura 54	Clientes sin clusterizar	65
Figura 55	Clientes Cluster	66
Figura 56	Resultados Análisis Opción 1	67
Figura 57	Resultados Análisis Opción 2	68
Figura 58	Comparativa resultados Opción 1 y Opción 2	68
	Escenario 1 Clientes y demanda a considerar para la ubicación del	
Figura 59	almacén	71
	Escenario 1 Gráfica de clientes y demanda a considerar para la	
Figura 60	ubicación del almacén	72
Figura 61	Ecuación a optimizar	72
Figura 62	Resultados Escenario 1	73

Figura 63 Resultados Escenario 2

73

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ACERCA DE PPG

La empresa se define como aquella que produce recubrimientos y pinturas que protegen y embellecen el mundo. Es por lo tanto un proveedor de pinturas, recubrimientos y materiales especiales que cuenta con más de 47.000 empleados de los cuales en EMEA están 15.600 y se encuentra presente en más de 70 países del mundo. (PPG, 2019)

PPG fue fundada en 1883 como Pittsburgh Plate Glass por John B. Ford y John Pitcairn. Hoy en día cuenta con 156 plantas en todo el mundo (45 plantas en US, 14 plantas en América Otros, 64 plantas en EMEA y 33 plantas en APAC). (PPG, 2019)

A nivel financiero, PPG facturó un total de \$13,8billones en 2020 (teniendo en cuenta que fue el año del COVID) y está posicionada en el ranking de Fortune 500 en el puesto 209. Por último, las acciones de PPG cotizan en la bolsa de valores de Nueva York (“NY Stock Exchange”) con el símbolo PPG.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En 2014 tuve la oportunidad de colaborar con PPG en Stowmarket en Inglaterra. La empresa de PPG en Stowmarket estaba centrada en producir 4 tipos de productos:

1. Clear: estos materiales recubren el producto formando una película que les protege del agua, la humedad la gasolina, productos químicos suaves, sal, algunos humos, etc. Por lo tanto, protegen de la corrosión y el deterioro prematuro.
2. Aquabase: este material es ideal para aplicarlo en productos de automoción, mobiliario, o incluso calzado y marroquinería. Crea una superficie brillante y duradera de alto rendimiento que deja la superficie elegante y suave.

3. Hardeners: es un recubrimiento que protege la superficie de los cambios climáticos y las condiciones climatológicas, además de ser resistente a algunos químicos, proteger del impacto mecánico y rayos UVA.
4. Productos pigmentados: son pinturas destinadas a recubrir automóviles principalmente pero también compiten en otros sectores como Arquitectura, Protección Marina, Industria General, Packaging, etc. Son los que dan color y embellecen aquello que protegen.

Durante mi estancia aprendí lo que era “LEAN Methodology” o Metodología LEAN, es decir, hacer las cosas cada vez mejor, de más calidad, más rápido y con menores costes. Mientras cooperaba con ellos estuve trabajando en desarrollar los VSM (Value Stream Maps) de estos cuatro tipos de productos. De esta forma, al final conseguimos identificar aquellas partes del proceso que no añadían valor a la producción para eliminarlos.

En 2018 tuve una experiencia parecida en Amcor Ilkeston, UK. Durante mi estancia estuve analizando los residuos del proceso de producción para determinar su origen y tratar de reducirlos, además participé en un proyecto de SMED con el que conseguimos reducir el tiempo de cambio de lote en un 20%. Por último, en 2019 volví a colaborar con esta empresa en Paris, Francia, en un proyecto que se basaba en la migración de un proceso sobre papel de registro de residuos que generaban cada una de las máquinas (19 máquinas) a uno automático, de esta forma conseguimos reducir el tiempo de trabajo de los operarios.

Estos proyectos siempre han sido “en planta”, por lo que para completar mi formación en LEAN tenía muchas ganas de desarrollar un proyecto que se alejara más de la producción. PPG es una empresa multinacional, muy dinámica e innovadora con un ambiente VUCA por lo que tenía muchas ganas de desarrollar este proyecto con ellos.

1.3 ACERCA DEL PROYECTO

Este proyecto se desarrolla colaborando con la planta que PPG tiene en Valladolid (Laguna de Duero). Esta empresa se enfoca en la producción de recubrimientos y pinturas destinadas al sector del automóvil y de la Industria General.

Para este proyecto hemos utilizado la metodología DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*) para su desarrollo por lo que a continuación explicaremos los diferentes puntos como un One Page del proyecto.

- **DEFINE:** La empresa PPG plantea la posibilidad que, a partir de 2022, una serie de productos que se fabrican actualmente en Alemania pasaran a ser fabricados en Valladolid. Al ser un producto con un coste unitario por kilogramo no muy elevado se espera que los costes de distribución y transporte pueden generar un impacto significativo en el proyecto. Por lo tanto, el problema que se plantea será optimizar las opciones de transporte.
- **MEASURE:** Se ha medido la dimensión del problema utilizando el programa QlickView, utilizado para calcular los costes logísticos. Así se ha podido comparar el coste de transportar un producto desde Alemania y desde España a los diferentes clientes.
- **ANALYZE:** En este punto, se utiliza la herramienta de Power BI para analizar los datos obtenidos con las medidas y se elige una banda de medida. Esto es una muestra representativa de los costes ya que al haber mucha diversidad en los envíos pueden distorsionar el dato final. Además, se hace una estimación de la demanda en 2022 tanto por Net Sales (aproximación no muy buena por la agregación de productos que se verá en puntos más avanzados del proyecto, pero datos accesibles a todo el mundo) como por históricos de esos productos concretos. Así pues, se analiza la opción de enviar el producto desde la fábrica de Valladolid (España) a las fábricas de Wuppertal y Weingarten (Alemania) y de estas distribuirlo a los diferentes clientes.

- **IMPROVE:** En este punto se plantea la opción de hacer la distribución desde Valladolid (España) directamente al cliente, tomando como base unas tarifas logísticas de diferentes empresas de transporte previamente negociadas.
- **CONTROL:** En este punto, a futuro pero fuera del scope del proyecto, se medirán los costes de la opción elegida para futuros usos de la herramienta que se construya.

Además de llevar a cabo el proyecto base, se clusterizarán a los clientes para ver posibles combinaciones de transporte en función de la cercanía de los clientes. Además, se creará una herramienta para poder hacer el análisis de manera automática utilizando la herramienta PowerBi.

Por lo tanto, podríamos definir el proyecto como la búsqueda de la opción óptima de transporte teniendo en cuenta los Costes de Transporte, la Sostenibilidad y el Servicio al Cliente. Esto debe ser analizado minuciosamente ya que PPG es una empresa que está muy comprometida con la sociedad y el medio ambiente.

1.4 ¿POR QUÉ LEAN LOGISTICS METHODOLOGY?

LEAN Logistics como dicho con anterioridad sigue la metodología LEAN, esto es: “hacer más con menos”. La idea de LEAN es tratar de identificar aquellas partes del proceso o actividades que no añaden valor al producto para tratar de eliminarlos. Es por lo tanto una filosofía de gestión y organización de operaciones. Dentro de esta filosofía cabe destacar que intenta reducir espacio, equipamiento, tiempo y costes. Y sobre todo eliminar los desperdicios.

Para este caso, nos centraremos en la reducción no solo de los costes logísticos sino también en reducir el “Cycle Time” del pedido. Por lo tanto, podemos decir que utilizaremos esta metodología para aumentar también la eficiencia de la logística.

Una de las ventajas de las que partimos en este proyecto es que PPG utiliza la metodología JIT, es decir:

1. Trata de **reducir los inventarios y producir lo necesario**, de esta forma no solo se reducen los costes de inventario, sino que al tener un sistema de inventario con stocks mínimos se reduce el riesgo de obsolescencia que, aunque es cierto que los materiales que se producen en PPG no tienen una alta rotación en catálogo, su vida útil es muy limitada por lo que es un riesgo que no se debe asumir. Además, cabe destacar que el producto que fabrica PPG lo produce en grandes volúmenes por lo que la reducción de los costes de inventario provoca un gran impacto en el balance de PPG.
2. Tiene mucha **capacidad de reacción a los imprevistos**. La industria del automóvil al fin y al cabo es una industria muy volátil, ya que funciona mucho por tendencias y modas y esto provoca que los fabricantes se deban adaptar a la situación en cada momento. Además, cada vez existen más normativas de seguridad a las que los fabricantes deben hacer frente. Al ser PPG proveedor directo de este sector implica que se encuentra también dentro de este entorno cambiante donde la flexibilidad y la rápida capacidad de adaptación deben ser consideradas.
3. Tiene la **correcta coordinación entre proveedores y clientes**. Para lograr tanto el flujo de información como el de la transmisión del valor de la forma más optima PPG elige cuidadosamente a sus proveedores y mantiene una muy buena relación con ellos.

Una de las razones por las que la metodología JIT está incorporada en la filosofía de PPG es porque como veremos más adelante la demanda agregada de los productos de PPG es de alguna manera estable.

Teniendo esto en cuenta en este proyecto nos centraremos en los siguientes puntos que siguen la metodología LEAN Logistics.

1. **Identificar actividades que no añaden valor**: en este caso nos centraremos en los envíos ineficientes, es decir, aquellos envíos en los que la capacidad del camión es mayor que el contenido del propio camión.

2. **Crear el flujo de transporte más optimizado:** en este caso estudiaremos las diferentes opciones del flujo de transporte para conseguir la opción más optima en cuanto al conjunto de costes, tiempo y el respeto al medio ambiente.
3. **Detectar los despilfarros:** identificar posibles combinaciones de entregas en función de la cercanía de los clientes para tratar de reducir los costes de transporte y emisiones.

Finalmente, este proyecto se centrará en aplicar la metodología LEAN Logistics al futuro flujo de transporte que habrá entre España y los clientes alemanes que compran el producto producido hasta ahora en Alemania.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Para el desarrollo de este proyecto hemos utilizado principalmente dos tecnologías: Power BI y QlikView. Ambos son herramientas muy potentes que nos ayudan a tratar los datos y analizarlos de una manera rápida y sencilla. A continuación, los describiremos con más detalle.

2.1 QLIKVIEW

Se trata de una de las herramientas líderes en el mercado del análisis de datos ya que se caracteriza por la habilidad que tiene de ejecución y de la completa visión que puede aportar. Pertenece a la empresa sueca QlikTech (líder en soluciones empresariales de B.I.). Esta herramienta permite recoger datos de orígenes diferentes (Data Warehouses, SQL, ERP, CRM, Excel...) para poder analizarlos y conseguir un output muy visual. La característica por la que más destaca QlikView es la facilidad de su uso. Por lo tanto, sería una herramienta que puede llegar a comprarse con otras plataformas como: Tableau, SAS, ThoughtSpot, Salesforce, IBM...

2.2 POWER BI DESKTOP

Es una herramienta que genera una gran cantidad de beneficios para la empresa ya que es un sistema inteligente y predictivo que es capaz de traducir datos simples y complejos en paneles o informes de contenido muy visual. Además, tiene integrado la herramienta de PowerQuery (herramienta de obtención, transformación y carga de datos) de Excel. Se utiliza esta herramienta en el proyecto ya que permite unir diferentes fuentes de datos y analizarlos posteriormente para dar un output muy visual a través de informes y paneles. Los orígenes de datos que se pueden utilizar en esta herramienta son: Excel, SQL Servers, Text/CSV, Web, Analysis Services, SharePoint Files... Por lo tanto, permite extraer datos de diferentes fuentes “poco visibles” y transformarlos fácilmente en informes. Además

destaca por la capacidad de crear conexiones dentro del panel entre los diferentes orígenes de datos.

2.3 USO DE LAS TECNOLOGÍAS

Utilizaremos QlikView primeramente para la extracción de los datos necesarios para la realización del proyecto, estos son:

1. Flujos logísticos de Valladolid a Alemania. Sacando las siguientes columnas:
 - a. Las fechas de los pedidos
 - b. El producto
 - c. El volumen del pedido
 - d. El coste del trayecto
 - e. El tipo de coste (base, fuel surcharge, special products...)
 - f. El modo de transporte (LTL, directo...)
 - g. El origen
 - h. El destino
2. Flujos logísticos de Alemania a los clientes. Sacando las mismas columnas que anteriormente.
3. Demanda de los productos seleccionados por mes en peso (Kg) y ventas (€) para hacer un Forecast de la demanda futura.

Posteriormente, estos datos serán tratados con PowerBI para crear los informes y paneles de forma que sean accesibles al resto de la empresa y fáciles de comprender. La idea es mapear el actual flujo logístico para tener una visión completa y ver los costes de transporte de esos flujos.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 PRODUCTOS DE PPG (AUTOMÓVIL)

PPG se encuentra posicionado como líder mundial en el sector de la pintura para el automóvil, es más, es capaz de suministrar cualquier pintura o recubrimiento destinado a la carrocería de un coche. Actualmente, aproximadamente dos de cada tres coches que se han fabricado en Norteamérica o Europa utilizan tecnologías (y *know-how*) de PPG. La amplia gama de productos que ofrece PPG para el sector de la pintura del automóvil va dirigida hacia clientes que son fabricantes de automóviles y también para clientes que reparan vehículos postventa. Así pues, la pintura de PPG es válida para todo el ciclo de vida del coche.

Los productos de PPG en el sector de la pintura del automóvil destacan por sus altos niveles de calidad en cuanto a durabilidad, facilidad de uso, rapidez y brillo. De esta forma, sus clientes se pueden centrar en la productividad y la rentabilidad.

Una de las razones por las que la pintura, barnices y primers de PPG están tan demandados por los clientes en el sector es porque siempre están al día en las modas y tendencias de los productos. Esto requiere en cierta manera un grado de cercanía hacia el cliente y una muy buena relación con ellos.

Los productos que ofrece PPG son “*taylor made*”, esto significa que están hechos a medida para cada cliente. Su producción por lo tanto se define como “*mass customization*” esto significa que son productos con un alto nivel de personalización que se producen a gran escala. PPG por lo tanto utiliza una producción en la que diseña componentes modulares que se pueden ir cambiando en función de las necesidades del cliente. De esta forma, la producción de PPG combina los bajos costes unitarios que están asociados a la producción en masa con la flexibilidad de ofrecer productos a medida para cada cliente.

Esta producción es posible ya que muchos de sus productos y por lo tanto sus fábricas comparten tecnologías de producción, es decir, dos fábricas pueden tener máquinas muy similares, aunque produzcan distintos *ítems*.

Con esto el valor añadido hacia el cliente es muy grande ya que se le ofrece un producto personalizado y es por esto por lo que la mayoría de los clientes eligen PPG a la hora de comprar pinturas y barnices para sus automóviles.

Finalmente, estos son los tipos de productos (y las características) que se han seleccionado para desarrollar este proyecto. Son pinturas, barnices y primers para el sector de la pintura del automóvil.

Para entender bien el tipo de producto que se está utilizando se describen a continuación:

- Primer: es la primera capa que se le añade a un vehículo y se conoce como imprimación. Se utiliza para preparar la superficie, en este caso el vehículo, para pintar. Se utiliza para que la pintura se adhiera correctamente a la superficie ya que si no se usara esta no duraría y puedes salir escamas en la superficie del coche. Además, protege de la humedad.

Es lógico que este material tenga una demanda estable ya que aunque los coches cambien de tendencia o de moda estos materiales se siguen empleando en todos los vehículos destinados a ser pintados. Por lo tanto, este material se puede clasificar como estable y de rotación media y por ello es un MTS (*make-to-stock*).



Figura 1: Ejemplo Primer PPG

- **Barniz:** Es el revestimiento final del coche, es decir, es el último producto que se le añade a un coche que ha sido previamente pintado. Se puede aplicar en coches nuevos una vez se haya pintado o en coches reparados una vez se haya lijado. Las principales funciones que cumple el barniz son: sella y protege la superficie (ayuda a protegerlo de la corrosión, lluvia,...), aporta durabilidad, resistencia y dureza (protege al vehículo contra agresiones como impactos de piedras pequeñas en la carretera, granizo...), potencia los efectos de la pintura (colores metalizados,...), da brillo y embellece la superficie.



Figura 2: Ejemplo Barniz PPG

- **Pinturas:** son los productos pigmentados que dan color al coche. La pintura de PPG se caracteriza por su durabilidad, rapidez, facilidad de uso y brillo.



Figura 3: Ejemplo Pintura PPG

Adjunto al ANEXO I se encuentra una tabla con el listado de materiales seleccionados.

3.2 SITUACIÓN ACTUAL: PRODUCCIÓN ACTUAL Y OPORTUNIDAD DE MEJORA

Actualmente los productos que aparecen en la tabla del ANEXO I se están produciendo en Alemania, más específicamente en las plantas de Weingarten (cerca de Stuttgart y Zurich) y Wuppertal.

PPG ha reorganizado su producción y ha decidido que esos materiales no se fabriquen más en esas plantas. La razón principal es porque los costes de mano de obra asociados a la producción en Alemania son bastante elevados. Actualmente el salario medio en Alemania es de 51.104€ al año, lo que supone una media de 4.342€ al mes teniendo en cuenta 12 pagas anuales. Se sitúa por lo tanto en el puesto número 9 de los 42 de la lista de “Expansión”. (Expansión, 2021). Mientras que en países como España el sueldo medio es de 26.934€ al año, lo que supone un total de 2.245€ al mes teniendo en cuenta 12 pagas anuales. Por lo tanto, podríamos decir que la mano de obra en Alemania es casi un 90% más que en España. (Expansión, 2021)

Por otro lado, cabe destacar que actualmente en Alemania existen restricciones medioambientales relativas a la industria bastante exigentes. De hecho, cada vez son más, la Ley del Cambio Climático que aprobaron en 2019 les ha parecido poco ambiciosa y han afirmado que su objetivo es alcanzar la neutralidad climática en 2045. Esto significa que solamente se podrán emitir los gases de efecto invernadero que el entorno (la naturaleza) sea capaz de absorber. Mientras tanto, el objetivo más a corto plazo es reducir al 65% las emisiones contaminantes (tomando como referencia los datos de 1990), que sigue siendo más ambicioso que el pactado previamente que era reducirlo en un 55%. Aun así, la sociedad alemana está exigiendo que la reducción para el 2030 debería ser de al menos un 70% para que se consiga lograr el objetivo en 2045. Podríamos decir entonces que la sociedad alemana está muy comprometida con el medio ambiente. (G.Sevillano, 2021)

Por otro lado, la situación que sufre la fábrica de Wuppertal es que se encuentra muy cerca de la ciudad lo que supone los siguientes inconvenientes:

1. Como se ha dicho con anterioridad, la sociedad alemana está muy comprometida con el medioambiente y la situación de tener una fábrica al lado de sus hogares les preocupa por la cantidad de residuos y emisiones que esta puede generar. Al fin y al cabo, la fábrica de PPG trabaja con productos químicos en grandes cantidades lo que supone que podría (en caso de accidente) contaminar el suelo, el agua y el aire.
2. Otra desventaja de tener una fábrica al lado de la ciudad es el ruido que genera. Las máquinas con las que trabaja PPG son de gran calibre y por lo tanto su actividad podría ser molesta para el vecindario.

Además, la fábrica de Wuppertal donde parte de los productos de la lista se fabrica se adquirió en 1984 aunque lleva en funcionamiento más de 50 años (PPG, 2021). Esto supone que es una fábrica bastante anticuada que no sigue en la ola con la empresa PPG. Al fin y al cabo, como hemos dicho con anterioridad PPG es una empresa puntera en tecnología que tiene que estar muy cerca del cliente y siempre con mucho carácter innovador.

Por estas razones, PPG ha decidido reducir su producción en esta planta y por lo tanto hay que reorganizar la producción a nivel internacional para el año 2022.

3.3 NUEVO PAÍS DE FABRICACIÓN

Los productos de la lista del ANEXO I son aquellos procedentes de Wuppertal y Weingarten y serán los utilizados para el proyecto. Se ha decidido que la fábrica de Wuppertal baje su nivel de producción y parte de su producción ha ido dirigida a Weingarten, es por esto por lo que parte de los *ítems* de la lista provienen de esta fábrica.

El país de destino para la producción de estos *ítems* se ha decidido que sea España, más específicamente se han destinado estos *ítems* a la fábrica de Laguna de Duero en Valladolid. La decisión se ha tomado debido a la cantidad de ventajas que tiene, entre ellas:

1. La forma de producción de PPG es “*mass customization*” esto significa que se produce a gran escala pero con alto nivel de personalización, ya que las exigencias de los clientes varían en función de sus necesidades. Por lo tanto, aunque la fábrica

de Valladolid y la de Wuppertal o Weingarten no produzcan los mismos *ítems comparten tecnologías*, es decir, se pueden utilizar las mismas máquinas.

2. **La mano de obra en España es mucho más barata** que en Alemania lo que supone un ahorro de costes muy elevado ya que el producto de PPG opera con márgenes bajos por producir a gran escala con un precio muy competitivo en el mercado. Esto provoca que si se manda la producción a España operará con porcentajes de beneficio más elevados.
3. **El resto de los costes de producción entre las fábricas son bastante similares.** Con esto nos referimos a los costes de materia prima, suministros, patentes, envases, depreciación, seguros, financiación, ...

