

---

# MEJORAS EN LA GESTIÓN DE INVENTARIO DE PALLETS EN UCR SAN BERNARDO

---

Proyecto de Pasantía

5 DE DICIEMBRE, 2023

EMPRESA Y ÁREA: SOPROLE, EXCELENCIA OPERACIONAL

Dirección: Centro de distribución San Bernardo

Universidad: Universidad Adolfo Ibáñez

Carrera: Ingeniería Civil Industrial

Profesor: Nicolás Sebastián Pérez Briones

Alumno: Luis Felipe Carrasco Vallejos

Supervisor: Mario José López

## 1. Resumen

El presente informe detalla el proceso y desarrollo del proyecto de pasantía realizado para optar al título de Ingeniero Civil Industrial en la Universidad Adolfo Ibáñez. La pasantía se llevó a cabo en Soprole, una destacada empresa chilena dedicada a la producción y distribución de productos lácteos, donde el pasante formó parte del equipo de excelencia operacional.

Los pallets desempeñan un papel crucial en la distribución de productos, generando desafíos significativos para empresas de gran envergadura. Entre estos desafíos se encuentran las discrepancias en el inventario de pallets, la adquisición excesiva de estos elementos y el impacto ambiental asociado. Este problema fue objeto de un análisis exhaustivo, identificando factores abordables, como la falta de evidencia y transparencia en los movimientos internos de pallets, deficiencias en las órdenes de compra de pallets que no anticipan correctamente las necesidades y la ineficacia de la comunicación entre centros.

Los esfuerzos del pasante dieron fruto al lograr una disminución de las compras de pallets a \$45.018.879 CLP desde enero de 2024 y reducir los costos totales del modelo de inventario de pallets a \$1.579.835.564 CLP entre 2024 y 2025. Además, la implementación de la aplicación móvil de registro en Puerto Montt resultó en una reducción de las discrepancias de inventario en un 0,6%, con perspectivas de alcanzar una reducción del 6,6% tras su implementación en otras regiones. Estos resultados concretos reflejan el impacto positivo del trabajo del pasante en la eficiencia operacional y la sostenibilidad de Soprole, cumpliendo con los objetivos propuestos sin asuntos pendientes.

## 2. Abstract

This report details the process and development of the internship project undertaken to qualify for the title of Industrial Civil Engineer at Adolfo Ibáñez University. The internship took place at Soprole, a Chilean company dedicated to the production and distribution of dairy products, where the intern was part of the operational excellence team.

Pallets play a crucial role in product distribution, presenting significant challenges for large-scale companies. These challenges include discrepancies in pallet inventory, excessive acquisition of these items, and the associated environmental impact. This issue was subjected to thorough analysis, identifying addressable factors such as the lack of evidence and transparency in internal pallet movements, deficiencies in pallet purchase orders that do not correctly anticipate needs, and inefficiency in communication between centers.

The intern's efforts bore fruit by achieving a reduction in pallet purchases to CLP \$45,018,879 from January 2024 and reducing the total costs of the pallet inventory model to CLP \$1,579,835,564 between 2024 and 2025. Additionally, the implementation of the mobile app for registration in Puerto Montt led to a reduction in inventory discrepancies by 0.6%, with the prospect of reaching a 6.6% reduction following its implementation in other regions. These concrete results reflect the positive impact of the intern's work on Soprole's operational efficiency and sustainability, fulfilling the proposed objectives without any pending issues.

## Índice

1. Resumen .....	2
2. Abstract .....	3
3. Introducción .....	6
3.1. Contexto .....	6
3.2. Problema .....	11
4. Objetivos .....	13
4.1. Objetivo general .....	13
4.2. Objetivos específicos .....	13
5. Estado del Arte .....	13
5.1. Unilever Argentina .....	14
5.2. Proveedor Logístico Italiano .....	15
5.3. Smurfit Kappa .....	16
5.4. Pollos el Dorado .....	17
5.5. Alternativas de Solución .....	18
5.6. Selección de Solución .....	19
6. Metodología .....	20
6.1. Metodología por Objetivo Específico .....	20
6.2. KPI's .....	23
6.3. Matriz de Probabilidad de Ocurrencia y Clasificaciones de Riesgo .....	24
6.4. Eventos y Mitigaciones .....	24
6.5. Plan de Implementación .....	25
7. Desarrollo .....	26
7.1. Optimización de Modelo de Inventario de Pallets .....	26
7.2. Desarrollo de la Plataforma de Registro .....	34
8. Resultados .....	38
8.1. Modelo de Inventario .....	38
8.2. Aplicación de Registros .....	40
8.3. Resultados en KPI's .....	41