Frente a esta situación se ve que la mayor influencia en la decisión es debido a la diferencia de los costes de mano de obra, por lo que en este punto se plantea la idea de descentralizar la producción y que se fabriquen en un lugar más barato, como por ejemplo Asia. Esta opción es impensable por diversas razones.

PPG fabrica un tipo de producto *taylor made*, lo que supone que es un producto hecho a medida para cada cliente específico. Por lo tanto, la cercanía a ellos es indispensable para tener una buena relación. Además, PPG ofrece un servicio de asistencia técnica por lo que estar cerca del cliente aporta mucha confianza ya que tienen mayor capacidad de respuesta. Sería inviable suministrar desde Asia una respuesta inmediata.

Por otro lado, si se descentralizara la producción, se debería aumentar el stock y por lo tanto un aumento de los costes de inventario. Además de no ser la metodología JIT que sigue PPG.

Un punto muy importante es que la vida útil de estos productos es de entre 6 meses y 1 año. Esto significa que si se considera una ruta barata desde China (lead time de aproximadamente 3 meses) aparte de que los costes de transporte serán más elevados el producto pierde mucha vida útil.

Por último, la opción de tener una ruta más rápida desde un país de mano de obra más barata supone operar con un sistema air freight que definitivamente no se contempla debido a sus altos costes.

En definitiva, traer la producción a España supone no solo un ahorro de costes sino también un mantenimiento cercano de la relación proveedor-cliente. Por esto se decide que es la mejor opción.

3.4 CLIENTES DE LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL DE PPG EN ALEMANIA

Hoy en día la industria del automóvil en Alemania es de las mayores fuentes de empleo dentro del país ya que cuenta con casi un millón de empleados dentro del sector. Es una de las principales fuentes de producción de vehículos ya que se caracteriza por ser el tercer país que más coches produce en el mundo, en 2014, y el cuarto país que más produce en 2017 (por detrás de China, USA y Japón). Además, su producción anual alcanza casi los 6.000.000 de vehículos lo que supone el 35,6% del mercado en la UE (2017). (Brian, S., 2018)

Cabe decir también que la industria del automóvil en Alemania representa cerca del 30% del PIB del país (en 2019). (Agencia Efe, 2019)

Los coches que se fabrican en Alemania se caracterizan por tener la tecnología más innovadora y competitiva del mundo. De hecho, es una industria que se ha sabido adaptar perfectamente a los diferentes eventos imprevistos que han ido ocurriendo a lo largo del tiempo.

1. Ante la situación de la transición del vehículo de combustión al vehículo eléctrico, la industria alemana ha sabido adaptarse a la perfección. No solo ha logrado una transición estable, sino que lo ha hecho de manera muy rápida. (Agencia Efe, 2019)
2. Ante la crisis sanitaria debida al COVID19 la industria del automóvil se vio fuertemente afectada, las ventas en el 2020 cayeron fuertemente (la industria del automóvil tuvo unas pérdidas de casi 24.700 millones de euros en facturación). Aun

así, las empresas ya se están recuperando y se espera volver al nivel de ventas y producción regular en el 2022.

A continuación, se listará los clientes que tiene PPG en Alemania relacionados con la industria del automóvil.

CUSTOMER	Production Plant
FORD	Cologne
FORD	Saarlouis
OTHER	Aachen
OTHER	Dueren
BMW	Dingolfing
BMW	Leipzig
BMW	Munich
BMW	Regensburg
VW	Dresden
VW	Emden
VW	Hannover
VW	Leipzig
VW	Mosel
VW	Osnabruck
VW	Wolfsburg #1
VW	Zuffenhausen
VW	Boellinger Hoefe
Daimler	Bremen #1
Daimler	Bremen #2
Daimler	Dusseldorf
Daimler	Ludwigsfelde
Daimler	Rastatt
Daimler	Sindelfingen #1
Daimler	Sindelfingen #2
Daimler	Woerth
Audi	Ingolstadt #1
Audi	Ingolstadt #2
Audi	Neckarsulm #1
OPEL	Eisenach
OPEL	Russelsheim
Tesla	Gruenheide

Figura 4: Listado de clientes de PPG en Alemania

Estos, por lo tanto, serán aquellos destinatarios de entrega que se utilizarán a lo largo del proyecto.

Capítulo 4. ANÁLISIS DE LOS FLUJOS LOGÍSTICOS

4.1 OBJETIVOS

El objetivo del proyecto en sí es el de encontrar el flujo logístico más adecuado para servir al cliente. Una vez se ha tomado la decisión de reorganizar la producción y mandar los productos del listado a producirse a la planta de Valladolid es indispensable pensar en el flujo logístico que estos van a seguir.

Para tomar la decisión se le añadirá una puntuación entre 1 y 3 a distintos KPIs (siendo 3 una puntuación alta que determina una ventaja muy competitiva, 2 una ventaja bastante competitiva, y 1 determina una situación favorable pero no determinante). La decisión se tomará en función de los siguientes KPIs:

1. Coste (€/kg y Coste Total): El coste de la logística para empresas como PPG que vende volúmenes elevados a un coste asumible por el cliente puede representar hasta un 30% del valor de la mercancía. Esto significa que este KPI crea un impacto muy grande en la cifra global de PPG, es decir, PPG si vende en toneladas una reducción de un céntimo en este KPI representa gran parte de la cifra. Es por esto por lo que a lo largo del proyecto se le dará una importancia de 3 a la hora de tomar la decisión.
2. Espacio recorrido (km): PPG es una empresa que está fuertemente comprometida con la sociedad y el medioambiente, por lo que este KPI se debe tener en consideración. El modo de transporte que se tendrá en cuenta a lo largo del proyecto es por camión de carga. Los camiones de carga representan el 27% de las emisiones totales de CO₂ de los transportes por carretera y aproximadamente el 6% de las emisiones totales de CO₂ en la UE (Store, 2019). Entrando más en detalle un camión genera alrededor de 234gr de CO₂/kmrecorrido. Reducir este índice implica por lo tanto reducir la contaminación por lo que se le tiene que dar importancia, aunque no sea determinante para el desarrollo del proyecto, por esta razón se le dará una puntuación de 1 punto.

3. Lead time (días): PPG no utiliza flota propia, sino que colabora con empresas que le prestan este servicio. Para una correcta gestión de la cadena de suministro el *lead time* tiene que ser un factor muy importante para considerar ya que nos va a aportar flexibilidad y capacidad de respuesta. Para este KPI nos centraremos en la parte del tiempo de transporte ya que el resto de las partes del proceso completo de la cadena de suministro las asumiremos como iguales e independientes de la opción escogida. Reducir el lead time es algo por lo que están apostando muchas empresas ya que se encuentra directamente relacionado con la eficiencia de la empresa y aporta múltiples ventajas como, por ejemplo:

- a. Ventaja competitiva: Si el pedido se entrega de forma rápida supone que estamos por encima de los competidores en este aspecto y es algo que valora mucho nuestro cliente.
- b. Resolución de problemas: está directamente relacionado con la capacidad de respuesta que tendríamos frente a diversas situaciones que se pueden dar (falta o robo de mercancía, error en la preparación, ...)
- c. Reducción de inventarios: si reducimos el tiempo de reabastecimiento tenemos más capacidad para responder a nuevas órdenes. Poniéndonos en dos casos muy extremos, si tenemos un tiempo de entrega de 7 días para el cliente 1 y otro de 1 día para el cliente 2 y ambos hacen pedidos con 10 días de antelación para el cliente 1 tendremos 3 días para tener lista la mercancía y para el cliente 2 tendremos 9 días.

Este KPI nos parece fundamental ya que aporta una ventaja muy competitiva. Por estas razones le daremos la puntuación de 2.

4.2 PREVISIÓN DE LA DEMANDA

La previsión de la demanda es la base para todas las decisiones en la planificación de la cadena de suministro. Es sumamente importante ya que se utiliza para:

- Planear la producción, inventario, planificación agregada.

- Gestionar la asignación de promociones, nuevas introducciones a la producción, fuerza de ventas.
- Inversiones en equipo y maquinaria
- Planificación de personal, contratos y despidos.

Todos estos puntos, además, están interrelacionados. Para este proyecto se utilizará el *forecast* con el objetivo de saber la forma en la que pide el cliente y poder negociar condiciones con las diferentes empresas de transporte. Hoy en día asegurar un buen servicio al cliente es muy complicado si no tienes una colaboración con una empresa de transportes en el largo plazo.

Para las previsiones de demanda se tienen en cuenta muchos factores, entre ellos: descuentos y promociones, el estado de la economía, acciones de competidores, históricos de ventas, planes de marketing ... PPG es una empresa que trabaja con un sistema procrastinado, esto es, las primeras partes del proceso de producción de los diferentes *ítems* son similares por lo que se puede producir de manera masiva y en procesos más tardíos se añade la personalización que define el producto específico para el cliente.

Para entender bien el objetivo de la demanda se tiene que saber la forma de producción de PPG. Hoy en día la fábrica de Valladolid tiene tres formas de producir sus productos: MTO (*make-to-order*), ATO (*assembly-to-order*) y MTS (*make-to-stock*).

- *Assembly-to-order*: es una forma de producción bastante optimizada y que se ve dentro de la fábrica de PPG. Se trata de una estrategia de producción donde las partes principales de los diferentes *ítems* están ya producidas (sistema *push*) y la parte final customizada para cada cliente se hace una vez que se recibe la orden real (sistema *pull*). Este sistema de producción es útil para PPG ya que muchos *ítems* se componen de materiales muy parecidos y la parte de producción de estos en el punto final varía. De esta forma se puede ofrecer al cliente un producto completamente customizado de una manera rápida. Este sistema, por lo tanto, funciona en base a una demanda estimada durante el sistema *push* y una demanda real a partir del sistema *pull*.

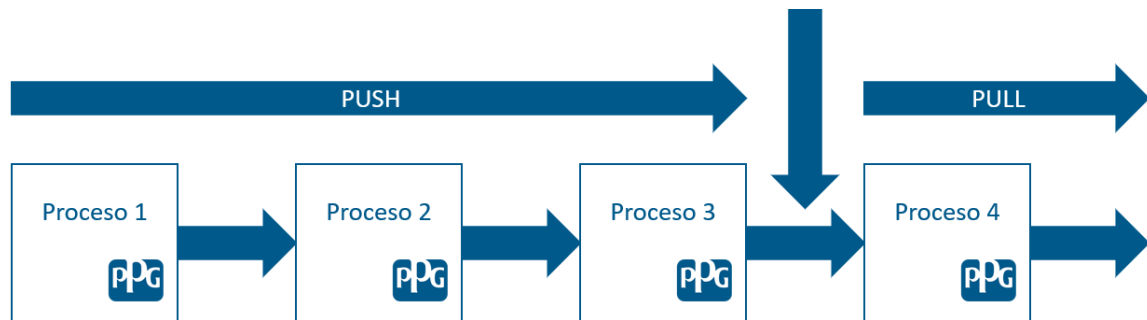


Figura 5: Proceso ATO en PPG

- **Make-to-order:** hace referencia al proceso de producción que funciona a partir de una demanda real del cliente. En PPG se observa en productos que empiezan a producirse una vez ha entrado el pedido. Los productos que se fabrican de esta manera suelen tener un tiempo de fabricación bastante corto y la principal ventaja competitiva es que sigue todas las especificaciones del cliente (producto completamente customizado). Además, esta forma de producción tiene como beneficio la reducción de inventarios ya que el inventario en estos casos es (casi siempre) cero. Por otro lado, es una forma de producción que apenas produce residuos, con una técnica operacional bastante optimizada.

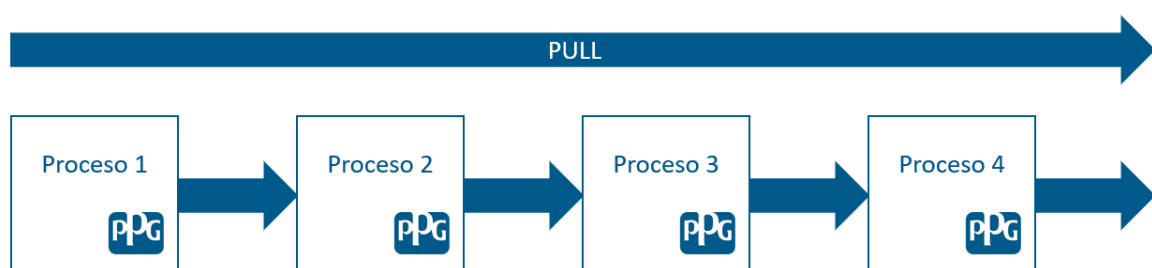


Figura 6: Proceso MTO en PPG

- **Make-to-stock:** Por último, este tipo de producción es el que más se ve en PPG. Esta técnica de producción se basa (en gran medida) en históricos de demanda. Los *items* se producen y se guardan en el inventario para demandas futuras. Esto se debe a que estos productos operan con un tiempo de fabricación bastante largo y utiliza muchas

materias primas en su producción. La mayor ventaja es que una vez ha entrado el pedido en el sistema ya solo quedaría el *pick-pack-ship* por lo tanto el *lead-time* de esta forma de producción es el más corto. La mayor desventaja de esta forma de producción es el coste de inventarios. Los inventarios en LEAN se pueden llegar a considerar desperdicios y se tienen que tratar de reducir lo máximo posible.

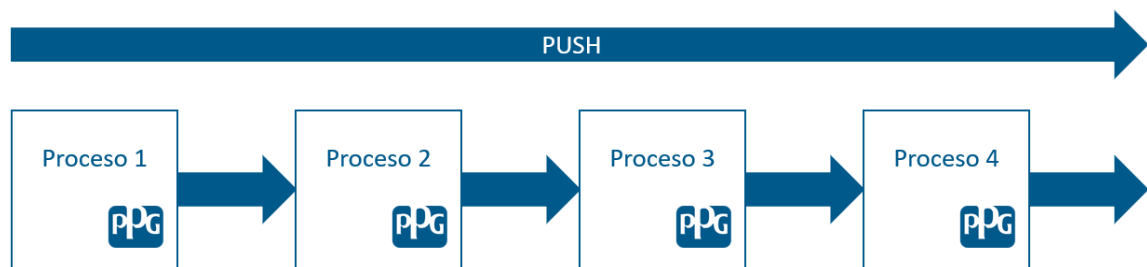


Figura 7: Proceso MTS en PPG

Los ítems del ANEXO I se fabrican utilizando estos tres métodos de producción, en los siguientes porcentajes: Make-To-Stock en un 85%, Assembly-To-Order en un 10% y Make-To-Order en un 5%.

Por esta razón, se harán las previsiones de la demanda con dos objetivos diferentes:

1. Ventas Totales: para conocer el comportamiento de nuestro cliente, el factor estacional del tipo de producto de PPG y la tendencia de la empresa.
2. Históricos de demanda de los ítems del ANEXO I: para conocer la cantidad de demanda esperada en 2022 para, en un futuro, negociar con empresas de transporte y ver qué capacidad se estima que se espera.

Por lo tanto, se hará la previsión de la demanda con dos bases de datos diferentes:

- Teniendo en cuenta las ventas totales de PPG (trimestres de los años 2017, 2018 y 2019)
- Teniendo en cuenta la demanda de los productos seleccionados en 2019 (año que consideramos una muestra representativa)

4.2.1 PREVISIONES 1: VENTAS TOTALES PPG

El objetivo de esta primera previsión de la demanda es entender el comportamiento del cliente de PPG. Como se supone la demanda del sector de la pintura del automóvil como medianamente estable se utilizará el método de *Time Series* para el *forecast*. Esta forma de prever la demanda tiene en cuenta dos componentes:

1. Componente sistemática: esta componente da el dato del valor esperado de la demanda y se divide en tres partes
 - a. Nivel: demanda corriente sin efecto estacional
 - b. Tendencia: crecimiento o declive de la demanda
 - c. Estacional: fluctuación predecible por el efecto estacional
2. Componente aleatoria: es el error, el *bias*, que no se puede calcular ya que es la diferencia entre lo esperado y lo real.

Para calcular la componente sistemática se utilizará el Modelo Compuesto Mixto cuya ecuación es la siguiente:

$$\text{Componente Sistemática} = (\text{Nivel} + \text{Tendencia}) \times \text{Factor Estacional}$$

Figura 8: Ecuación para estimar la demanda

La primera parte es identificar el periodo de los históricos de ventas, en este caso será las ventas trimestrales en los años 2017, 2018, y 2019. Se han seleccionado estos años ya que se supone una muestra representativa. El año 2020 queda descartado por ser el año del COVID y el año 2021 por la crisis de suministro de componentes electrónicos que está obligando a parar muchas plantas y poniendo problemas para abastecer la demanda de los coches.

Las ventas (en millones) trimestrales de los años seleccionados son las siguientes:



	2017	2018	2019
Trimestre 1	\$ 3.486,00	\$ 3.781,00	\$ 3.624,00
Trimestre 2	\$ 3.804,00	\$ 4.131,00	\$ 4.024,00
Trimestre 3	\$ 3.776,00	\$ 3.817,00	\$ 3.826,00
Trimestre 4	\$ 3.682,00	\$ 3.645,00	\$ 3.672,00

Figura 9: Ventas (en millones) trimestrales de 2017, 2018 y 2019

La segunda parte del proceso sería calcular la parte de la componente sistemática de la demanda sin el efecto estacional. Para ello al utilizar datos con una periodicidad de $p=4$ trimestres y $t=3$ ciclos, se utiliza la siguiente formula:

$$Dem. Desest. = (D_{t-(\frac{p}{2})} + D_{t+(\frac{p}{2})} + \sum_{i=t+1-(\frac{p}{2})}^{t-1+(\frac{p}{2})} 2D_i) / (2p)$$

Figura 10: Ecuación para calcular la demanda desestacionalizada

Con esto se ha obtenido los siguientes resultados:



	Demanda (D)	Demanda Desestacionalizada
Periodo 1	\$ 3.486,00	
Periodo 2	\$ 3.804,00	
Periodo 3	\$ 3.776,00	\$ 3.723,88
Periodo 4	\$ 3.682,00	\$ 3.801,63
Periodo 5	\$ 3.781,00	\$ 3.847,63
Periodo 6	\$ 4.131,00	\$ 3.848,13
Periodo 7	\$ 3.817,00	\$ 3.823,88
Periodo 8	\$ 3.645,00	\$ 3.790,88
Periodo 9	\$ 3.624,00	\$ 3.778,63
Periodo 10	\$ 4.024,00	\$ 3.783,13
Periodo 11	\$ 3.826,00	
Periodo 12	\$ 3.672,00	

Figura 11: Demanda desestacionalizada en los periodos de los años 2017, 2018 y 2019

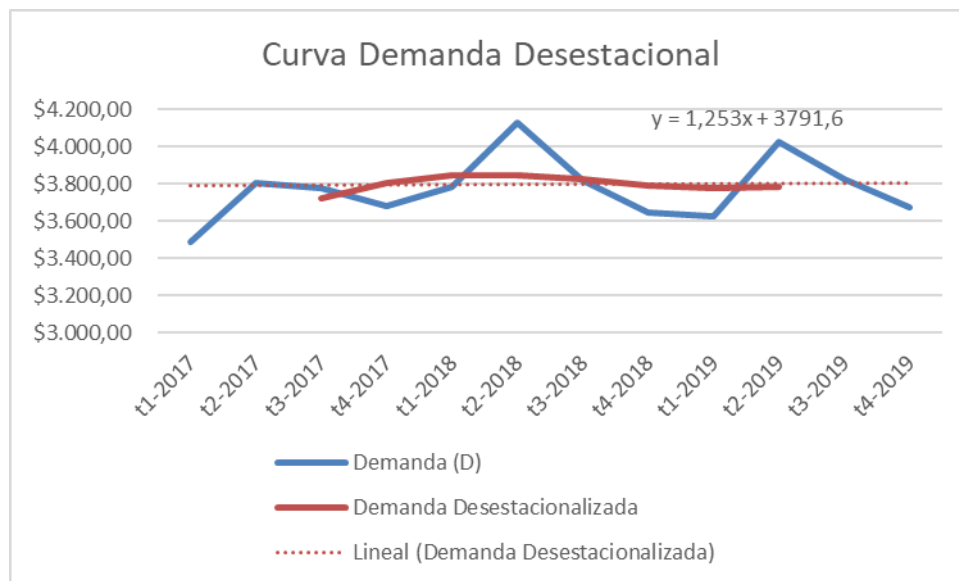


Figura 12: Demanda desestacionalizada en los periodos de los años 2017, 2018 y 2019

Como se puede observar, existe una relación lineal en la demanda desestacionalizada cuya ecuación es:

$$D = 1.253xP + 3791,6$$

Figura 13: Ecuación de la demanda desestacionalizada en los periodos de los años 2017, 2018 y 2019

La pendiente de esta ecuación es positiva y bastante baja, lo que se puede concluir que la empresa se encuentra en estado de *maturity*. No es sorprendente ya que PPG es líder en el sector y cuenta con más de 130 años de experiencia.

El tercer paso será calcular el efecto estacional, dividiendo la demanda real entre la desestacionalizada. Para poder verlos agregados por periodo se hará una media del efecto estacional para los diferentes trimestres.

$$S = \frac{\sum_{j=0}^{t-1} S_{jp+1}}{t}$$

Figura 14: Ecuación para determinar el factor estacional



	Demanda (D)	Demanda Desestacionalizada	Demanda Desestacionalizada ($y = 1,253x + 3791,6$)	Factor estacional
t1-2017	\$ 3.486,00		\$ 3.792,85	0,92
t2-2017	\$ 3.804,00		\$ 3.794,11	1,00
t3-2017	\$ 3.776,00	\$ 3.723,88	\$ 3.795,36	0,99
t4-2017	\$ 3.682,00	\$ 3.801,63	\$ 3.796,61	0,97
t1-2018	\$ 3.781,00	\$ 3.847,63	\$ 3.797,87	1,00
t2-2018	\$ 4.131,00	\$ 3.848,13	\$ 3.799,12	1,09
t3-2018	\$ 3.817,00	\$ 3.823,88	\$ 3.800,37	1,00
t4-2018	\$ 3.645,00	\$ 3.790,88	\$ 3.801,62	0,96
t1-2019	\$ 3.624,00	\$ 3.778,63	\$ 3.802,88	0,95
t2-2019	\$ 4.024,00	\$ 3.783,13	\$ 3.804,13	1,06
t3-2019	\$ 3.826,00		\$ 3.805,38	1,01
t4-2019	\$ 3.672,00		\$ 3.806,64	0,96

Figura 15: Factor estacional de los años 2017, 2018 y 2019

Por lo tanto, siguiendo la ecuación inicial el resultado sería el siguiente:



	Demanda (D)	Demanda Desestacionalizada	Demanda Desestacionalizada ($y = 1,253x + 3791,6$)	Factor estacional	Factor estacional por periodo
t1-2017	\$ 3.486,00		\$ 3.792,85	0,92	0,956
t2-2017	\$ 3.804,00		\$ 3.794,11	1,00	1,049
t3-2017	\$ 3.776,00	\$ 3.723,88	\$ 3.795,36	0,99	1,002
t4-2017	\$ 3.682,00	\$ 3.801,63	\$ 3.796,61	0,97	0,964
t1-2018	\$ 3.781,00	\$ 3.847,63	\$ 3.797,87	1,00	0,956
t2-2018	\$ 4.131,00	\$ 3.848,13	\$ 3.799,12	1,09	1,049
t3-2018	\$ 3.817,00	\$ 3.823,88	\$ 3.800,37	1,00	1,002
t4-2018	\$ 3.645,00	\$ 3.790,88	\$ 3.801,62	0,96	0,964
t1-2019	\$ 3.624,00	\$ 3.778,63	\$ 3.802,88	0,95	0,956
t2-2019	\$ 4.024,00	\$ 3.783,13	\$ 3.804,13	1,06	1,049
t3-2019	\$ 3.826,00		\$ 3.805,38	1,01	1,002
t4-2019	\$ 3.672,00		\$ 3.806,64	0,96	0,964
t1-2022	\$ 3.639,86				
t2-2022	\$ 3.996,76				
t3-2022	\$ 3.816,36				
t4-2022	\$ 3.676,01				

Figura 16: Previsión de la demanda trimestral en 2022

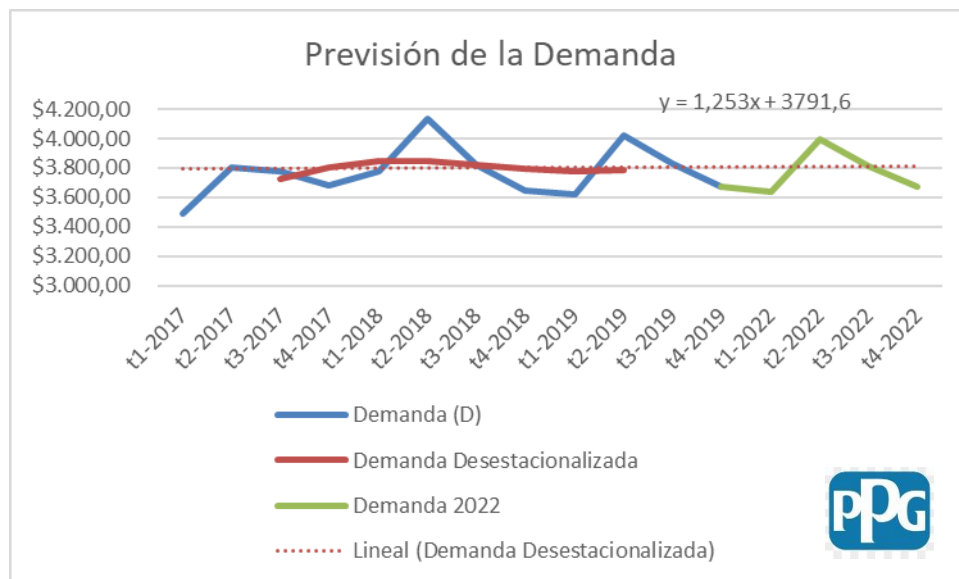


Figura 17: Gráfico de la previsión de la demanda trimestral en 2022

Como se puede observar, la demanda agregada se puede caracterizar como estable ya que no se observan picos crecientes ni decrecientes afectados por el factor estacional. Se observa una ligera tendencia positiva por el hecho de ser una empresa en estado de *maturity* en el sector de la pintura del automóvil.

4.2.2 PREVISIONES 2: VENTAS DE LOS ITEMS SELECCIONADOS EN 2019 (KG)

En este apartado se hará una previsión de la demanda teniendo en cuenta la demanda en la fábrica de Wuppertal y Weingarten en 2019 de los productos de la lista. Para este punto, ya que el objetivo es el de negociar a futuro con una empresa de transporte para asegurar el mejor servicio al cliente el ejercicio se hará en kg y no en \$.

Con este objetivo, se utiliza como punto de partida la demanda agregada de todos los *ítems* extraída desde la herramienta *QlikView*.

Por lo tanto, la demanda de los *items* en kg en 2019 sería:



	Demand (kg)
Enero	1.146.052
Febrero	1.382.587
Marzo	1.295.783
Abril	1.158.300
Mayo	1.176.576
Junio	1.097.898
Julio	1.300.622
Agosto	1.371.622
Septiembre	1.152.938
Octubre	1.306.788
Noviembre	1.263.393
Diciembre	1.366.622

Figura 18: Demanda agregada en 2019 de los ítems seleccionados

Haciendo el mismo proceso que para el primer punto se obtienen los siguientes resultados:



	Demanda (D)	Demanda Desestacionalizada	Demanda Desestacionalizada ($y = 8,502x + 1.182,487$)	Factor estacional
t1-2019	1146051,69		1190989,00	0,96
t2-2019	1382586,92		1199491,00	1,15
t3-2019	1295782,86	1249495,81	1207993,00	1,07
t4-2019	1158299,76	1217725,15	1216495,00	0,95
t5-2019	1176575,74	1182743,93	1224997,00	0,96
t6-2019	1097897,56	1210014,20	1233499,00	0,89
t7-2019	1300622,41	1233724,83	1242001,00	1,05
t8-2019	1371622,41	1256881,48	1250503,00	1,10
t9-2019	1152938,11	1278339,13	1259005,00	0,92
t10-2019	1306788,40	1273060,43	1267507,00	1,03
t11-2019	1263392,79		1276009,00	0,99
t12-2019	1366622,41		1284511,00	1,06
t1-2022	1244226,21			
t2-2022	1500184,34			
t3-2022	1405221,37			
t4-2022	1255443,09			
t5-2022	1274566,97			
t6-2022	1188705,82			
t7-2022	1407461,86			
t8-2022	1483528,10			
t9-2022	1246366,93			
t10-2022	1411974,23			
t11-2022	1364408,05			
t12-2022	1475168,22			

Figura 19: Previsión de la demanda en 2022 de los ítems seleccionados

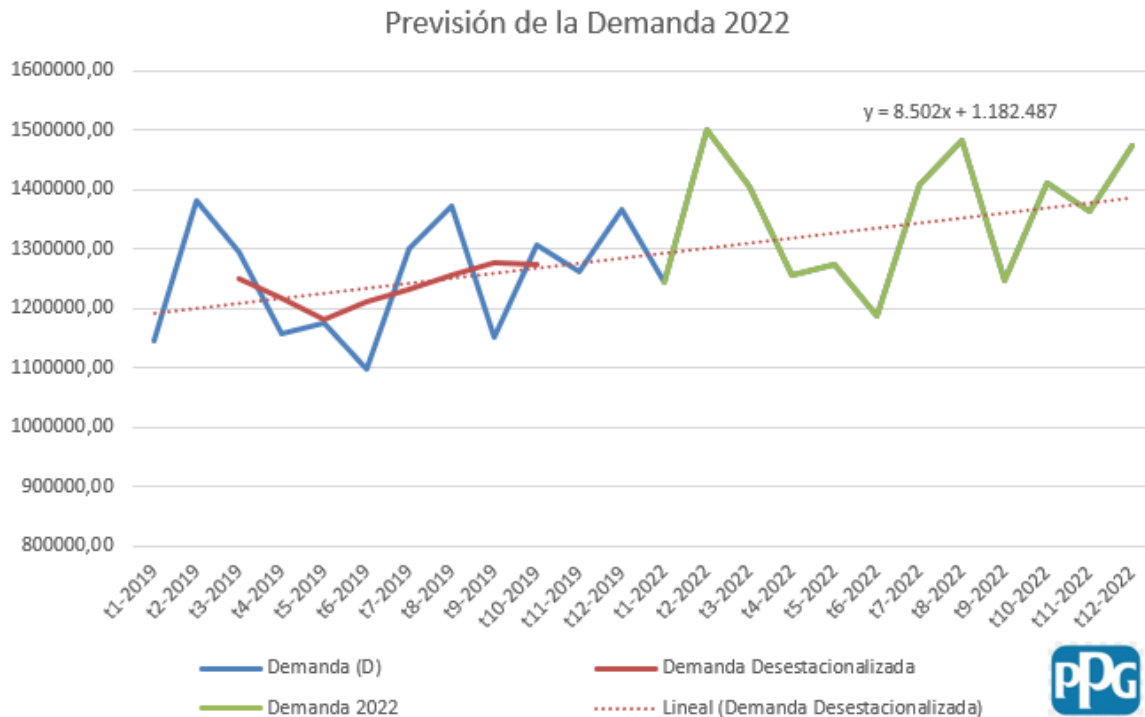


Figura 20: Gráfica previsión de la demanda en 2022 de los ítems seleccionados

Como se puede observar la demanda agregada es de alguna manera estable ya que en la estimación la pendiente es de un valor muy pequeño. Tampoco se puede asegurar que afecte el factor estacional ya que el valor mínimo y máximo son 0,89 y 1,15 respectivamente.

Por motivos de confidencialidad con la empresa no se puede compartir la demanda de todos los *items* de manera detallada por lo que se dará una tabla con algunos llamándolos: *Item 1*, *Item 2*, ... para entender las conclusiones sacadas (ANEXO II).

Podemos concluir que la demanda de cada *item* no siempre es estable ya que en muchos de los casos no sigue una tendencia clara y los datos están dispersos. Para el interés del proyecto, lo que sí se puede asegurar es que la demanda agregada de los ítems es estable. Tiene lógica ya que los coches funcionan mucho por tendencia, pero al fin y al cabo la cantidad de coches que se venden tiene una cierta estabilidad. Aunque también cabe decir que la demanda de

los ítems MTS sí que tiene una cierta estabilidad ya que son productos que se usan de manera regular (barnices, primers, ...).

4.3 CLASIFICACIÓN DEL SURTIDO ABC/XYZ

La clasificación ABC/XYZ se utiliza para clasificar el surtido y definir aquellos materiales que hacen el mayor porcentaje de facturación de la empresa. Además, es super importante tener clasificados los artículos no solo para la demanda presente sino también a la hora de introducir nuevas referencias al surtido estimar como se van a comportar.

Una correcta clasificación del surtido también ayuda a disminuir el riesgo de bajas para compras y abandonos. Una baja para compras se caracteriza por ser una rotura (cuando te piden una referencia que no tiene stock y no puedes servir al cliente para el caso de los *make-to-stock*, o llegas tarde lo que implica un OTIF, *on time in full*, de 0). Un abandono se caracteriza por ser una referencia que los clientes han dejado de comprar o se ha decidido a nivel interno que se deja de producir.

Dentro del surtido de PPG, como en todas las empresas hay *ítems* que son más importantes, otros más de respaldo, o más estratégicos y críticos. Cada uno de estos productos tiene un enfoque diferente a la hora de gestionar su inventario y cada uno de ellos tiene una función determinada en la empresa.

En la clasificación ABC/XYZ se puede utilizar diferentes criterios en función del objetivo de la clasificación. Para el objetivo del proyecto utilizaremos los siguientes:

- ABC: Para clasificar un material como A, B o C se utilizará la dimensión de cantidad de pedido de cada *item*. Se utilizará dos criterios diferentes para la clasificación de productos ABC con dos objetivos distintos
 - Cantidad de pedido en valor (en €): con este criterio se clasificarán los materiales en A (productos muy valorados en la empresa y por lo tanto muy estratégicos), B (productos de valor medio) y C (productos de valor bajo y por lo tanto menos importantes).

- Cantidad de pedido en kg: con este criterio se clasificarán los materiales en A (productos que requieren un stock elevado ya que la cantidad de demanda en kg es alta), B (cantidad de demanda media) y C (cantidad de demanda baja por lo que no requiere de un stock de seguridad muy elevado).
- XYZ: Para clasificar un material como X, Y o Z se utilizará la dimensión de rotación, es decir, la cantidad de veces que se ha pedido una misma referencia, de esta forma X sería un *item* con una rotación alta, Y un *item* con una rotación media y Z un *item* con una rotación baja.

Por motivos de confidencialidad con la empresa para mostrar los resultados se han agrupado los materiales por categoría (Pintura, Barnices y Primers) y no se puede desvelar el valor en € de los mismos. Para las clasificaciones se han utilizado percentiles, de esta forma el percentil 15 y 85 definen los límites de ABC y XYZ. Obteniendo los siguientes resultados por producto:

- Los límites de ABC en kg son:
 - Cantidad de pedido/año (kg)>800t: A
 - Cantidad de pedido/año(kg)>100kg y Cantidad de pedido/año(kg)<800t: B
 - Cantidad de pedido/año (kg)<100kg: C

Es sorprendente ver tanta diferencia entre los límites del ABC, esto se debe a que como el producto de PPG está muy customizado hay *ítems* que se vende a un único cliente y en muy poca cantidad ya que se usa poco o en poca cantidad mientras que hay otros *ítems* que su uso es bastante mayor.

- Los límites del XYZ en entregas de producto/mes:
 - Entrega/mes (de producto)>1,73: X
 - Entrega/mes (de producto)>1,73 y Entrega/mes (de producto)<0,47: Y
 - Entrega/mes (de producto)<0,47: Z

Los resultados obtenidos para la primera clasificación fueron los siguientes:

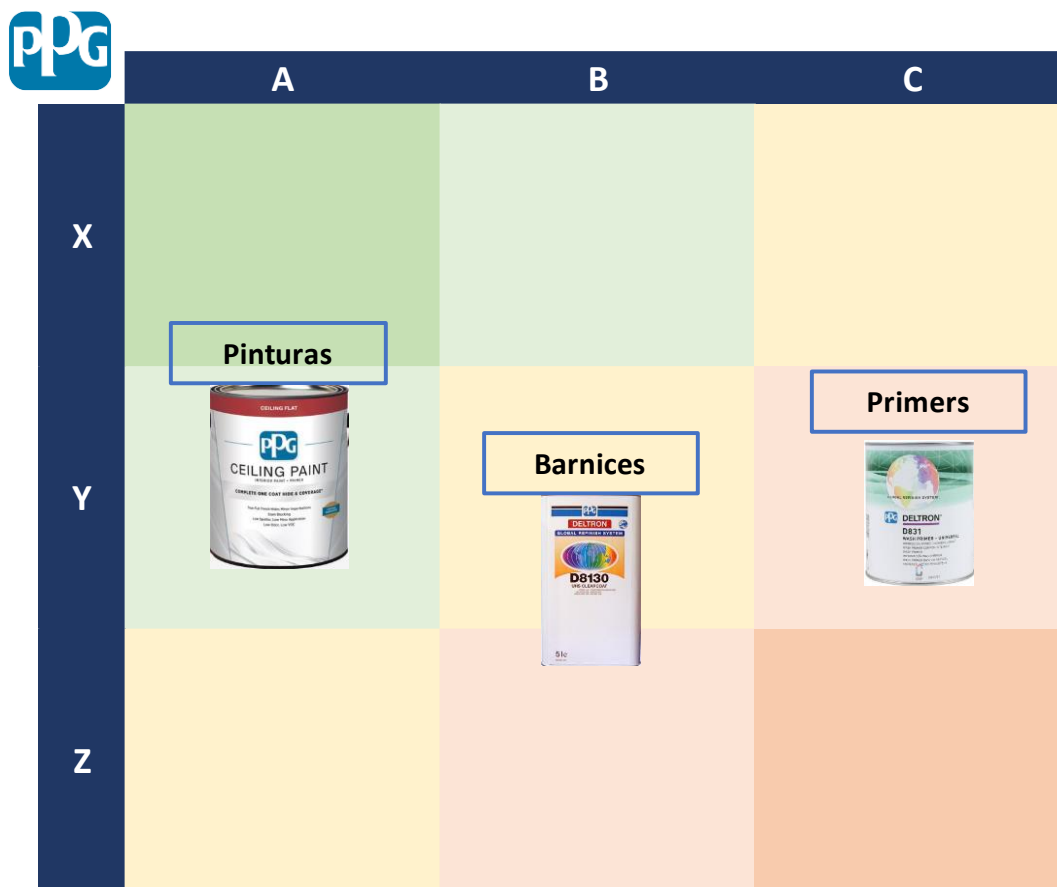


Figura 21: Clasificación ABC(valor) XYZ (rotación)

Cabe recordar que la clasificación es de los materiales y posteriormente se han agregado por categoría. Se puede observar que las pinturas es el producto que más valor tiene (agregado alrededor del 65% del valor total) y los primers lo que menos valor tiene (agregado alrededor del 15% del valor total). En cuanto a rotación se observa un ligero aumento en las pinturas, esto se debe a la gran cantidad de referencias que existen.

Se ha realizado el mismo ejercicio pero considerando la cantidad de pedido (ABC) en kg, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

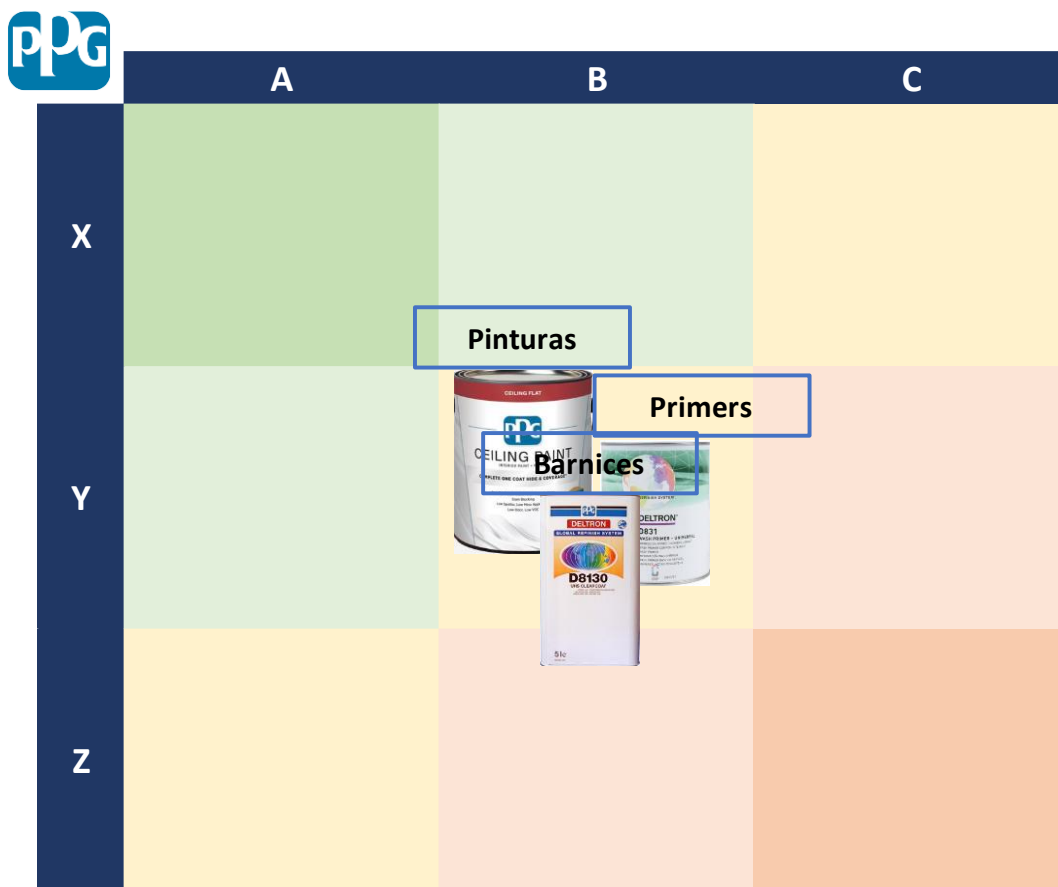


Figura 22: Clasificación ABC(kg) XYZ (rotación)

En función de los resultados se puede decir que no se observa una clara diferencia por categoría entre la cantidad de demanda en kg de los *ítems* agregados. Al fin y al cabo, nos parece lógico ya que los tres son productos que se usan de manera habitual en un coche.