9. Conclusión .....	42
10. Referencias .....	44
11. Anexos.....	45

### 3. Introducción

#### 3.1. Contexto

Soprole es una empresa chilena dedicada a la elaboración, distribución y comercialización de productos alimenticios lácteos que lleva más de 74 años ofreciendo sus elaboraciones en el mercado nacional y extranjero. El crecimiento constante que han logrado a través de la satisfacción de sus clientes con sus productos de calidad, los ha llevado a consolidarse actualmente como la empresa número uno del mercado de productos lácteos en Chile.

A inicios del año 2023 Gloria Foods, empresa de productos lácteos peruana, compra el 100% de las acciones de Soprole a Fonterra, empresa neozelandesa, por un monto cercano a US\$674,6 millones, lo que ha llevado a una reestructuración de la empresa chilena, pero con altas expectativas de crecimiento al llegar a pertenecer a una empresa de alto prestigio que opera y tiene su origen en el mismo continente que ella.

El área de Excelencia Operacional de Soprole se encarga de la gestión estratégica de las operaciones de la cadena de suministros, enfocándose en cada movimiento de inventario, partiendo desde la obtención y manejo de bienes, luego el almacenamiento de productos terminados, siguiendo con el despacho de estos a clientes y terminando con las logísticas inversas de retorno de bienes, como envases (pallets y bandejas) o productos rechazados, desde los clientes a las distintas sedes de la empresa.

Los clientes de Soprole se clasifican en dos grupos:

- **D1:** Corresponden a clientes minoristas, como almacenes y minimarkets. Se caracterizan por realizar pedidos pequeños. El tipo de distribución que se realiza a estos clientes se denomina distribución porteo, que se asocia al reparto del producto en bandejas plásticas. Para transportar estas de manera óptima a cada cliente, Soprole utiliza pallets de madera, donde se introducen las bandejas a repartir. Al realizar pedidos pequeños, a estos clientes se les entrega solo estas bandejas con los productos solicitados, descartando los pallets.
- **D2:** Corresponde a grandes supermercados, mayoristas, foodservice. La principal característica de estos es que sus pedidos son de grandes cantidades. La distribución que se

realiza a estos clientes se llama distribución directa, que se asocia al reparto de productos en bandejas plásticas y pallets de madera. Debido al gran tamaño de sus pedidos, estos clientes reciben los pallets llenos de bandejas que contienen todos los productos que han solicitado.

Los pallets juegan un rol fundamental en la entrada de Soprole al mercado. Estos permiten que el desempeño sea muy efectivo en las actividades de cargue, transporte, descargue y almacenamiento de productos terminados. La manipulación de productos es constante y toma mucho tiempo, por lo que es necesario reducirla y para esto se debe lograr manejar, transportar y almacenar la mayor cantidad de productos de una sola vez. Por esto, los pallets son fundamentales para el transporte de productos, al poder situar bandejas plásticas con estos en los pallets, para luego ser manipulados con máquinas. Sin estos, el transporte y posicionamiento de productos dentro de las bodegas de almacenamiento significa grandes pérdidas de recursos y tiempo, como también resultaría imposible transportar de una manera eficiente los productos a los distintos clientes.

Debido a la importancia que tienen, hay problemas que se generan por causa de los pallets provocando evidentes consecuencias. Entre ellos podemos encontrar:

- **Pérdida de pallets con los clientes:** Esto es producto de que los clientes no tienen la obligación de tener registro de los pallets luego de que sus productos sean entregados. Es normal que los pallets se vayan de las manos de los clientes al no saber cuáles fueron los entregados por Soprole. Esto ocurre debido a que transportistas de distintas empresas pueden llevarse cualquier pallet que ellos encuentren en las instalaciones de los clientes.
- **Transportistas:** Actualmente a los transportistas se les entrega incentivos para retornar pallets a los centros de Soprole, pero esto ha dado como resultado que se retornen pallets que no corresponden a los utilizados por la empresa, haciendo que los transportistas reciban su incentivo. Esto lleva a que al momento de segregar los pallets que pueden ser reutilizados se encuentren grandes cantidades que no corresponden a los estándares de Soprole, gastando tiempo, espacio y recursos para deshacerse de ellos.