Es importante destacar en función de los resultados que aun teniendo las tres categorías demandas en kg similares es mucho más importante las pinturas que los barnices y estos más importante que los primers. Está bien saberlo, lo más lógico por lo tanto sería que para si en alguna ocasión se tuviera que priorizar la producción o en este caso el envío de algún producto tener en mente que la pintura hace el mayor porcentaje de la cifra del negocio, pero esto no es el caso en PPG. Debido a la función que tienen cada uno de los productos se debe priorizar siempre primers y barnices antes que pinturas. Esto es debido a que todos los coches llevan primer y barniz y si no se sirve a un cliente algún primer o barniz estos pueden llegar

a parar la línea de producción y por lo tanto la reclamación que pueden llegar a hacer a PPG es de un coste muy elevado. Mientras que si no sirves de alguna pintura el cliente puede pintar el coche de otro color.

Como dato curioso, dentro de la categoría de las pinturas se ha visto que existe mucha diferencia entre los colores y la clasificación. La clasificación de algunos de los colores teniendo en cuenta el ABC en kg sería la siguiente:

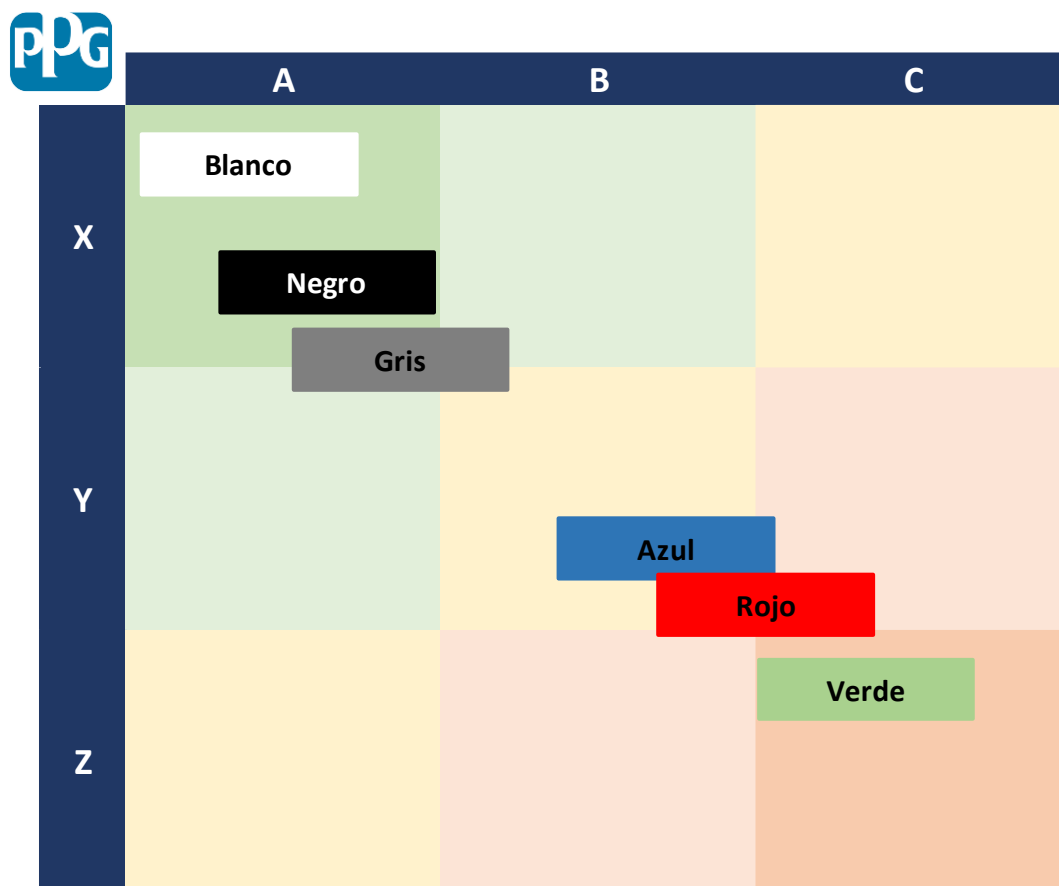


Figura 23: Clasificación ABC(kg) XYZ (rotación) para pinturas

Cabe destacar que dentro de la clasificación anterior en el color “gris” entran los colores plateados también.

Como conclusión, aunque sea más importante para la cifra de PPG las pinturas en los envíos siempre se dará prioridad a los barnices y a los primers. Y está bien saber que se necesitará más stock de seguridad en colores como el negro, blanco y gris que verde, por ejemplo.

4.4 MODOS DE TRANSPORTE

Cuando se desea enviar mercancía es indispensable pensar en el modo de transporte que se va a utilizar. En el caso de PPG tiene una gran variedad de opciones, por lo general en camión son LTL o FTL. A continuación, se analizan las ventajas y desventajas de cada una de ellas para decidir cuál es mejor.

- LTL (*“Less than Truck Load”*) se da en los casos en los que la mercancía no ocupa el suficiente volumen y peso para llenar el camión. El servicio de transporte por lo tanto se hace compartido con otros clientes.
 - Ventajas:
 - Suele ser una opción más flexible. En este caso tiene mayor capacidad de respuesta ante el cambio, por ejemplo, si a última hora se debe reducir o aumentar la carga de transporte.
 - Suele ser una opción más económica ya que como se ha comentado los costes de transporte se comparten con el resto de los clientes.
 - Al compartirse el transporte con el resto de los clientes también se reduce el daño al medio ambiente. Esto es lógico ya que se utilizan menos vehículos para llegar a un mismo destino.
 - Desventajas:
 - El tiempo de entrega de la mercancía que se le puede ofrecer al cliente con este tipo de transporte es mayor.
 - Existe menos flexibilidad en cuanto a horas de entrega.
- FTL (*“Full Truck Load”*) se da en los casos en los que se pide un camión completo para que realice una entrega punto a punto. El servicio de transporte es por lo tanto único.

○ Ventajas:

- Suele ser una opción más segura. En este sentido y siguiendo con la metodología de LEAN en PPG “*right the first time*” esta opción aporta muchos menos riesgos en cuanto a litigios. Esto se debe a que la mercancía pasa por menos manos lo que provoca que es mucho más fácil que llegue al destino sin haber estado el palet manipulado. Los riesgos de faltantes, robos o roturas con este tipo de transporte se ven muy mitigados.
- Aporta mucha flexibilidad en cuanto a fechas y horas de entrega. El camión al hacer un único reparto el servicio que le puede ofrecer es mucho más flexible.
- El tiempo de entrega en este tipo de transporte es menor.

○ Desventajas:

- El coste es mucho mayor ya que el servicio que se ofrece es mucho mejor.
- El coste no viene determinado por kg sino por km (trayectos) por lo que si un día hay menos mercancía que transportar el coste no se reduce.

Aplicado al caso de PPG, en los camiones con los que colaboran hoy en día caben alrededor de 20 toneladas. Suelen caber en torno a 20 palets en el suelo y no se suele optar por la opción de remontar los palets. En cada palet pueden caber cuatro bidones de 200kg o un contenedor de 1.000kg. Puede haber también la opción de cargar 60 latas de 20kg.

En vista a los resultados obtenidos se optará por la opción de FTL para las cargas que vayan desde Valladolid hasta Alemania y luego para la distribución desde Alemania a los clientes alemanes LTL. Se puede hacer esto ya que la demanda agregada de los diferentes *ítems* es estable y si se tiene solo 2 destinatarios (España-Alemania(Wuppertal/Weingarten)) se puede esperar a tener alrededor de 20t por envío y cargarlas en el momento adecuado.

4.5 ANÁLISIS DEL TRANSPORTE ESPAÑA-ALEMANIA-CLIENTES

Sabiendo que los ítems de la lista se van a empezar a producir en 2022 en la fábrica de Valladolid se considera como primera opción logística el envío a sus antiguos lugares de producción y posteriormente envío a cliente. Teniendo en cuenta que el modo de transporte seleccionado es FTL para Valladolid-Alemania y LTL para Alemania-Clientes y la previsión de la demanda agregada de los ítems esta sería la primera opción de transporte a analizar: España (Valladolid)→Alemania (Weingarten y Wuppertal)→ Clientes (Alemania).



Figura 24: Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes

4.5.1 ANÁLISIS DE LOS COSTES DE TRANSPORTE ESPAÑA-ALEMANIA-CLIENTES

Para esta opción en 2021 se hizo una prueba de producción y envío de 8 *items*. Los datos se extrajeron de QlikView seleccionando los distintos campos:

- CP Cost Type: hace referencia al tipo de coste. Para este tipo de producto existen tres tipos de coste
 - Base: hace referencia al tipo de coste base que carga el transporte por el servicio. Se considera alrededor del 95% del coste de transporte total
 - Accesorial FUEL-SURCHARGE: se considera un coste adicional en función de la cotización del gasoil. No tiene sentido analizarlo ya que el efecto es mínimo (cerca del 2%) y puede añadir ruido al análisis ya que en un futuro puede aportar una situación más favorable o menos. No se considerará determinante para la selección, pero sí que está bien saber que existe.
 - Accesorial-HAZARDOUS GOODS: este coste es un coste adicional que se añade a algunos ítems por el hecho de caracterizarse como sustancias peligrosas. Tiene que ver con la inflamabilidad de los diferentes *ítems* y se considera alrededor del 3% del coste total de transporte.
- ShipToWHS: es el almacén al que lo queremos transportar, por código interno se consideran D01 (WUPPERTAL) y D02 (WEINGARTEN).
- Shipped From: ciudad de origen
- ShipTo City: es la ciudad de destino (WUPPERTAL y WEINGARTEN)
- ShipTo POST CODE: Código postal de destino (42329 y 76356).
- Customer: en este caso como el envío es a la fábrica de PPG este sería el cliente
- Mode of Transport: FTL
- Item Code: producto de la entrega
- CP Cost: coste total asociado al CP Cost Type para una cantidad dada.
- Shipped Net Qty: es la cantidad en peso (kg) transportada.

Para los filtros de año utilizamos el 2021. Es importante conocer el orden y el contenido de cada campo ya que el paso posterior es el de crear una herramienta en Power Bi para poder transformar los datos y cargarlos. Si finalmente esta es la opción escogida la idea a futuro es llevar un histórico para tener un control de los costes de transporte y de los tipos de coste. Estos datos se guardarán en una carpeta compartida en la que se puede ir añadiendo ficheros de Excel con los datos por meses hablados anteriormente. Es importante conocer el orden de las columnas ya que al cargar una carpeta en esta herramienta si hay alguna columna con distinto nombre o la tabla está distribuida de otra forma el fichero no se podrá actualizar y dará error.

La tabla con los datos cargados se encuentra situada en el ANEXO III.

Una vez cargado al Power BI se ha creado una interfaz dinámica para que el usuario pueda interactuar con ella.

Como en el proyecto se tiene muy en cuenta la metodología LEAN se ha utilizado en este Power BI unos *poka-yoke* con el fin de evitar errores operativos en el sistema. Para ello, en la parte de la transformación de los datos descarta aquellos que no vengan del origen deseado (en este caso Valladolid), descarta los datos de destino no deseado (diferentes a D01 y D02) y descarta los materiales que no se encuentran en la lista. Aunque no debería ser el caso ya que en los campos de selección de QlikView se deberían seleccionar los adecuados siempre está bien tener en cuenta el posible error humano. De esta forma nos aseguramos que los datos que salen en la interfaz son precisos y fiables.

Para hacer la interfaz lo más interactiva y visual posible se han añadido como filtros las fechas y un mapa con los flujos de transporte. Además, se ha hecho una pestaña adicional para que se pueda ver el detalle de los diferentes flujos de transporte con los costes asociados (*drillthrought*).

A continuación, se muestra un ejemplo de la interfaz:

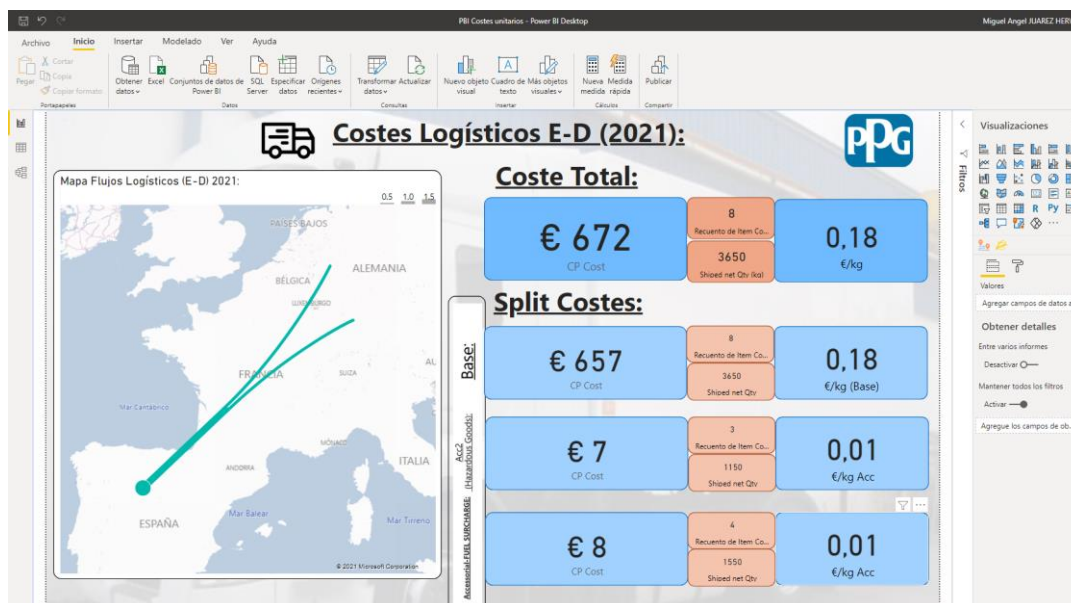


Figura 25: Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes

De esta manera si se hace *click* en el destino del mapa la herramienta identifica los productos y costes asociados a ese destino y cambia los datos.

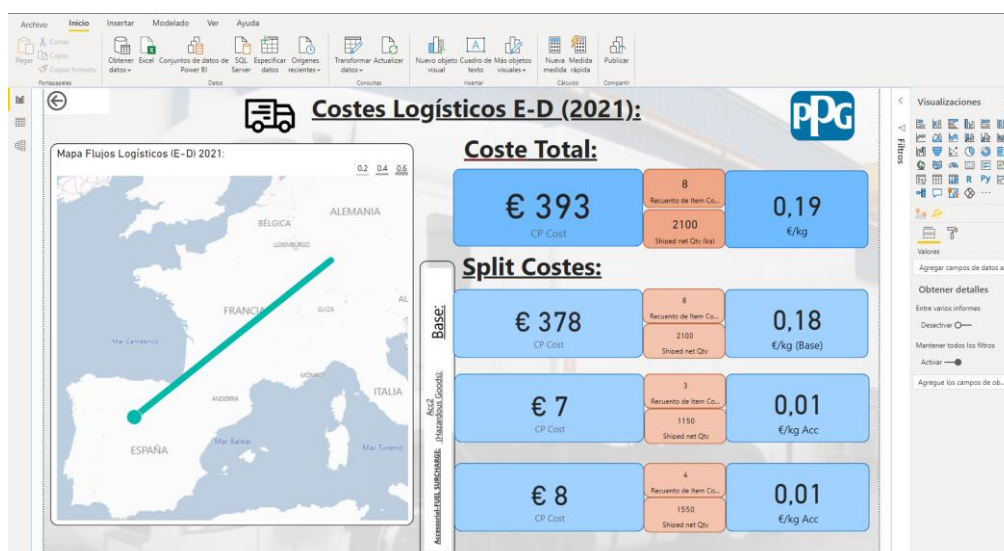


Figura 26: Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes (func. 1)

De una manera similar si se hace *click* derecho se puede obtener los detalles de los flujos:

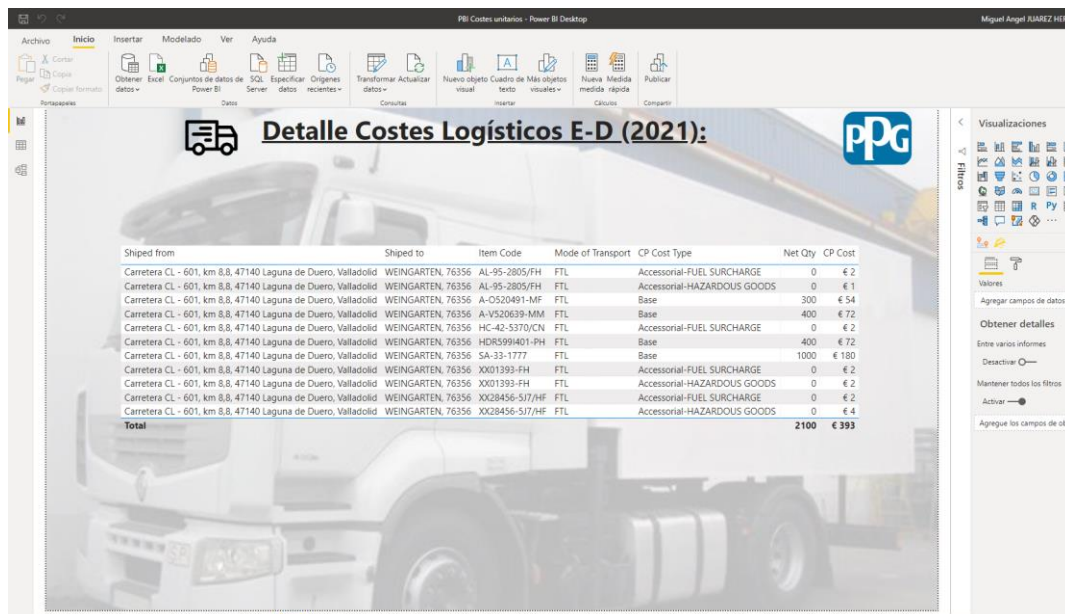


Figura 27: Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes (func. 2)

Se considera que esta herramienta es muy útil ya que no solo analiza los históricos de los flujos de transporte, sino que te da la posibilidad de extraerlo en Excel.

Con estos resultados se calcula lo que sería el coste total de transportar los ítems desde la fábrica de Valladolid a Wuppertal y Alemania, tomando como referencia un año representativo (en este caso el 2019):

$$\text{Coste total (€)} = 13.648.200(kg) \times 0.18 = 2.456.676€$$

Figura 28: Coste total de transportar la mercancía de España a las fábricas de Alemania (en 2019)

El siguiente paso sería analizar los costes de Alemania a los diferentes clientes. En este punto se ha realizado un ejercicio similar al anterior, en este caso hemos tomado como origen las fábricas alemanas (WUPPERTAL y WEINGARTEN) y hemos tomado como destino sus clientes. Para este caso hemos tomado como referencia el año 2019 ya que es una muestra representativa de la demanda según se ha visto en el capítulo anterior.

Para este ejercicio la extracción de datos se ha hecho de manera similar al ejercicio anterior (con ClickView) y las columnas que se han seleccionado eran las mismas. En este caso, como hemos comprobado en el ejercicio anterior que el *CP Cost Type* de Accesorial FUEL-SURCHARGE y Accesorial-HAZARDOUS GOODS no tienen tanta relevancia en el coste total del transporte (alrededor del 5%) y además pueden añadir cierto ruido al análisis se ha decidido excluirlos de esta parte, aunque está bien saber que existen y en qué medida influyen.

En este caso, al cargar los datos los resultados de los flujos han sido los siguientes:

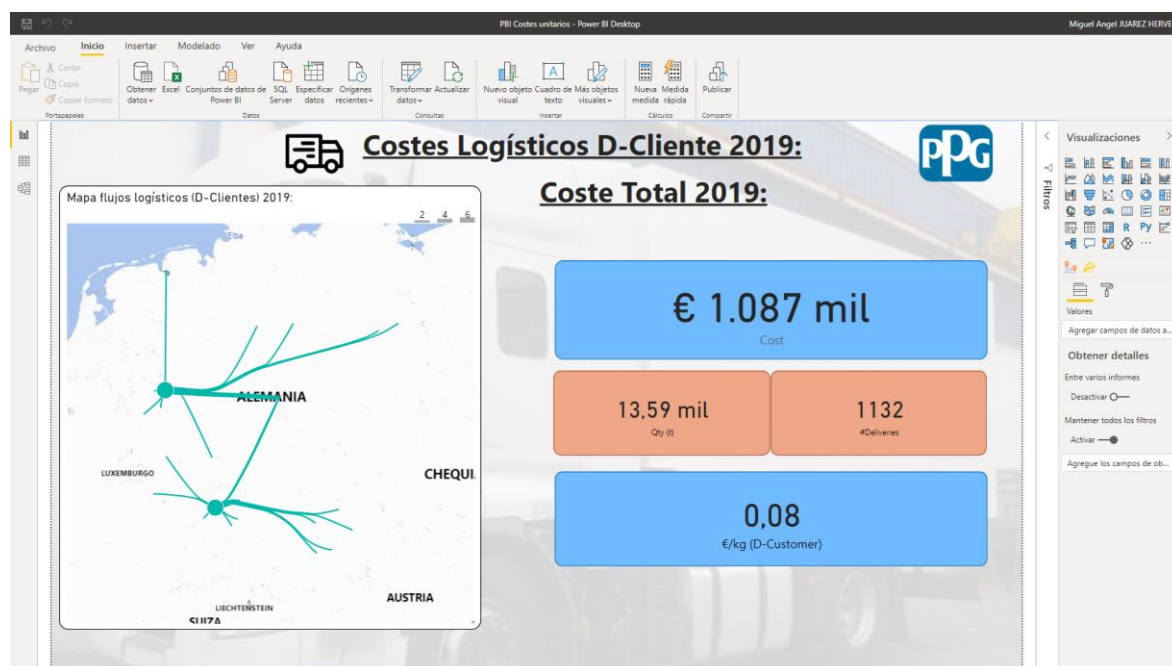


Figura 29: Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Clientes (D-C)

En este punto del análisis podemos hacer un *QuickCheck* para saber que se está yendo por el buen camino. Se puede observar que la cantidad transportada en 2019 es muy similar a la demanda que hubo (visto en el ejercicio anterior).

De la misma manera que el ejercicio anterior, esta herramienta sirve como BBDD para llevar un *Tracker* de los flujos logísticos. Por esta razón, también se le ha incluido la opción de *Drillthrought* para obtener el detalle de las entregas.

En este punto y a la vista de los resultados obtenidos en los costes de Alemania a Clientes se puede observar que la red de clientes alemanes es bastante amplia, por lo que el dato de 0,08€/kg puede ser un dato difuso. La herramienta de Power Bi al ser tan dinámica e interactiva permite filtrar en el mapa por flujo, por lo que se analiza el flujo más largo y el más corto.

De esta forma se analiza uno de los flujos más corto que sería desde Wuppertal a Ford en Cologne, los resultados obtenidos fueron los siguientes:



Figura 30: Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Ford Cologne

Y ahora se analiza uno de los flujos más largos que sería desde Wuppertal hasta la plataforma de Mercedes de Ludwigsfelde (cerca de Berlin). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

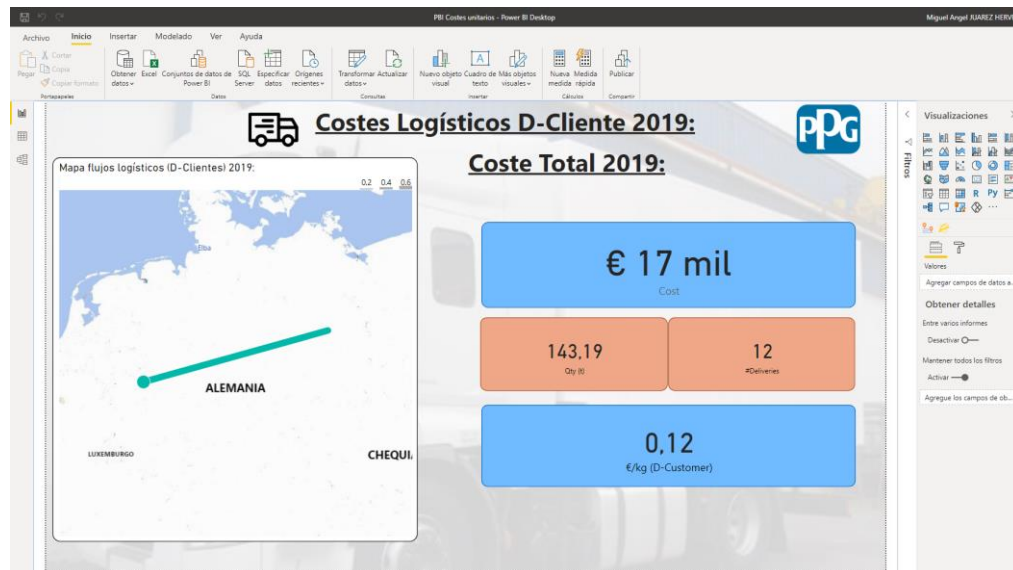


Figura 31: Power BI Opción de transporte 1 España-Alemania-Mercedes Ludwigsfelde

Es sorprendente ver como el dato cambia teniendo en cuenta la diferencia en km que hay entre una plataforma y otra, esto se debe a que los costes de transporte están distribuidos en unos costes fijos y otros variables, cuanto más cantidad o mayor sea la ruta los costes fijos se mitigan.

Con estos resultados, se calcula cual sería el coste total de transportar la mercancía de España a los Clientes siguiendo este modelo, por lo tanto, seguiría la siguiente ecuación:

Coste Total de transporte

$$= \text{Coste Transporte A (España > Alemania)} \\ + \text{Coste Transporte B (Alemania > Clientes)}$$

$$\text{Coste Total de transporte} = 2.456.676\text{€} + 1.087.000\text{€} = \mathbf{3.543.676\text{€}}$$

Figura 24: Coste total de transportar la mercancía de España>Alemania>Clientes
(considerando la demanda en 2019)

4.5.2 DISTANCIA RECORRIDA (ESPAÑA-ALEMANIA-CLIENTES)

Hoy en día la rapidez, la tecnología y la innovación son factores estratégicos que utilizan muchas empresas como ventaja competitiva. Asegurar un buen reparto de la mercancía tiene un impacto directo en la eficiencia y la calidad del servicio lo que supone gran parte de la satisfacción del cliente.

La ruta logística hace referencia al espacio que recorre la mercancía desde que sale de la fábrica (en este caso Valladolid) hasta que llega al cliente. Uno de los objetivos del proyecto es que las rutas logísticas sean lo más optimas posibles, es decir, reducir la distancia que recorren las mercancías al mínimo. Por lo tanto, este es un factor que se tendrá en consideración a la hora de elegir la opción de transporte óptima.

Además, PPG está super comprometido con la sociedad y el medio ambiente por lo que tiene muy en consideración reducir las emisiones de transporte al mínimo. Al elegir la ruta más optima no solo en distancia, sino en km recorridos/kg supone un gran impacto en el medio ambiente.

Para ello, se calcula la distancia que recorrerían las mercancías en un año si se tuviera la demanda de un año representativo, en este caso 2019. Se procede a calcularla de la siguiente manera:

- Para calcular la distancia de Valladolid-Alemania que han recorrido las mercancías (Wuppertal/Weingarten) no se tienen datos reales ya que esta opción no se ha llevado a cabo. Lo que sí que se tiene es la demanda que hubo por cliente en 2019, sabiendo el origen de las mercancías (Wuppertal o Weingarten) se puede calcular como si estos fueran los destinatarios:

From	To	Demanda Ficticia (t)
47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN, 76356	7.373,16
47140 Laguna de Duero, Valladolid	WUPPERTAL, 42329	6.274,40

Figura 32: Demanda ficticia Valladolid a Alemania

Como se ha comentado con anterioridad, los camiones con los que colabora PPG hoy en día caben alrededor de 20 toneladas. Suelen caber en torno a 20 palets en el suelo y no se suele optar por la opción de remontar los palets. En cada palet pueden caber cuatro bidones de 200kg o un contenedor de 1.000kg. Puede haber también la opción de cargar 60 latas de 20kg.

Como se tiene en cuenta para esta opción que el trayecto de Valladolid a Alemania se hará en un camión completo (FTL) dado a la gestión de inventario de la que PPG dispone (MTS), se supondrá como km recorridos la cantidad de km que recorren las mercancías a los destinos como si se transportaran siempre en este modo.

$$\text{Entregas a Weingarten} = \frac{7.373,16(t)}{20 \left(\frac{t}{\text{camión}} \right)} = 369 \text{ entregas}$$

Figura 33: Número de entregas a Weingarten

$$\text{Entregas a Wuppertal} = \frac{6.274,40(t)}{20 \left(\frac{t}{\text{camión}} \right)} = 314 \text{ entregas}$$

Figura 34: Número de entregas a Wuppertal

*Las entregas se han redondeado a números enteros

Teniendo en cuenta la distancia que hay desde Valladolid hasta las fábricas, la distancia recorrida total sería la siguiente:

From	To	Deliveries	Distance (km)	Total distance (km)
47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN, 76356	369	1671	616.599
47140 Laguna de Duero, Valladolid	WUPPERTAL, 42329	314	1673	525.322
			Total (km)	1.141.921

Figura 35: Km recorridos de España a Alemania

Por lo tanto, el número total de km en 2019 para el primer tramo hubiera sido **1.141.921 km.**

- El siguiente ejercicio será calcular la distancia recorrida para el segundo tramo, para ello se ha utilizado la demanda en 2019 de los diferentes clientes y el número de entregas. El resultado de multiplicar la distancia por el número de entregas sería el siguiente:

Customer	From	To	#Deliveries	Distance (km)	Total distance (km)
OTHER	WEINGARTEN, 76356	Aachen, 5100, Germany	3	374	1122,00
BMW	WEINGARTEN, 76356	Dingolfing, 84130, Germany	66	379	24917,07
Audi	WEINGARTEN, 76356	Ingolstadt, 85049, Germany	58	306	17705,54
Audi	WEINGARTEN, 76356	Ingolstadt, 85049, Germany	42	306	12916,57
VW	WEINGARTEN, 76356	Leipzig, 7100, Germany	28	524	14519,67
VW	WEINGARTEN, 76356	Mosel, 56843, Germany	39	204	7933,06
BMW	WEINGARTEN, 76356	Munich, 80999, Germany	51	283	14353,18
Audi	WEINGARTEN, 76356	Neckarsulm, 74172, Germany	40	94	3774,00
VW	WEINGARTEN, 76356	Osnabruck, 49000, Germany	5	460	2215,16
Daimler	WEINGARTEN, 76356	Rastatt, 76437, Germany	72	37	2648,63
BMW	WEINGARTEN, 76356	Regensburg, 93047, Germany	59	338	19832,09
FORD	WEINGARTEN, 76356	Saarlouis, 66740, Germany	59	221	13144,00
Daimler	WEINGARTEN, 76356	Sindelfingen, 71063, Germany	71	81	5741,21
Daimler	WEINGARTEN, 76356	Sindelfingen, 71063, Germany	3	81	243,00
Daimler	WEINGARTEN, 76356	Woerth, -, Germany	3	30	90,00
VW	WEINGARTEN, 76356	Zuffenhausen, 70437, Germany	13	85	1133,62
VW	WUPPERTAL, 42329	Boellinger Hoeft, -, Germany	3	407	1221,00
Daimler	WUPPERTAL, 42329	Bremen, 2800, Germany	84	26	2178,08
Daimler	WUPPERTAL, 42329	Bremen, 2800, Germany	3	26	78,00
FORD	WUPPERTAL, 42329	Cologne, 50677, Germany	56	50	2802,27
VW	WUPPERTAL, 42329	Dresden, 8100, Germany	4	270	999,58
OTHER	WUPPERTAL, 42329	Düren, 52349, Germany	3	90	270,00
Daimler	WUPPERTAL, 42329	Dusseldorf, 4000, Germany	31	30	929,85
OPEL	WUPPERTAL, 42329	Eisenach, 5900, Germany	14	322	4415,99
VW	WUPPERTAL, 42329	Emden, 26723, Germany	44	303	13225,71
VW	WUPPERTAL, 42329	Hannover, 3000, Germany	43	253	10773,05
BMW	WUPPERTAL, 42329	Leipzig, 7100, Germany	53	459	24235,20
Daimler	WUPPERTAL, 42329	Ludwigsfelde, 14974, Germany	12	520	6091,81
OPEL	WUPPERTAL, 42329	Russelsheim, 65428, Germany	14	214	2957,48
VW	WUPPERTAL, 42329	Wolfsburg, 38440, Germany	159	337	53580,16
				Total (km)	266.047

Figura 36: Km recorridos de Alemania a Clientes

Por lo tanto, como conclusión la distancia total recorrida por los camiones en el transporte de las mercancías sería la suma de ambas: **1.407.968 km.**

4.5.3 GESTIÓN DEL INVENTARIO MOQ (MAKE-TO-STOCK) (JUSTIFICACIÓN DEL LEAD TIME)

Para entender el trayecto que se tendrá en cuenta en las diferentes opciones se debe comentar la forma que tiene PPG de almacenar el stock de los diferentes *ítems*. Como se ha dicho antes, el 85% de los *ítems* son MTS (*make-to-stock*) por lo que al ser un porcentaje suficientemente alto se generalizará la producción teniendo en cuenta este modo.

El modo de gestión de inventario seguiría el modelo EOQ (*Economic Order Quantity*). Es un modelo que teniendo en cuenta diferentes factores como: la demanda, costes de operación, costes de inventarios... determina el monto óptimo de *batch size*, inventarios y puntos de reaprovisionamiento. Gráficamente se vería de la siguiente manera:

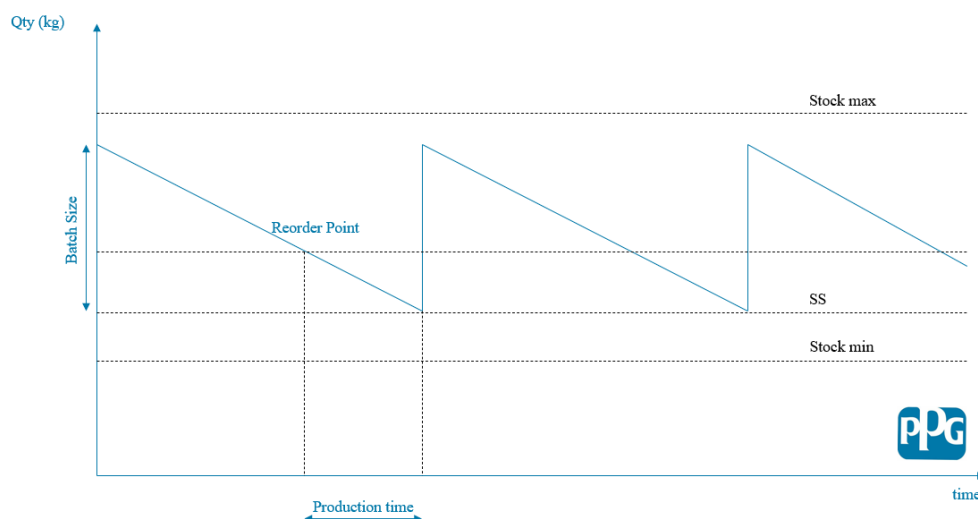


Figura 37: Modelo EOQ PPG

En este modelo el significado de los puntos sería el siguiente:

- Stock max: stock máximo que debe haber en el inventario de PPG. Como se puede observar el máximo se encuentra ligeramente por encima de la ecuación de stock y

esto se debe a que si por alguna razón la producción acaba antes de lo previsto no se penalice.

- Stock min: stock mínimo que debería haber en el inventario de PPG. Se encuentra también ligeramente por debajo de la ecuación de stock por si por algún casual la producción tardase más no se penalice.
- Batch-Size: sería el tamaño de orden óptimo.
- SS (Stock de seguridad): es el stock que se debería tener para hacer frente a imprevistos (aumentos imprevisibles de la demanda, problemas en la producción, aprovisionamientos con mayor plazo de entrega...)
- Reorder point: es el stock a partir del cual se envía una orden de producción de tamaño *batch size*, teóricamente se define como:

$$Reorder\ Point = d \left(\frac{demanda(qty)}{tiempo} \right) * tiempo\ de\ producción + SS(qty)$$

Figura 38: Ecuación Reorder Point

Para entender bien el modelo de gestión de inventario y tener una visión numérica se hará el ejercicio teniendo en cuenta un primer.

4.5.3.1 MOQ Primer PPG

Una vez producidos los ítems (*MTS*) en vez de almacenarse en el almacén de Valladolid hasta que llega el pedido se retienen hasta tener una ruta óptima y se envían a Alemania. De esta forma el stock se queda guardado en Alemania listo para servir al cliente en cuanto entre un pedido. El stock de la gráfica anterior, por lo tanto hace referencia a: Stock en Valladolid+Stock “*On Wheels*”+Stock en Alemania.

Cabe destacar que en PPG se utiliza este modelo de manera práctica y orientativa, es decir, no se rige por las ecuaciones. Por lo tanto, para entenderlo bien y como propuesta a PPG de gestionar su inventario de la manera más óptima posible se le propone el siguiente ejercicio para extrapolarlo al resto de *ítems*.

El ejercicio se hará con un primer del cual tenemos los siguientes datos:

- Batch Size Optimo: 20 toneladas
- Tiempo de producción: 6 días
- Demanda anual: 480 toneladas por año
- Stock de seguridad: 2,5x (hace referencia a que el stock de seguridad debe ser de al menos 2,5 veces mayor que la demanda en el periodo en el que se produce)
- Stock mín.: 1,5x
- Stock máx.: sería el stock que habría si la producción tardara la mitad de tiempo (es difícil que pase)

Se realizan los siguientes cálculos para llegar al resultado:

- Demanda diaria (d): demanda diaria teórica, teniendo en cuenta una producción 24/7.

$$d = \frac{480t}{365\text{días}} = 1,315\left(\frac{t}{\text{día}}\right)$$

Figura 39: Demanda teórica diaria de un primer escogido

- Stock mín.:

$$\text{Stock mín.} = 1,5 \times 6 (\text{días}) \times 1,315 \left(\frac{t}{\text{día}}\right) = 11,83 t \approx 12 t$$

Figura 40: Stock mínimo teórico de un primer escogido

Se observa que el stock mínimo sería de 11,83 t, se redondea a 12 t ya que hay tamaños de pedido determinados.

- Stock de seguridad:

$$SS = 2,5 \times 6(\text{días}) \times 1,315 \left(\frac{t}{\text{día}}\right) = 19,725 t \approx 20 t$$

Figura 41: Stock de seguridad teórico de un primer escogido

Se observa que el stock de seguridad sería de 19,725 t, se redondea a 20 t ya que hay tamaños de pedido determinados.

- Reorder Point:

$$RP = 19,725 (t) + 1,315 \left(\frac{t}{\text{día}} \right) \times 6 (\text{días}) = 27,615 t \approx 28 t$$

Figura 42: Reorder Point teórico de un primer escogido

- Stock máx.:

$$\text{Stock máx.} = 19,725(t) + 3(\text{días}) \times 1,315 \left(\frac{t}{\text{día}} \right) + 20 (t) = 43,67t \approx 44t$$

Figura 43: Stock máximo teórica de un primer escogido

La gráfica por lo tanto quedaría de la siguiente manera:

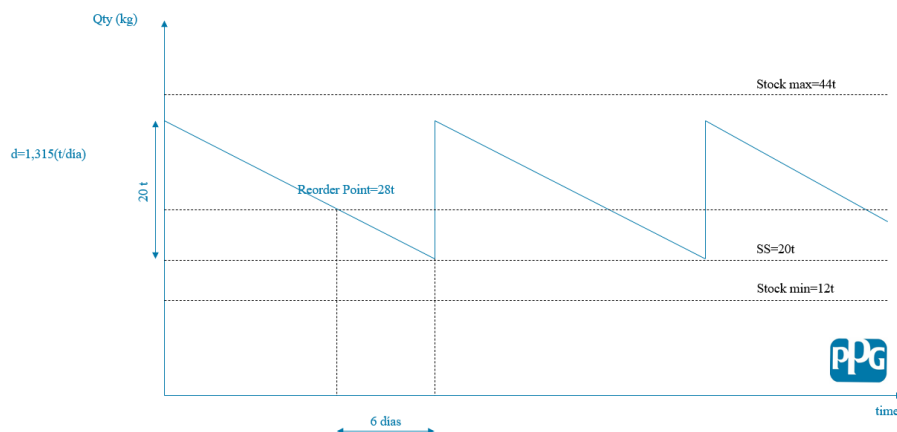


Figura 44: Modelo EOQ de gestión de inventarios para un primer

Este sería el modelo más óptimo de gestión de inventarios en función de los datos que tenemos. De esta forma el inventario quedaría siempre con el mínimo stock posible que garantiza un buen servicio y unos costes de inventario mínimos.