- **Deficiencias de movimientos internos:** En los movimientos internos de Soprole se debe registrar el movimiento de los pallets a través de la ERP utilizada por la empresa, el cual corresponde a SAP. Estos movimientos deben ser realizados registrando la salida de los pallets del centro emisor del movimiento y también se debe registrar la recepción de estos en el centro de destino. A pesar de estar sistematizado, este proceso tiene distintos flujos de movimiento dependiendo del centro o site que lo realice, lo que lleva a que el seguimiento de estos movimientos internos sea deficiente. Así mismo, tomando en cuenta que hay comunicación ineficiente entre centros que no permite un flujo detallado ni competente de información, se produce que la manipulación de información a nivel nacional sea incorrecta, arrastrando estos problemas a través de la base de datos de la empresa, implicando en diferencias de inventario de sistema con el real.
- **Mercado Negro de Pallets:** Es importante señalar que una de las razones de por que no vuelven todos los pallets es la existencia de un mercado negro de estos. Transportistas o empleados tanto de Soprole como de otras empresas toman los pallets y los utilizan para ganar más dinero, generando pérdidas evidentes en el suministro de estos objetos.
- **Compras de pallets deficientes:** El método con el que se determinan las compras de pallets ha sido calificado como deficiente por la empresa. Esto se ha identificado en los últimos meses, dado que se han realizado compras excesivas y los costos del inventario han aumentado, llevando a que el manejo de los pallets produzca mayores ineficiencias.

Teniendo en cuenta estos problemas, sabemos que hay dos que se encuentran fuera de nuestro alcance. En primer lugar, tenemos el problema de retornos de los clientes, donde no se tiene control de los pallets entregados para que estos logren ser devueltos por los clientes cuando ya los hayan vaciado. No se puede exigir que los clientes retornen los pallets correspondientes a los utilizados por Soprole. Y, por otro lado, el complicado tópico del mercado negro de pallets, el cual se refiere a cuando transportistas o empleados utilizan los pallets para lograr generar más dinero al realizar negocios fuera del margen empresarial.

El enfoque que tomaremos en este caso será el de las diferencias de inventario que se generan debido a los movimientos internos de pallets de Soprole y las compras ineficientes. Para entrar en más detalle



con esto, el foco principal será la Unidad de Compactación y Reciclaje (UCR) de San Bernardo (SB), lugar donde se compran a proveedores y retornan todos los pallets vacíos desde todas las regiones del país para donde son segregados y revisados para ver si corresponden con los estándares de Soprole, y así mismo se revisa si pueden ser reutilizados, si requieren reparación, limpieza o si necesitan ser llevados a desguace al no estar en condiciones para ser reutilizados. Los operadores tienen un papel muy importante en esto, dado que ellos tienen la labor de registrar, desde las sedes emisoras de los movimientos de pallets, las salidas de estos indicando la cantidad y el tipo de material que será transportado (movimiento 303), como también se debe registrar la recepción de estos en UCR San Bernardo, confirmando la recepción y que la cantidad de pallets indicada desde la sede emisora del despacho corresponda con la recibida (movimiento 305). Es importante recalcar que estos registros de movimientos son estándar, pero el flujo de ellos no lo es, llevando a que el seguimiento de estos movimientos sea deficiente, lo que se traduce como un problema en la comprensión de los movimientos, implicando que se generen diferencias de inventario.



**Registrar traspaso: Acceso**

☐ Posición nueva    Por reserva ...    Por pedido...    Parámetros LVS ...