Por lo tanto, este stock, como se ha dicho antes, sería equivalente al stock de Valladolid+ stock “On Wheels”+ stock en Alemania. Es decir, el stock se deja en Valladolid una vez producido y cuando se encuentra la ruta más óptima de transporte a las fábricas de Alemania

se transportaría la mercancía. Esto es posible debido al modelo utilizado. Como conclusión, el tiempo de transporte desde Valladolid a Alemania para el análisis lo tomaremos como 0 días ya que se supone que al seguir este modelo para cuando entre un pedido el stock estará almacenado en la fábrica de Alemania.

Como curiosidad, el tiempo de trayecto de España a Alemania está establecido en 4 días. Se estima que el tiempo de trayecto ronda las 20h, un conductor por camión en los transportes no urgentes y a ello se le suma un día más por si acaso no llega a la hora en la que se puede recepcionar. Por último, la capacidad de los camiones para hacer estos trayectos sería de 20t por camión.

4.5.4 TIEMPO DE TRAYECTO (ESPAÑA-ALEMANIA- CLIENTES)

La forma en la que una empresa tiene de captar y conservar a sus clientes es porque lo hace mejor que la competencia, es decir, tiene una ventaja competitiva frente a sus rivales. Tener una ventaja competitiva permite tener mejores resultados, no solo económicos, sino que también se mejora la satisfacción del cliente. Las mejores ventajas competitivas que permiten posicionarte por encima de tus rivales en el mercado son:

- Calidad
- Experiencia y personalización
- Servicio
- Precio
- Tiempo

Como se ha visto con anterioridad, el producto que fabrica PPG está muy customizado y es de gran calidad. Además, su producción *mass customization* permite obtener también las ventajas de reducir los costes operativos de producción en masa. Como el objetivo de este proyecto es elegir la opción más optima de transporte el factor del tiempo de trayecto se debe de tener en cuenta ya que puede suponer una ventaja competitiva.

Para entender bien el ejercicio anterior se describe gráficamente la gestión de inventario y por lo tanto la ubicación del stock de PPG en esta opción:

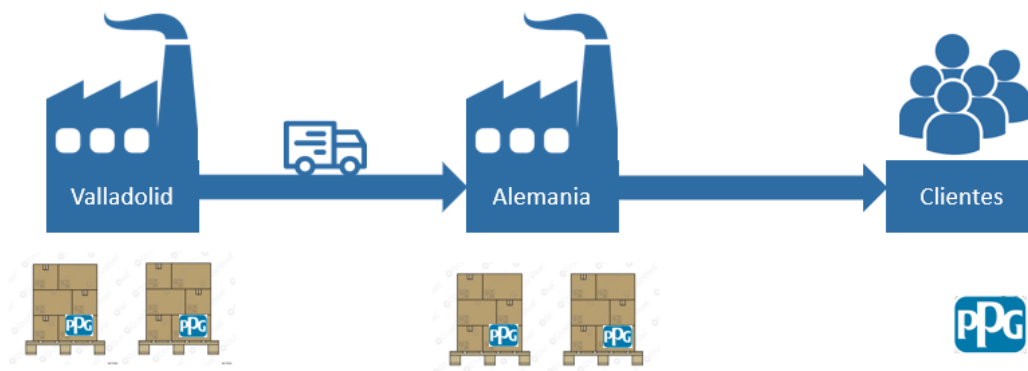


Figura 45: Opción 1 Flujo Valladolid-Alemania-Clientes

El tiempo de trayecto se define como el tiempo que pasa desde que se produce un pedido hasta que se le entrega al cliente. Por lo tanto, como se observa en la imagen, debido a la gestión de inventario de esta opción cuando se realiza un pedido el stock sale directamente desde Alemania ya que se tiene stock en esas fábricas. Como conclusión y dadas las distancias que existen entre las fábricas de Alemania (Wuppertal y Weingarten) y los clientes se estima que el tiempo de trayecto desde que se hace un pedido hasta que se entrega es **un día**.

4.6 ANÁLISIS DEL TRANSPORTE ESPAÑA-CLIENTES

Una vez analizada la primera opción que sería producir los *ítems* en Valladolid, transportarlos a las fábricas de Alemania (Wuppertal y Weingarten) y de ahí distribuirlos a los clientes alemanes se procede a realizar el análisis de los costes de la segunda opción: transportar directamente los *ítems* de Valladolid al cliente final en Alemania.

Gráficamente y a nivel orientativo esta opción se vería de la siguiente manera:



Figura 46: Opción 2 transporte España-Clientes

4.6.1 ANÁLISIS DE LOS COSTES DE TRANSPORTE ESPAÑA-CLIENTES

En esta ocasión, las entregas que viajan desde Valladolid tienen el mismo origen, pero diferente destino, mientras que antes los destinos eran solamente dos (Wuppertal y Weingarten), ahora hay treinta opciones posibles.

Por esta razón, el modo de transporte que se tiene en cuenta para la realización de este análisis es el LTL ya que no se puede asegurar que cuando se reciba un pedido el resto de los clientes de alrededor también lo generarán. Esta opción aparte de ser la más precavida es la más flexible, por lo que si por algún casual se tuviera un problema de capacidad (mayor o menor demanda de lo esperado) con esta opción sería más fácil gestionarlo.

El precio de este tipo de transporte varía en función de dos variables:

- La ciudad de destino: tiene en cuenta la cantidad de km que recorre el camión transportando la mercancía
- El peso: la cantidad en kg de mercancía transportada

Para tener un coste orientativo de lo que sería transportar la mercancía desde España directamente al cliente se procede a hacer una Regresión Lineal Múltiple con los datos de los costes de distribuir la mercancía desde Wuppertal y Weingarten a los diferentes clientes en 2019.

El modelo de Regresión Lineal Múltiple permite estimar una variable continua (en este caso el coste total) en función de una serie de variables (en este caso € y km).

Por lo tanto, el coste respondería a la siguiente ecuación:

$$\text{Coste de transporte (€)} = \left(A(\text{€}) + B \left(\frac{\text{€}}{\text{km}} \right) x \text{km} + C \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) x \text{kg} \right) + \text{€}$$

Figura 47: Ecuación para estimar los costes de transporte de la Opción 2 transporte España-Clientes

La parte de la ecuación entre paréntesis se corresponde con las componentes determinísticas y la variable ϵ es la aleatoria, se estima que es el error y que sigue una distribución normal de media 0 y varianza (ruido) constante.

Las suposiciones que se hacen en este modelo son las siguientes:

- Existe una relación lineal entre las variables
- El posible ruido (error) sigue una distribución normal de media 0 y varianza constante
- Hay independencia entre los errores

La muestra de la que se parte para el análisis son estos tres puntos:

From	To	Qty (t)	€/kg	Distance (km)	#Deliveries	Total Cost
Wuppertal	Ford, Cologne	685,04	0,06	50	56	41.102,40 €
Wuppertal	Mercedes, Ludwigsfelde	143,19	0,12	520	12	17.182,80 €
Wuppertal	Opel, Russelsheim	168,92	0,08	214	14	13.513,70 €

Figura 48: Detalle del total entregas a 3 clientes en 2019

El resultado después de correr el modelo sería el siguiente:

$$\text{Coste de transporte (€)} = \left(-288,7(\text{€}) + 1.56 \left(\frac{\text{€}}{\text{km}} \right) xkm + 0.05405 \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) xkg \right) + \epsilon$$

Figura 49: Ecuación resuelta para estimar los costes de transporte de la Opción 2
transporte España-Clientes

El coeficiente que determina si el modelo se ajusta a la realidad se llama coeficiente de determinación (R^2). Es un coeficiente que está comprendido entre 0 (mucha dispersión) y 1 (los datos son un hiperplano). El resultado del coeficiente de determinación de nuestro modelo sería: $R^2=0,9999$ por lo que se puede asegurar que se ajusta bastante a la realidad.

Por último, con los datos que tenemos se calcula el residuo (componente aleatoria)

- $\epsilon_1 = 2.4\text{€}$
- $\epsilon_2 = 2.8\text{€}$
- $\epsilon_1 = 3.7\text{€}$

Se puede observar que el error es muy pequeño y con los resultados anteriores validaríamos el modelo. Aunque está bien darse cuenta de que el error no parece que siga una distribución normal de varianza constante y media 0, esto se debe a que se han utilizado pocos datos para el modelo, aun así, no hay evidencias suficientes como para descartarlo y parece bastante preciso por lo que se utilizará para el análisis.

Con los datos de la demanda que hubo en 2019 se estima lo que hubiera costado transportar la mercancía de Valladolid a los clientes finales siguiendo la ecuación, resultado del modelo. El resultado sería el siguiente:

Customer	From	To	Qty	#Deliveries	Distance (km)	Total distance (km)	Cost € (-288,7+1,56*d +0,05405*qty)
OTHER	Valladolid	Aachen, 5100, Germany	1,01	3	1583	4749,00	7.174,29 €
BMW	Valladolid	Dingolfing, 84130, Germany	803,59	66	2021	132869,13	250.421,11 €
Audi	Valladolid	Ingolstadt, 85049, Germany	707,23	58	1948	112713,67	213.770,66 €
Audi	Valladolid	Ingolstadt, 85049, Germany	515,94	42	1948	82227,05	155.872,22 €
VW	Valladolid	Leipzig, 7100, Germany	338,69	28	1925	53340,39	101.228,45 €
VW	Valladolid	Mosel, 56843, Germany	475,32	39	1649	64125,58	125.438,29 €
BMW	Valladolid	Munich, 80999, Germany	619,92	51	1925	97632,04	185.524,11 €
Audi	Valladolid	Neckarsulm, 74172, Germany	490,74	40	1747	70140,14	135.654,30 €
VW	Valladolid	Osnabruck, 49000, Germany	58,86	5	1833	8826,92	16.662,69 €
Daimler	Valladolid	Rastatt, 76437, Germany	874,98	72	1636	117112,52	229.699,26 €
BMW	Valladolid	Regensburg, 93047, Germany	717,18	59	1992	116880,26	220.808,05 €
FORD	Valladolid	Saarlouis, 66740, Germany	726,96	59	1541	91651,17	181.979,39 €
Daimler	Valladolid	Sindelfingen, 71063, Germany	866,35	71	1723	122124,69	237.052,12 €
Daimler	Valladolid	Sindelfingen, 71063, Germany	13,03	3	1723	5169,00	8.478,99 €
Daimler	Valladolid	Woerth, -, Germany	1,00	3	1659	4977,00	7.529,47 €
VW	Valladolid	Zuffenhausen, 70437, Germany	163,00	13	1727	23032,50	44.452,15 €

Figura 50: Parte 1 Tabla Estimación Costes Totales considerando la demanda en 2019

Customer	From	To	Qty	#Deliveries	Distance (km)	Total distance (km)	Cost € (- 288,7+1,56*d+0,05 405*qty)
VW	Valladolid	Boellinger Hoeft, -, Germany	5,95	3	1742	5226,00	8.185,27 €
Daimler	Valladolid	Bremen, 2800, Germany	1023,94	84	1666	139564,48	272.776,02 €
Daimler	Valladolid	Bremen, 2800, Germany	8,95	3	1666	4998,00	7.992,04 €
FORD	Valladolid	Cologne, 50677, Germany	685,04	56	1644	92138,76	180.474,22 €
VW	Valladolid	Dresden, 8100, Germany	45,25	4	1992	7374,70	13.661,66 €
OTHER	Valladolid	Düren, 52349, Germany	3,97	3	1603	4809,00	7.427,92 €
Daimler	Valladolid	Dusseldorf, 4000, Germany	378,85	31	1650	51141,58	99.968,96 €
OPEL	Valladolid	Eisenach, 5900, Germany	167,63	14	1991	27305,10	51.367,60 €
VW	Valladolid	Emden, 26723, Germany	533,52	44	1900	82933,50	157.924,42 €
VW	Valladolid	Hannover, 3000, Germany	520,47	43	1923	81883,70	155.581,17 €
BMW	Valladolid	Leipzig, 7100, Germany	645,37	53	1925	101640,01	193.152,06 €
Daimler	Valladolid	Ludwigsfelde, 14974, Germany	143,19	12	2187	25620,73	47.419,16 €
OPEL	Valladolid	Russelsheim, 65428, Germany	168,92	14	1713	23673,68	45.772,43 €
VW	Valladolid	Wolfsburg, 38440, Germany	1943,35	159	2008	319255,10	602.787,10 €
							3.965.946,89 €

Figura 51: Parte 2 Tabla Estimación Costes Totales considerando la demanda en 2019

Por lo tanto, se obtendría como coste total estimado de transportar las mercancías desde España directamente a cliente final (2019) de: 3.965.946,89€.

4.6.2 DISTANCIA RECORRIDA (ESPAÑA- CLIENTES)

Hoy en día se considera que el 25% de las emisiones de CO₂ en España (según la Agencia Europea del Medio Ambiente) son debidas a operaciones logísticas. Además, teniendo en cuenta como está creciendo el sector del e-commerce si no se toma responsabilidad sobre este asunto se espera que esta cifra siga creciendo. (Martin L., 2019)

PPG es consciente de esto y apuesta por la movilidad más sostenible posible, por ello el proyecto tiene en cuenta cual sería la opción más optima no solo en cuanto a coste sino también en cuanto a contaminación. Por ello se procede a calcular cual sería la distancia recorrida considerando esta opción de transporte teniendo en cuenta los datos de la demanda

que hubo en 2019, la cantidad de entregas que hubo a los diferentes clientes y la distancia entre Valladolid y los clientes. El resultado obtenido sería el siguiente:

Customer	From	To	Qty	#Deliveries	Distance (km)	Total distance (km)
OTHER	Valladolid	Aachen, 5100, Germany	1,01	3	1583	4749,00
BMW	Valladolid	Dingolfing, 84130, Germany	803,59	66	2021	132869,13
Audi	Valladolid	Ingolstadt, 85049, Germany	707,23	58	1948	112713,67
Audi	Valladolid	Ingolstadt, 85049, Germany	515,94	42	1948	82227,05
VW	Valladolid	Leipzig, 7100, Germany	338,69	28	1925	53340,39
VW	Valladolid	Mosel, 56843, Germany	475,32	39	1649	64125,58
BMW	Valladolid	Munich, 80999, Germany	619,92	51	1925	97632,04
Audi	Valladolid	Neckarsulm, 74172, Germany	490,74	40	1747	70140,14
VW	Valladolid	Osnabruck, 49000, Germany	58,86	5	1833	8826,92
Daimler	Valladolid	Rastatt, 76437, Germany	874,98	72	1636	117112,52
BMW	Valladolid	Regensburg, 93047, Germany	717,18	59	1992	116880,26
FORD	Valladolid	Saarlouis, 66740, Germany	726,96	59	1541	91651,17
Daimler	Valladolid	Sindelfingen, 71063, Germany	866,35	71	1723	122124,69
Daimler	Valladolid	Sindelfingen, 71063, Germany	13,03	3	1723	5169,00
Daimler	Valladolid	Woerth, -, Germany	1,00	3	1659	4977,00
VW	Valladolid	Zuffenhausen, 70437, Germany	163,00	13	1727	23032,50
VW	Valladolid	Boellinger Hoefe, -, Germany	5,95	3	1742	5226,00
Daimler	Valladolid	Bremen, 2800, Germany	1023,94	84	1666	139564,48
Daimler	Valladolid	Bremen, 2800, Germany	8,95	3	1666	4998,00
FORD	Valladolid	Cologne, 50677, Germany	685,04	56	1644	92138,76
VW	Valladolid	Dresden, 8100, Germany	45,25	4	1992	7374,70
OTHER	Valladolid	Düren, 52349, Germany	3,97	3	1603	4809,00
Daimler	Valladolid	Dusseldorf, 4000, Germany	378,85	31	1650	51141,58
OPEL	Valladolid	Eisenach, 5900, Germany	167,63	14	1991	27305,10
VW	Valladolid	Emden, 26723, Germany	533,52	44	1900	82933,50
VW	Valladolid	Hannover, 3000, Germany	520,47	43	1923	81883,70
BMW	Valladolid	Leipzig, 7100, Germany	645,37	53	1925	101640,01
Daimler	Valladolid	Ludwigsfelde, 14974, Germany	143,19	12	2187	25620,73
OPEL	Valladolid	Russelsheim, 65428, Germany	168,92	14	1713	23673,68
VW	Valladolid	Wolfsburg, 38440, Germany	1943,35	159	2008	319255,10
					Total (km)	2.075.135

Figura 52: Tabla Distancia recorrida considerando la Opción de Transporte 2 y la demanda en 2019

Se observa que la distancia recorrida total considerando esta opción es **2.075.135km**.

4.6.3 TIEMPO DE TRAYECTO (ESPAÑA- CLIENTES)

Para este caso, el stock en el momento en el que se produce un pedido se encuentra en Valladolid, así pues, el tiempo que se considera de trayecto sería desde que se expide la mercancía en Valladolid y sale de la fábrica hasta que la recibe el cliente. Gráficamente se vería de la siguiente manera:

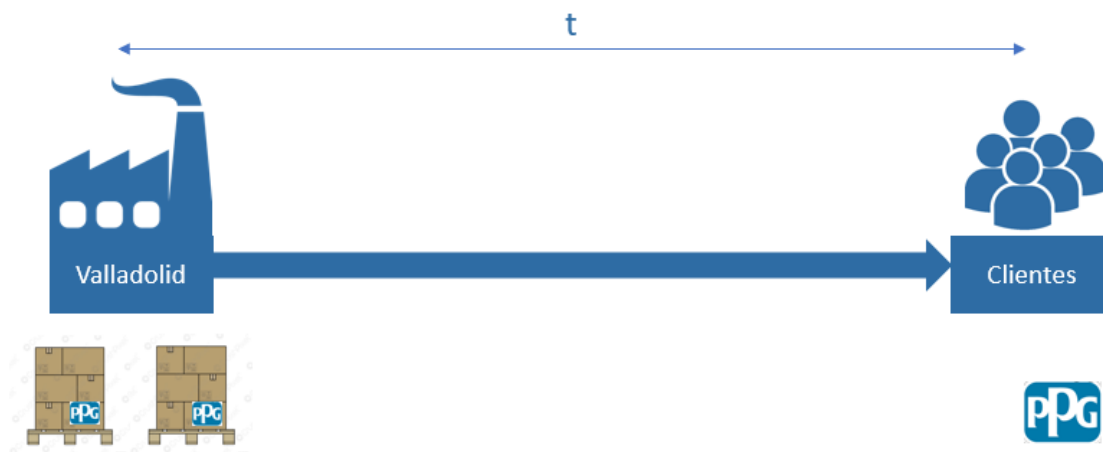


Figura 53: Tiempo de trayecto Opción 2 (España-Clientes)

El tiempo de trayecto que se estima para esta ruta (tiempo orientativo y basado en la experiencia) es de 5 días. Para entender mejor de donde viene este dato partimos de lo siguiente:

- El modo de transporte es un LTL, por lo que un día se pierde entre que viaja a la delegación y traspasa mercancías.
- La distancia media entre Valladolid y los clientes es 1.806,33km. Teniendo en cuenta que los transportes por grupaje suelen llevar un solo conductor y estos conducen al día un máximo de 8 horas a una velocidad de 90km/h como máximo (límite de velocidad en España en autopista y autovía para vehículos que superan los 3.500kg)

(Real Decreto 1514/2018). El resultado de este trayecto si se hiciera de seguido sería de 2.51 días.

- Se le añade siempre un día por si el conductor no llega a tiempo a la recepción.

Por lo tanto, teniendo en cuenta esta opción se estima que el **tiempo que se tardaría desde que se hace el pedido hasta que lo recibe el cliente es de 5 días.**

4.7 CLUSTERIZACIÓN DE CLIENTES

Teniendo en cuenta los clientes que se consideran para este proyecto es inevitable no pensar en clusterizarlos. Este ejercicio es bastante importante ya que mejora enormemente la eficiencia del transporte. El objetivo de clusterizar a los clientes es que muchas veces a la hora de las entregas no se combinan en el mismo transporte dos clientes cercanos, si se combinara la entrega se mejoraría en los siguientes KPIs:

- Ratio de consumo de combustible
- Distancia recorrida planeada vs distancia recorrida real
- Porcentaje de ocupación vs disponible
- Coste de la entrega
- Litigios (porcentaje de entregas dañadas)

Lo más importante es que la mayoría de estos KPIs no solo tiene un impacto en la empresa, sino que también tiene un impacto en el cliente. Como se ha visto con anterioridad, una buena relación con el cliente es super importante a nivel general y mucho más en PPG dado el producto que fabrica y servicio que realiza.

En el modelo de transporte FTL este ejercicio es mucho más efectivo que para el modelo de transporte LTL, aun así, es cierto que mejora esos índices de rendimiento y por lo tanto se lleva a cabo.

Por lo tanto, partiendo de la lista de clientes y las cantidades que se han entregado en 2019 se obtiene el siguiente mapa, realizado también con Power Bi y se alimenta del mismo origen

que los ficheros anteriores, por lo que su mantenimiento y actualización (mensual o semanal) no genera más trabajo.

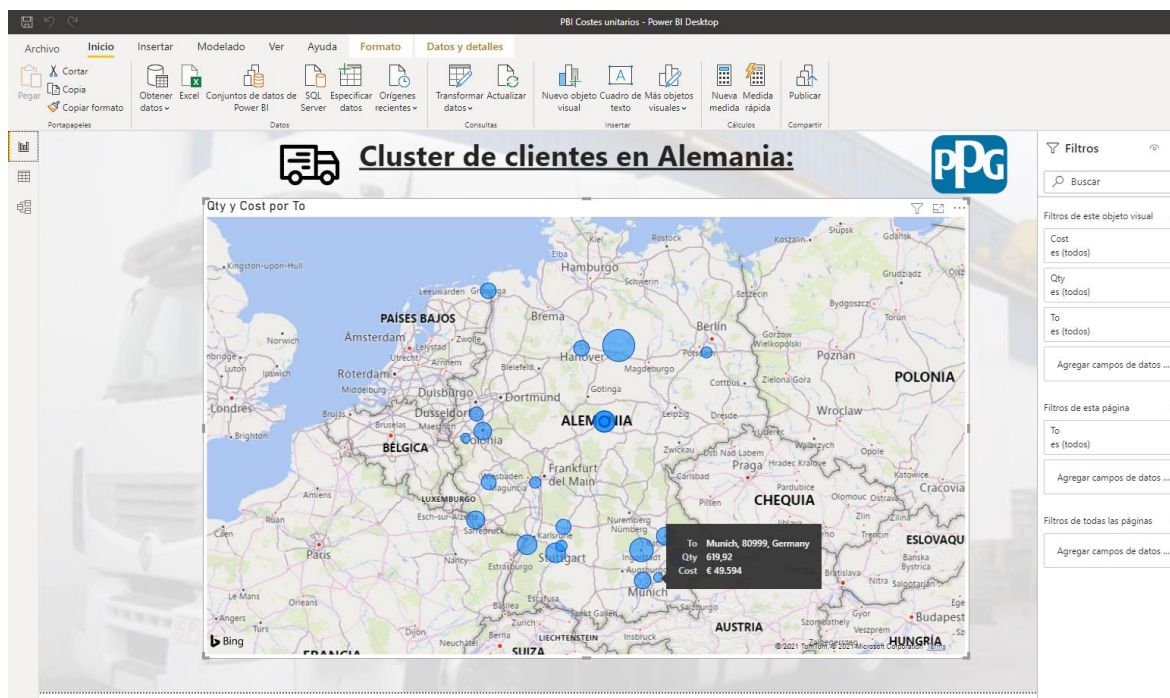


Figura 54: Clientes sin clusterizar

Como se puede observar el mapa es bastante interesante ya que el tamaño de las bolas azules varía en función de la cantidad entregada y si se pasa el cursor por encima se obtiene el detalle de los costes.

Los clusters se han realizado teniendo en cuenta sobre todo la distancia entre los clientes. Puesto que el objetivo es el de encontrar posibles combinaciones de entregas y por lo tanto reducir costes y mejorar el servicio (entre otros) se agrupan los clientes considerando distancias pequeñas.

El resultado sería el siguiente:

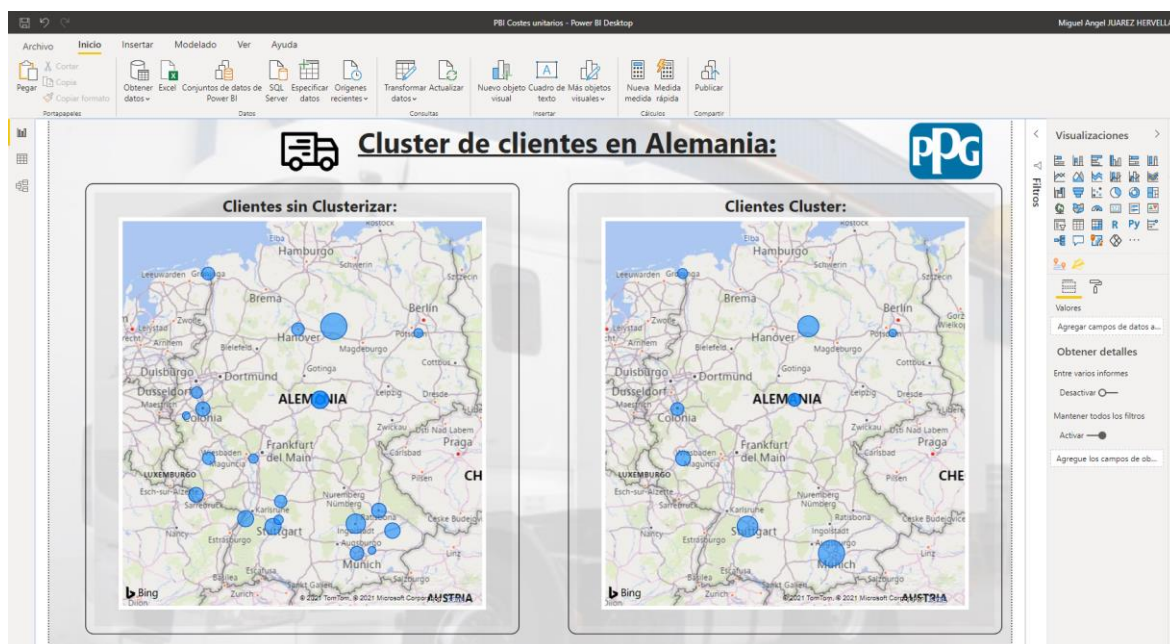


Figura 55: Clientes Cluster

Como se puede observar la agrupación de clientes en clusters es un método *best practice* a la hora de gestionar el transporte en una empresa. De esta manera se mejoraría el rendimiento, la eficiencia y la calidad de transporte.

Capítulo 5. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se interpretarán los resultados de los análisis realizados a lo largo del proyecto. Cabe destacar los KPIs que se iban a tener en cuenta para la toma de decisiones:

1. Coste (€/kg y Coste Total): El coste de la logística para empresas como PPG que vende volúmenes elevados a un coste asumible por el cliente puede representar hasta un 30% del valor de la mercancía. Por lo tanto, elegir la opción que menor coste tenga supone una ventaja muy competitiva.
2. Espacio recorrido (km): PPG es una empresa que está fuertemente comprometida con la sociedad y el medioambiente, por lo que este KPI se ha tenido en consideración.
3. Tiempo de trayecto (días): se recuerda que PPG no utiliza flota propia, sino que colabora con empresas que le prestan este servicio. Para una correcta gestión de la cadena de suministro el *lead time* tiene que ser un factor muy importante para considerar ya que nos va a aportar flexibilidad y capacidad de respuesta. Es por esto por lo que se ha tenido en consideración a lo largo del proyecto.

Los resultados del proyecto serían los siguientes:

Opción 1:

 Opción 1: España-Alemania-Clientes	
Coste total de Transporte (año estimado) (€)	3.543.676,00 €
Distancia Recorrida (km)	1.407.968 km
Lead time	1 día

Figura 56: Resultados Análisis Opción 1

Opción 2:

 Opción 2: España-Clientes	
Coste total de Transporte (año estimado) (€)	3.965.946,89 €
Distancia Recorrida (km)	2.075.135 km
Lead time	5 días

Figura 57: Resultados Análisis Opción 2

Comparando ambos resultados se obtiene lo siguiente:

	Opción 1	Opción 2	% Comparativo
Coste total de Transporte (año estimado) (€)	3.543.676,00 €	3.965.946,89 €	89%
Distancia Recorrida (km)	1.407.968 km	2.075.135 km	68%
Lead time	1 día	5 días	20%

Figura 58: Comparativa resultados Opción 1 y Opción 2

1. Costes: se observa que la Opción 1 tiene menos Costes Totales que la Opción 2 (11% menor). Es lógico que la Opción 1 sea menos costosa ya que como se ha visto con anterioridad los costes de transporte dependen de la cantidad de mercancía (kg) y la distancia recorrida (km) con lo cual era de esperar que a menor número de entregas en las rutas de mayor distancia el coste sea más bajo (ya que se agrega la mercancía en la opción 1 de Valladolid a Alemania).

Un 11% a primera vista parece poco decremento pero hay que considerar dos factores: dentro de los costes de transporte existe un coste fijo que se amortiza más cuando la ruta es más larga (Opción 1 tiene 2 rutas y Opción 2 tiene una ruta) y que por lo general es menos costoso el transporte de mercancías por grupaje

Como conclusión de este KPI nos parece bastante lógico el resultado.

2. Distancia recorrida: Con la opción 1 se recorre un 32% menos de distancia, parece un resultado bastante lógico ya que no solo tiene en cuenta las distancias que existen entre Plataformas PPG y Clientes sino que también tiene en consideración el número de entregas. Es lógico pensar que a mayor entregas de mayor recorrido la distancia será mayor.
3. Lead time: Con la Opción 1 se reduce el Lead time un 80% en comparación con la Opción 2. Es lógico ya que solo se tiene en cuenta el tiempo de transporte de mercancías de Alemania a los clientes. Esto se puede hacer ya que el modo de gestionar el inventario de PPG es MTS y por lo tanto se asume que para cuando entre el pedido en el sistema de PPG la mercancía se encuentra en las fábricas de PPG en Alemania.

En vista a los resultados obtenidos, no es necesario hacer mayor análisis ya que los tres indicadores (aunque tengan distinto peso) son favorables a la Opción 1. Por lo tanto, la opción que se escoge para este proyecto sería la Opción 1: Transporte España-Alemania (Wuppertal/Weingarten)-Cliente.

Capítulo 6. UBICACIÓN OPTIMA DEL ALMACÉN

Este capítulo es adicional al proyecto y está fuera del *scope*, aunque es un capítulo que nos ha parecido interesante incluir. Los objetivos de este capítulo son:

- Entender el rol del diseño de la red en la cadena de suministro
- Identificar los factores que influyen en la toma de decisiones del diseño de la red en una cadena de suministro
- Utilizar la optimización y desarrollar un modelo para la ubicación del almacén

Este capítulo hace referencia a la Fase III del diseño de las cadenas de suministro (elegir las ubicaciones óptimas) por lo tanto se diseñará la ubicación optima que debería tener un almacén para reducir los costes de transporte de mercancías. Los factores que se tienen en cuenta generalmente para elegir la ubicación de este tipo de instalaciones son: factores estratégicos, tecnológicos, macroeconómicos y políticos.

Cabe destacar que la idea del suministro de mercancías sería:

1. Producir los productos en Valladolid
2. Esperar a una ruta óptima y utilizar un modo de transporte FTL para llevar la mercancía al almacén
3. Distribuir los productos desde el almacén a los clientes por grupaje (LTL)

Es por esto por lo que para este proyecto los factores que se tendrán en cuenta son los estratégicos ya que se supone que la ubicación óptima para reducir los costes de transporte sería en Alemania ya que la ruta más larga se transportaría en un camión lleno y luego la ruta más corta por grupaje.

Para este análisis se utilizará el “*Gravity Location Model*”. Este modelo asume que el proveedor y el cliente puede ubicarse en una cuadrícula de un plano y asume que el coste de transporte de mercancías incrementa directamente proporcional a la cantidad transportada.

Los parámetros que se utilizarán en este modelo son:

- (x,y): Coordenadas de los clientes
- Qty(t): Cantidad transportada

Como el objetivo de este capítulo es puramente académico, en esta ocasión las coordenadas que se han utilizado corresponden a un plano de ejes (x,y) donde x se encuentra entre [0,1200] e y se encuentra entre [0,1400]. Además, la demanda es orientativa e irá variando para ver cómo influye en la ubicación del almacén.

El problema de optimización por lo tanto será reducir al mínimo el producto de la distancia por la cantidad de mercancía transportada.

Se consideran 2 escenarios:

Escenario 1: Se consideran los siguientes clientes con las demandas correspondientes

 Clientes	Qty (t)	Coordenadas	
		x_n	y_n
VW Emden, 26723	533,52	380	1150
VW Hannover, 3000	520,47	602	950
VW Wolfsburg, 38440	1943,35	690	955
Daimler Ludwigsfelde, 14974, Germany	143,19	900	937
Daimler Dusseldorf, 4000, Germany	378,85	350	720
FORD Cologne, 50677, Germany	685,04	370	660
OTHER Düren, 52349, Germany	3,97	325	635
VW Mosel, 56843, Germany	475,32	380	480
FORD Saarlouis, 66740, Germany	726,96	350	350
OPEL Russelsheim, 65428, Germany	168,92	490	480
Daimler Rastatt, 76437, Germany	874,98	475	255
Daimler Sindelfingen, 71063, Germany	879,38	540	225
VW Zuffenhausen, 70437, Germany	163,01	555	250
Audi Neckarsulm, 74172, Germany	490,74	560	318
Audi Ingolstadt, 85049, Germany	1223,18	750	245
BMW Munich, 80999, Germany	619,92	750	135
Daimler Woerth, -, Germany	755,00	785	140
BMW Dingolfing, 84130, Germany	803,59	840	220
BMW Leipzig, 7100, Germany	645,37	660	700
VW Leipzig, 7100, Germany	338,69	660	700
BMW Regensburg, 93047, Germany	717,18	800	280
Others	500,00	1000	1080

Figura 59: Escenario 1 Clientes y demanda a considerar para la ubicación del almacén

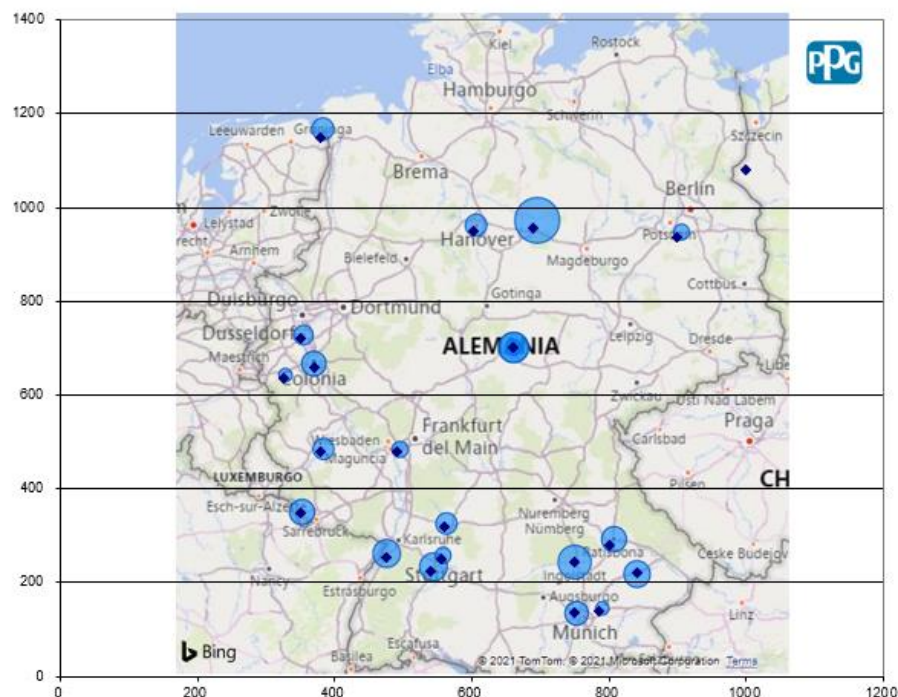


Figura 60: Escenario 1 Gráfica de clientes y demanda a considerar para la ubicación del almacén

El objetivo por lo tanto será minimizar la siguiente ecuación:

$$\min Q_{ty}(t)x \left(\sqrt{(x - x_{\text{almacén}})^2 + (y - y_{\text{almacén}})^2} \right)$$

Figura 61: Ecuación a optimizar

Los resultados se han hallado utilizando la herramienta Solver de Excel y como variables las coordenadas del almacén. El procedimiento se detalla en el Anexo IV y este sería el resultado:

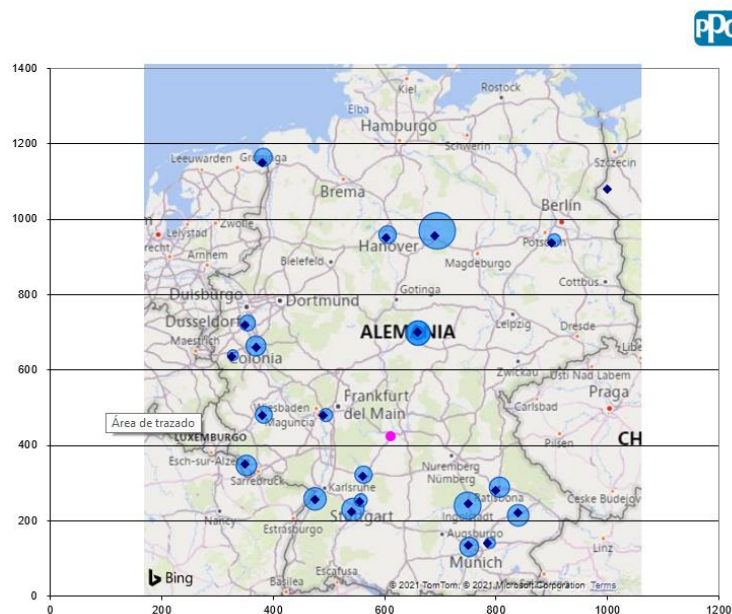


Figura 62: Resultados Escenario 1

Escenario 2: El siguiente escenario sería si se concentrara el 40% de la demanda y por lo tanto la cantidad transportada en Ludwigsfelde, cerca de Berlin. Obteniendo los siguientes resultados:

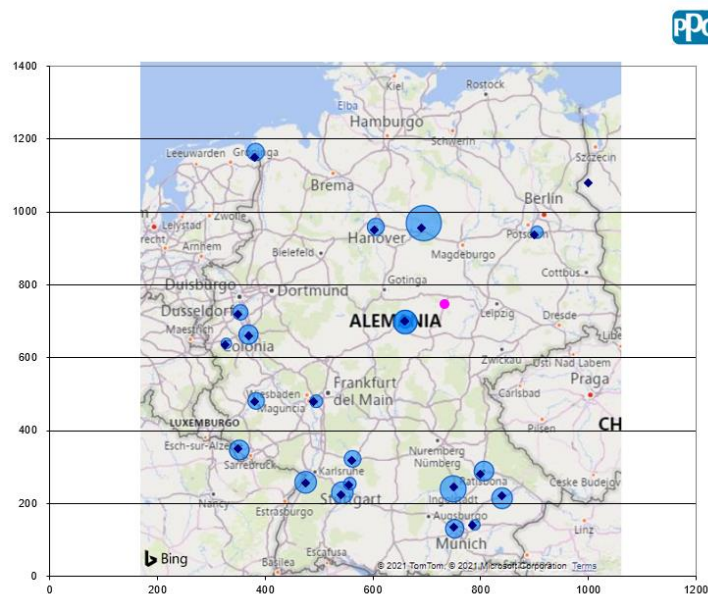


Figura 63: Resultados Escenario 2

Como era de esperar, la ubicación del almacén se ha acercado mucho más a la ubicación de las instalaciones de Daimler en Ludwigsfelde. Recordemos que este ejercicio es orientativo y se ha utilizado para ver cómo variaría la posición geográfica del almacén en función de la demanda.

Capítulo 7. OBJETIVOS DEL DESARROLLO

SOSTENIBLE

En este capítulo se abordarán los Objetivos del Desarrollo Sostenible que se tienen en cuenta a lo largo del proyecto. Estos objetivos fueron declarados por la ONU y hacen referencia a la necesidad de ligar el desarrollo económico a la sostenibilidad. El análisis de este proyecto se basa en el transporte y la logística que se consideran actividades clave que afectan al esquema sostenible.

En primer lugar, se recuerda que los objetivos del desarrollo sostenible se agrupan en 17 objetivos y 169 metas. Estos objetivos y metas se plantean alcanzar en 2030 y pueden ser aplicados de manera voluntaria. Estos objetivos a PPG le parecen muy importantes ya que el planeta se encuentra en una situación de emergencia medioambiental como consecuencia de la explotación de los recursos naturales y de la contaminación (entre otras).

En este proyecto se ha tenido en consideración los siguientes ODS:

9. Infraestructura: *“Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad”*. En el Capítulo 6 el objetivo es el de diseñar la ubicación del almacén que menos distancia por demanda recorra y por lo tanto que más sostenible sea en cuanto a emisiones. Con esto se modifica el diseño de la cadena de suministro para volverlo más sostenible.

11. Ciudades y Comunidades Sostenibles: 11.6: *“Reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo”* Para la decisión de este proyecto no solo se han considerado los costes de transporte, sino que se ha

tenido muy en cuenta la distancia recorrida en ambas opciones. De esta manera a menor distancia recorrida se reduce la huella de carbono y por consiguiente las emisiones de CO₂. Además, no solo por el coste sino por el impacto medioambiental nunca se ha considerado la opción de llevar un camión directo medio vacío.