Fecha documento: 17.02.2023    Fecha contab.: 17.02.2023  
 Vale de material: 17.02.2023  
 Texto de cabecera: RETORNO TEMUCO    ValeAcompMrcías:

**Propuesta para posiciones doc.**

Cl.movimiento: 303    Stock especial: ☐  
 Centro: 2150    Motivo movimiento:   
 Almacén: 2155 ☐    ☐ Proponer líneas cero

**Vale acompañamiento mercancías**

☐ Impr.    
 ☐ Vale individual  
☐ Vale indiv. con txt-insp  
☒ Vale colectivo

*Imagen 1: “Ejemplo de Registro en SAP de Traspaso a UCR SB”  
Fuente: Estandarización de movimientos sistémicos de envases*



**Registrar traspaso: Nuevas posiciones**

Por reserva ... Por orden... Por pedido...

Cl.movimiento: 303 TR Salda a centro

Centro receptor: 2940 Alm.recept: 2940

**Posiciones**

Pos	Material	Cantidad	UME	Alm.	Lote	NL	Ce.
1	000940-001	100	und	2155			2150
2				2155			2150
3				2155			2150
4				2155			2150

*Imagen 2: " Ejemplo de Registro en SAP de Traspaso a UCR SB 2"*

*Fuente: Estandarización de movimientos sistémicos de envases*

Cuando retornan los pallets a UCR SB desde los otros depósitos de Soprole en el país, estos pasan por un control de seguridad donde anotan con lápiz y papel en una tabla o en una app, dependiendo del motivo de llegada de los pallets, los datos para que el próximo turno lo pase a un registro digital, luego de hacer una verificación de carga y documentos por parte del Team Leader de UCR, y por último, los pallets son descargados de los camiones para que el equipo de segregación haga la labor ya explicada anteriormente, labor que es propensa a errores humanos al ser un equipo de 4 personas que está en constante rotación. Se ha identificado que el equipo de segregación suele cometer errores al separar pallets, donde en varias ocasiones se sitúan pallets que se encuentran en buenas condiciones para ser reparados, desperdiciando tiempo y espacio transportándolos al centro de reparación donde luego se despachan de vuelta al centro para que sean reutilizados.