13. Acción Climática: *13.3: “Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana”* Apostando siempre por la opción más sostenible PPG logra concienciar a su círculo de influencia, no solo a sus empleados sino también a proveedores y clientes. Por lo tanto, escogiendo la opción más sostenible se espera concienciar a los diferentes grupos de interés para que lleven a cabo modificaciones en sus actividades y conseguir reducir la huella de carbono.

Con todo, se puede decir que a lo largo del proyecto no solo se ha tenido en cuenta el desarrollo más óptimo económicamente y enfocado al cliente, sino que siempre ha estado alineado con la sostenibilidad.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Valladolid - PPG - Paints, Coatings and Materials. (2021, julio). PPG Industries.
<http://corporate.ppg.com/Our-Company/Worldwide-Operations/Europe,-Middle-East-and-Africa/Valladolid>
2. Weingarten - PPG - Paints, Coatings and Materials. (2021). <https://corporate.ppg.com/Our-Company/Worldwide-Operations/Europe,-Middle-East-and-Africa/Weingarten>.
<https://corporate.ppg.com/Our-Company/Worldwide-Operations/Europe,-Middle-East-and-Africa/Weingarten>
3. Alemania - Salario Medio 2020. (2021, 3 mayo). datosmacro.com.
<https://datosmacro.expansion.com/mercado-laboral/salario-medio/alemania>
4. Sevillano, E. G. (2021, 12 mayo). Alemania adelanta cinco años su objetivo de neutralidad climática: cero emisiones en 2045. EL PAÍS. S. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-05-12/alemania-adelanta-cinco-anos-su-objetivo-de-neutralidad-climatica-cero-emisiones-en-2045.html>
5. La Moncloa. Home. (2021). <https://www.lamoncloa.gob.es/temas/fondos-recuperacion/Documents/05052021-Componente12.pdf>. <https://www.lamoncloa.gob.es>
6. Reducción de las emisiones: el Consejo adopta normas sobre CO2 para camiones. (2019, 13 junio). European Council. <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2019/06/13/cutting-emissions-council-adopts-co2-standards-for-trucks/>
7. Brain, S. (2018, 26 mayo). Total Cars Produced In The World. Statistic Brain.
<https://www.statisticbrain.com/cars-produced-in-the-world/>
8. Agencia Efe. (2019, 28 diciembre). La industria automovilística alemana atraviesa una situación difícil. www.efc.com. <https://www.efc.com/efe/espana/economia/la-industria-automovilistica-alemana-atravesia-una-situacion-dificil/10003-4140352>
9. ElDiario.es. (2020b, agosto 3). El sector del automóvil no se recuperará de la crisis del coronavirus hasta 2022. https://www.eldiario.es/motor/sector-automovil-no-recuperara-tesis-coronavirus-2022_1_6144566.html
10. Martín, L. (2021b, julio 15). La logística se alía con el medio ambiente para evolucionar. Compromiso Empresarial. <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2019/08/la-logistica-se-alia-con-el-medio-ambiente-para-evolucionar/>

11. BOE.es - BOE-A-2018-18002 Real Decreto 1514/2018, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento General de Circulación, aprobado por el Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre. (2018). " ". <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-18002>
12. Gamez, M. J. (2021). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

ANEXO I: MATERIALES ELEGIDOS

Finished Good	Name	Recommended Batch Size	Cutomer
A-V203236-NH	Wbbc deep ocean blue	950	VW
A-V203236-DN			
A-V204233-DN	Wbbc deep ocean blue uni wrz	3.800	VW
A-V204233-NH			
A-V204342-DN	Wbbc lapiz blue met. 60/40 hs	1.900	VW
A-V204342-NH			
A-V203778-CB	Wbbc caribbean blue met. 60/40	2.850	VW
A-V203778-NH			
A-A204025-DN	Wbbc nardograu ing ald 091 Y7C	4.550	Audi
A-A204025-GH			
A-A204025-GN			
A-A204025-NH			
A-M203505-CB	IPB2 nachtschwarz mb 9-696 kec	3.040	Daimler
A-M203505-NH			
A-M202582-NH	Wbbc designo mokkaschwarz mb 0-033 sifi	450	Daimler
A-M202582-GH			
A-A204058-DN	Wbbc tangorot perleffekt 100% esta ald 097 Y3U	2.850	Audi
A-B204488-NH	IPB2 brooklyn grau WC4P regipp	1.900	BMW
A-M202816-CB	Wbbc diamantweiss mb 9-799 ipf base 1 sifi	5.700	Daimler
A-M202817-CB	Wbbc diamantweiss mb 9-799 ipf base 2 sifi	2.850	Daimler
A-B203729-GN	IPB2 aventurinrot ii WX1C dgfipp	950	BMW
A-B204354-GN	IPB2 sanremo green met. WC4E ipp dgf	1.400	BMW
A-A204602-GN	Wbbc kyalamigruen uni ing ald 091 Z6A	630	Audi
A-M203960-GH			
A-M203960-NH	Wbbc amg green hell magno mb 6-376 sifi	460	Daimler
A-A204285-NH	Wbbc chronosgrau met.	200	Audi
A-A204020-DN	Wbbc taifungrau met. nec ald 092 Z7F	1.900	Audi
A-B204294-CB	IPB2 british racing green WC3B oxf	200	BMW
A-B204423-NH	IPB2 white silver wa oxf ECO3	200	BMW
A-M204114-DN	IPB2 digital white pearl mb 9-144 mica kec	2.850	Daimler
A-B204531-NH	Roof Top Grey		BMW
A-B204154-HF	IPB2 sophisto grey WA90 ros ipp	4.680	BMW
A-M204180-DN	IPB2 denimblau mb 5-667 kec	1.900	Daimler
A-B203730-NH	IPB2 aventurinrot WX15- WX1C- WC57	450	BMW
A-B204044-GN	IPB2 dravitgrau WC36 ipp	1.600	BMW
A-A203696-GN			
A-A203696-NH	Wbbc arablau nsu ald 092 X5J	630	Audi
A-B204358-DN	IPB2 enigmatic schwarz WC3Y 0454866-00	2.850	BMW
	Taifun-grau 100 % Zwickau		
A-V204511-DN	Wbbc eisvogelblau met. 5A emden	950	VW
A-A204454-DN			
A-A204454-NH	Wbbc taifungrau met. brx ald 092 Z7F	2.850	Audi
A-A203681-GN	Wbbc vegasgelb uni ald 091 Z1A	630	Audi
A-B203761-GN	IPB2 tansanitblau ii WC3Z dgfipp	2.000	BMW
A-V204183-DN	Xp rauchgrau met. P2010 ALD283 B7Qnav	1.900	VW
A-M204378-HH	IPB1 gen 1.0 schwarz mb 9-084 esi	1.900	Daimler
A-B203782-GN	IPB3 mineralweiss WA96 dgfipp	2.000	BMW
A-B204149-HF	IPB2 carbon black M416 ros ipp	1.800	BMW
A-B204474-DN	IPB2 phytomic blue WC1Mrgb ipp	4.750	BMW
A-M204377-HH	IPB2 polarweiss mb 9-149 esi	1.150	Daimler
A-B203503-GH	Ipbc caparisweiss YB88 mcv	900	BMW
	IPB1 gen 1.0 weiss mb 9-081 kec (R12)		
A-B204398-GN	IPB2 arctic race blue met WC4F dgfipp	4.000	BMW
A-B204363-GH	IPB2 deep laguna WC44 uef0455806-00	1.350	BMW
	IPB2 polarweiss mb 9-149 ras (R12)		
A-B204499-GH	IPB2 phytomicblau WC1Mlpzipp	900	BMW
	IPB2 aventurinrot WX15- WX1C- WC57		
A-V204217-DN	Wbbc atlantic blue met. 60/40 wob H53B	1.900	VW
	IPB2 polarweiss mb 9-149 kec (R12)		
A-B204153-HF	IPB2 black ii U668 ros ipp	900	BMW
A-B204156-GN	IPB1 HSB1 wine red B009 global ipp	600	BMW

Finished Good	Name	Recommended Batch Size	Cutomer
A-A201739-NH	Wbbc arancio borealis uni ald 091 Y2E	1.500	Audi
A-A201740-NH	Wbbc arancio borealis perle ald 092 0E0	1.500	Audi
A-G204468-CB	Wbbc nautic blue gli	1.900	OPEL / PSA
A-M204373-HH	IPB2 obsidianschwarz mb 9-197 esi	2.675	Daimler
A-A203564-NH	Wbbc verde mantis uni ald 091 Z6A	1.600	Audi
A-A203565-NH	Wbbc verde mantis perle ald 092 0L0	1.600	Audi
A-A204208-DN			
A-A204208-NH	Wbbc distriktgruen met ald 092 X6M	1.900	Audi
A-A203792-GN	Wbbc siambeige met. ald 092 Z1W	1.800	Audi
A-B204329-NH	IPB2 dravitgrau WC36 lan	300	BMW
A-M204376-HH	IPB1 gen 1.0 weiss mb 9-081 esi	1.900	Daimler
A-A204207-NH	Wbbc kemoragrau met. ald 092 X7F	500	Audi
A-M203482-DN	Wbbc polarweiss mb 9-149 brm	2.850	Daimler
A-V204283-CB	Wbbc nightshade blue met.	9.500	VW
A-A203537-GN	Wbbc catalunyarot ald 092 Y3T	900	Audi
A-M203451-CB	IPB2 kristallweiss EN3 (mb 9-797) ham	501	Daimler
A-M203451-NH			
A-M204380-HH	IPB2 cavansitblau mb 5-890 esi	400	Daimler
A-O204138-MH			
A-O204138-NH	A10 dekorschwarz	300	Audi
A-B204496-DN	IPB2 mineralweiss lpzipp	3.800	BMW
A-M203453-MH	IPB2 silber met. EN2 (mb 9-987) ham	400	Daimler
A-M204126-CB	IPB2 iridiumsiber mb 9-775 kec	1.900	Daimler
A-B204500-DN	IPB3 mineralweiss WA96 lpzipp	2.375	BMW
A-M202973-CB	IPB1 gen 1.0 mittelgrau mb 7-081 kec	1.900	Daimler
A-M203452-CB	IPB2 nachtschwarz EN1 (mb 9-696) ham	950	Daimler
A-M203616-CB			
A-M203616-MH	IPB1 gen 1.0 weiss mb 9-081 ham	600	Daimler
A-A203863-NH	Wbbc giallo inti perle ald 092 0S0	300	Audi
A-A203906-NH	Wbbc giallo midas uni npx-frei ald 091 Y1J	300	Audi
A-A204452-DN	Wbbc nanograu met. 100% esta ald 097 X7M	1.900	Audi
A-A204666-DN	Wbbc mythossschwarz 100% esta gyr ald 097 Y9T	4.750	Audi
A-M203615-MH	IPB2 mountaingrau EN9 (mb 7-787) ham	600	Daimler
A-M204223-CB	IPB1 magnetic grau hs ham	1.900	Daimler
A-M204388-HH	IPB2 iridiumsiber mb 9-775 esi	200	Daimler
A-B204607-NH	IPB2 alpinweiss U300 mun ipp	4.750	BMW
A-M204379-HH	IPB2 selenitgrau mb 7-992 esi	400	Daimler
A-V203298-NH	Wbbc elfenbein	201	VW
A-B204585-NH	IPB2 utah orange WC66 reg ipp	300	BMW
A-B204598-HF	IPB2 skyscraper grey met WC4W ros ipp	250	BMW
A-B204705-GH	IPB2 momentum grey met WCSK ned (R12)	500	BMW
A-B204314-GN	IPB2 brooklyn grau met WC4P dgf ipp	1.200	BMW
A-B204557-NH	IPB2 sanremo green WC4E lan uef	100	BMW
A-M204403-HH	IPB1 gen 1.0 mittelgrau mb 7-081 esi	425	Daimler
A-V202167-DN	Wbbc hellelfenbein ral 1015	950	VW
A-A204410-NH	Wbbc manhattangrau met. Ald 092 X7L	150	Audi
A-A204600-NH	Wbbc gletscherweiss met. 100% esta ald 097 S9R	200	Audi
A-M204387-HH	IPB2 mojavessiber mb 9-859 esi	400	Daimler
A-V204183-DN	Xp rauchgrau met. P2010 ALD283 B7Q nav	1.900	VW
A-B204507-GN	IPB2 skyscraper grau met WC4W dgf ipp	100	BMW
A-J204192-NH	Wbbc steel grau uni L-F7A	100	VW-Skoda
EXP-A-M204166-DN	IPB2 hellelfenbein mb 1-623 ras	950	Daimler
A-B204599-PH	IPB2 brooklyn grey met WC4P ros ipp	250	BMW
A-B204631-GH	IPB2 sanremo green WC4E lpzipp	800	BMW

Finished Good	Name	Recommended Batch Size	Cutomer
A-M204389-NH	Wbbc diamantweiss mb 9-799 ipf base 1 esi	400	Daimler
A-M204390-NH	Wbbc diamantweiss mb 9-799 ipf base 2 esi	400	Daimler
A-B203455-CB	Ipbc chilli red oxf	1.900	BMW
A-B204616-NH	IPB2 skyscraper grau met WC4W mun ipp	400	BMW
A-B204632-GN	IPB2 aventurinrot C57 mun ipp	950	BMW
A-B204633-GN	IPB2 sanremo green WC4E mun ipp	600	BMW
A-B204555-GN	IPB2 brooklyn grau met WC4P mun ipp	400	BMW
A-B204556-NH	IPB2 brooklyn grau WC4P lan uef	100	BMW
A-B204630-NH	IPB2 sanremo green WC4E tek lpz	100	BMW
A-M204560-NH	Wbbc opalithweiss mb 9-885 base 1 sifi	100	Daimler
A-M204561-NH	Wbbc opalithweiss mb 9-885 base 2 sifi	100	Daimler
A-B204694-NH	IPB2 alpinweiss U300 piano dgf (R12)	100	BMW
A-M204386-HH	IPB2 brillantblau mb 5-896 esi	200	Daimler
A-M204648-NH	IPB2 maximum blue metallic mb x-xxx kec	100	Daimler
A-B203649-GH	IPB2 arktikgrau WC27 dgf uef	600	BMW
A-B203649-GN	IPB2 ofia schwarz ii U668	100	BMW
A-B204423-NH	IPB2 white silver wa oxf ECO3	200	BMW
A-M204309-NH	IPB2 goldbeige mb 1-802 ham	350	Daimler
A-M204391-HH	IPB2 hyacinthrot mb 3-996 esi	400	Daimler
A-M204404-NH	IPB1 gravity grau M87-081 hs	225	Daimler
A-A203507-GN	Wbbc arablau met. ald 092 X5J	300	Audi
A-M203521-MH	IPB2 orange piment EPP/EN5 (mb 2-640) ham	150	Daimler
A-M204582-NH	IPB2 maximum red metallic mb x-xxx kec	100	Daimler
A-A201535-NH	Wbbc sprintblau ald 092 Z5F	300	Audi
A-A202323-NH	Wbbc glutorange uni ald 091 Y2G	300	Audi
A-A202815-NH	Wbbc tiefgruen perl ald 092 Z6E	300	Audi
A-M202188-NH	Wbbc dunkelblau mb 5-904 sifi	150	Daimler
A-M202074-NH	Wbbc grigio teleste perl ald 092 Z7X	300	Audi
A-M202312-NH	Wbbc samoaoorange met. ald 092 X2U	300	Audi
A-M202687-NH	Wbbc korallenorange ALD092 Y2Z	300	Audi
A-M202074-NH	Wbbc designo mauritiusblau mb 0-039 sifi	100	Daimler
A-M202312-NH	Wbbc designo mysticrot mb 0-037 sifi	100	Daimler
A-M202687-NH	Wbbc designo oliv mb 6-255 sifi	100	Daimler
A-M203815-GH	Wbbc aragonitsilber mb 9-296 sifi	900	Daimler
A-M201156-NH	Wbbc yellowstone mb 1-685 sifi	100	Daimler
A-M202305-NH	Wbbc designo platinschwarz mb 0-046 sifi	100	Daimler
A-M202314-NH	Wbbc silver arrow mb 9-777 sifi	100	Daimler
A-M203884-NH	Wbbc bernsteinrot mb 3-548 sifi	100	Daimler
A-M204524-NH	IPB2 glaze mb X-XXX	100	Daimler

ANEXO II: DEMANDA REAL 2019 DE ALGUNOS

ITEMS

Item code	Demand Wuppertal & Weingarten 2019												Whole period
	enero de 2019	febrero de 2019	marzo de 2019	abril de 2019	mayo de 2019	junio de 2019	julio de 2019	agosto de 2019	septiembre de 2019	octubre de 2019	noviembre de 2019	diciembre de 2019	
tem1													25
tem2													25
tem3													25
tem4			163							210	210		420
tem5													465
tem6						25	25						400
tem7	210	210		420						210			250
tem8	197	150								210	262		1.732
tem9					50								347
tem10		115	300					50					200
tem11													615
tem12													75
tem13						389			1.945				1.945
tem14	400												389
tem15													400
tem16		105			75								75
tem17			150										195
tem18											100		250
tem19													75
tem20	50												50
tem21		47				25							50
tem22													172
tem23													50
tem24													102
tem25													44
tem26													50
tem27													42
tem28													50
tem29													50
Total Demand	857	790	542	495	75	439	1.287	100	2.414	647	672	350	125

ANEXO III: COSTES DE TRANSPORTE

VALLADOLID-ALEMANIA

CP Cost Type	ShipTo WHS	Shipped from	ShipTo City	ShipTo Post Code	Shipped to	Customer	Mode of Transport	Item Code	CP Cost	Shipped net Qty
Base	D01	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WUPPERTAL	42329	WUPPERTAL, 42329	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	AL-95-2805/FH	72,00 €	400
Base	D01	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WUPPERTAL	42329	WUPPERTAL, 42329	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	XX01393-FH	54,00 €	300
Base	D01	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WUPPERTAL	42329	WUPPERTAL, 42329	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	HC-42-5370/CN	72,00 €	400
Base	D01	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WUPPERTAL	42329	WUPPERTAL, 42329	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	XX28456-5J7/HF	81,00 €	440
Accessorial-FUEL SURCHARGE	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	AL-95-2805/FH	2,00 €	400
Accessorial-FUEL SURCHARGE	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	XX01393-FH	1,50 €	300
Accessorial-FUEL SURCHARGE	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	HC-42-5370/CN	2,00 €	400
Accessorial-FUEL SURCHARGE	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	XX28456-5J7/HF	2,20 €	440
Accessorial-HAZARDOUS GOODS	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	XX28456-5J7/HF	3,66 €	440
Accessorial-HAZARDOUS GOODS	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	AL-95-2805/FH	1,05 €	400
Accessorial-HAZARDOUS GOODS	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	XX01393-FH	1,71 €	300
Base	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	A-V520639-MM	72,00 €	400
Base	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	A-O520491-MF	54,00 €	300
Base	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	HDR599I401-PH	72,00 €	400
Base	D02	Carretera CL - 601, km 8,8, 47140 Laguna de Duero, Valladolid	WEINGARTEN	76356	WEINGARTEN, 76356	PPG INDUSTRIES EUROPE SARL	FTL	SA-33-1777	180,00 €	1000

ANEXO IV: PROCEDIMIENTO PROBLEMA

OPTIMIZACIÓN CON SOLVER

	Ciudades	Alt (m)	Coordenadas	Alt. (m)
1	VW Emden, 26723	533,52	380	1150
2	VW Hannover, 3000	520,47	602	390
3	VW Wolfsburg, 38440	194,35	690	955
4	Daimler Ludwigsfelde, 1474, Germany	143,19	900	937
5	Daimler Dusseldorf, 4000, Germany	378,85	360	720
6	FORO Cologne, 50677, Germany	685,04	370	660
7	OTHER Duren, 52348, Germany	3,97	325	635
8	VW Mosel, 55843, Germany	475,32	380	480
9	FORO Saarouis, 65740, Germany	725,96	350	350
10	OPEL Rueselsheim, 65428, Germany	168,92	430	480
11	Daimler Paderborn, 76437, Germany	874,98	475	255
12	Daimler Sindelfingen, 71053, Germany	873,38	540	225
13	VW Zuffenhausen, 70437, Germany	163,01	555	250
14	Audi Neckarsulm, 74172, Germany	490,74	560	318
15	Audi Ingolstadt, 85048, Germany	1223,18	750	245
16	BMW Munich, 80393, Germany	619,92	750	135
17	Daimler Wuerth, -, Germany	795,00	785	140
18	BMW Dingolfing, 94130, Germany	803,59	840	220
19	BMW Leipzig, 7100, Germany	645,37	660	700
20	VW Leipzig, 7100, Germany	338,69	660	700
21	BMW Regensburg, 93047, Germany	717,18	800	280
22	Others	500,00	1000	763
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				

Localización del almacén

X = 612,2

Y = 422,6

Variable = SUMA PRODUCTO(F5:F26;C5:C26)

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: ☐ Max ☒ Min ☐ Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

☐ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