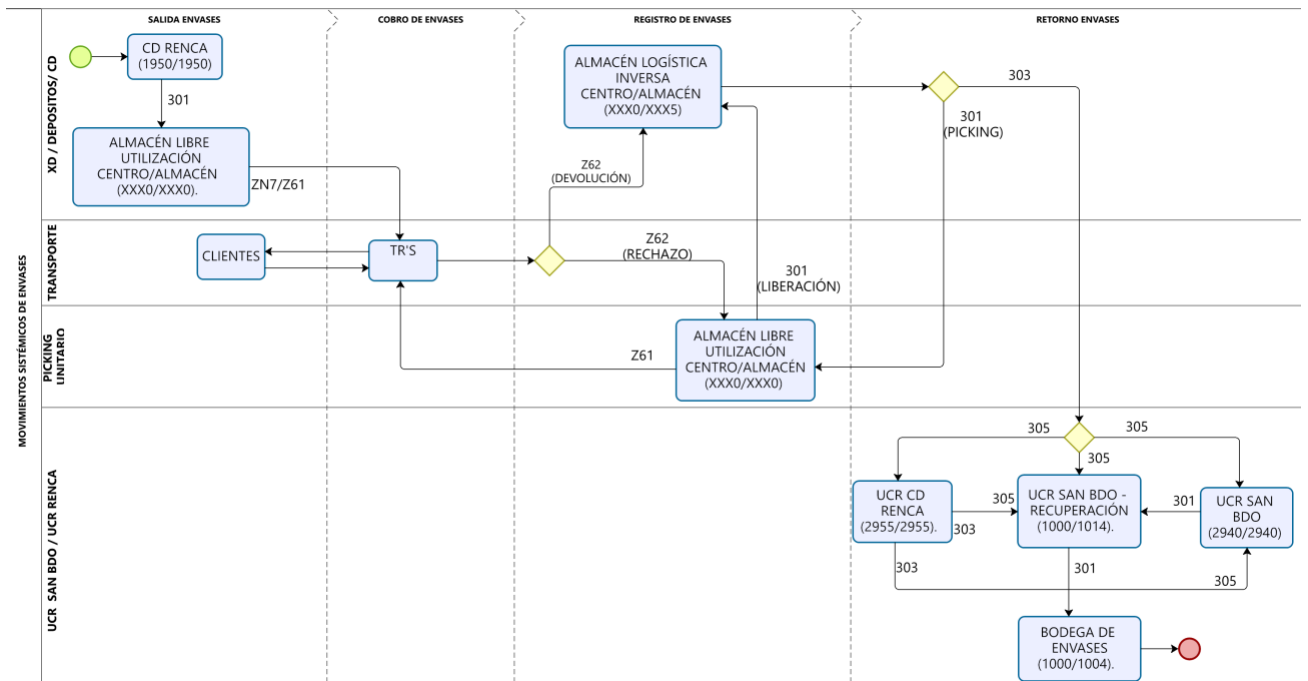


Diagrama 1: “Diagrama de flujo de movimientos internos de envases”

Fuente: Estandarización de movimientos sistémicos de envases

Es importante recalcar que al no tener acuerdos con los clientes D2 para que estos devuelvan los pallets que Soprole les entregó con sus productos, llegan grandes cantidades de pallets que no corresponden a los de Soprole, lo que significa en una gran pérdida de espacio, tiempo y dinero para hacerse cargo de ellos. Esto mismo ocurre con los proveedores de Soprole, quienes envían sus materias primas en pallets que no son útiles para el despacho de productos de la empresa, por lo que estos deben ser segregados y situados en el patio de pallets para que Soprole se haga cargo de ellos. Todos estos pallets que no le agregan valor a Soprole son un gran porcentaje del total que se encuentran en el patio de pallets de UCR San Bernardo.

### 3.2. Problema

Dado el contexto ya descrito y el enfoque que queremos tomar para este proyecto, podemos afirmar que es un dolor para Soprole las dificultades que se presentan en la gestión del inventario de pallets tras los retornos internos de estos. Las diferencias de inventario han mostrado que el promedio mensual del año 2023 del valor de los pallets faltantes es de \$39.603.029 CLP al mes. El promedio

mensual de las compras necesarias de pallets para cumplir con el plan de producción y producto de las diferencias de inventario es de \$46.686.393 CLP.

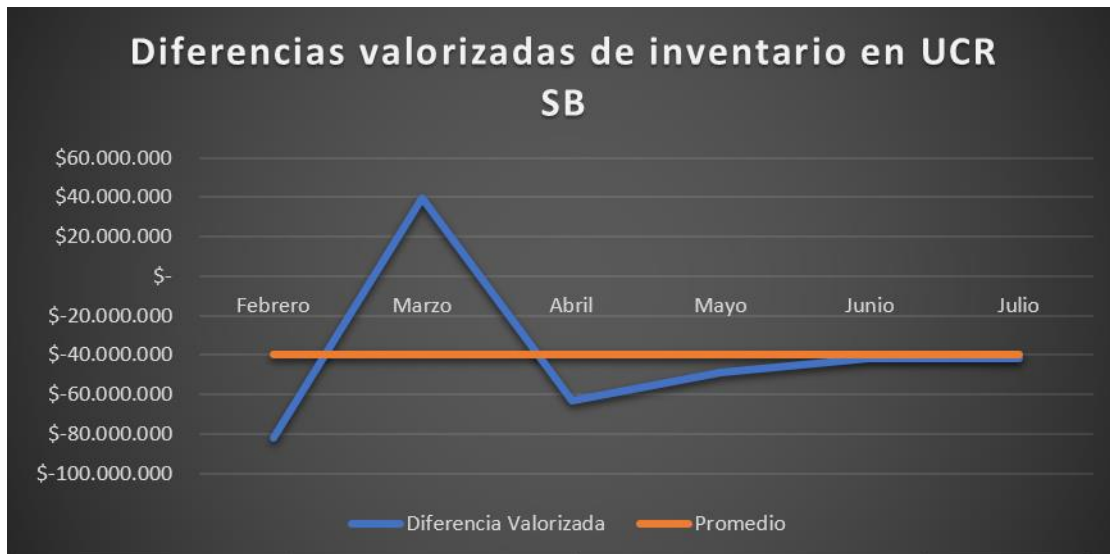


Gráfico 1: "Diferencias Valorizadas de inventario en UCR SB 2023"  
Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de SAP

Antes de Julio, el problema de las diferencias de inventario de pallets era analizado como todos los centros en uno, haciéndose cargo de estas diferencias desde una perspectiva muy general. Como reacción a las cifras ya presentadas anteriormente en Soprole han empezado a exigir que cada centro se haga cargo de sus diferencias de inventario, intentando identificar a los responsables de estas, y pidiendo explicaciones del Jefe de Depósito y Jefe Zonal respectivo.

Esto se debe a numerosos factores que han sido explicados en el contexto y se han discutido con el equipo encargado de UCR y el de Excelencia Operacional. En primer lugar, el seguimiento de los movimientos de pallets, luego la comunicación entre los centros, también las diferencias de los procesos de registro de movimientos y por último la poca transparencia y evidencia de los movimientos. Con respecto a las compras excesivas, las diferencias de inventario son factores que las provocan, pero el modelo de inventario actual de pallets es el principal problema.

Uno de los objetivos de UCR San Bernardo es minimizar las compras de pallets al reciclar aquellos que se ya se han comprado a proveedores. Pero, teniendo en cuenta todas las deficiencias en los

movimientos internos de Soprole y en el modelo de inventario de pallets, este objetivo es difícil de cumplir con buenos resultados, por lo que se presenta como una gran oportunidad la mejora de todos estos procesos desde una perspectiva de pasante.

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo general

Desarrollar e implementar mejoras en el sistema de gestión de inventario de pallets con foco en UCR San Bernardo, con el propósito de reducir en un 5% el promedio de las compras de pallets mensuales, teniendo en cuenta una permanencia de tres meses en Soprole.

### 4.2. Objetivos específicos

1. Disminuir en un 5% las diferencias de inventario de pallets físicos reales v/s pallets en sistema en UCR San Bernardo.
2. Reducir el impacto ambiental que produce la compra excesiva de pallets y procesos relacionados al flujo de pallets.
3. Recrear el modelo actual de inventario de pallets que utilizan en Soprole, para que, a través de simulaciones e identificación de falencias, este pueda optimizarse.

## 5. Estado del Arte

Siendo este un problema que afecta a todas las empresas que distribuyen sus productos utilizando pallets, es posible encontrar estudios que han sido realizados para mejorar la gestión de pallets y de las logísticas inversas de ellos.

### 5.1. Unilever Argentina

Unilever es una empresa que vende una gran variedad de productos a sus clientes en todo el mundo. En esta empresa multinacional, específicamente en Argentina, también han abordado la problemática de la recuperación de pallets, ya que suelen perder grandes cantidades a lo largo del flujo de estos en el país. Para mejorar el problema de los registros de los movimientos y reducir las pérdidas de pallets, Blasco Castagna, S. et al. (2020) señalan que, entre las distintas opciones, decidieron desarrollar un software para registrar de manera digital los movimientos, utilizando solo una base de datos centralizada para poder registrar los movimientos (p.44). Dentro de las opciones que tenían para realizar esto, descartaron la utilización de tecnología blockchain, dado que con ella los datos recopilados estarían disponibles para ver para todas las entidades relacionadas, lo que podría perjudicar a Unilever. La justificación del descarte de esta opción fue llevada a cabo según las necesidades de la empresa, principalmente porque *“(…) si la información de todas las empresas puede ser vista por cada una de las empresas, cada una de las empresas puede determinar mediante el flujo observado de pallets de manera indirecta las ventas de las otras” (Blanco Castagna, S et al., 2020, p.44).*

Dentro de esta aplicación se debe ingresar con mail y contraseña para poder comenzar a utilizarla. Después de haber ingresado, el usuario es capaz de ver transacciones históricas, envíos pendientes, recibos pendientes, ver balances, realizar transacciones y cerrar sesión. Siempre que se quieren realizar ingresos o cambios estos quedan registrados con fecha y hora, cómo también el usuario que lo realizó. Los datos importantes que son solicitados para realizar envíos son: Cantidad Enviada, Quien Envía, Fecha y Hora de Envío, Quién Recibe, DNI Chofer, Patente Chofer, Nombre Chofer y Código Compra. Para recibir se pide: Fecha de Recibo, Quien Recibe, Cantidad Aceptada, Comentario por Rechazos.

Tras invertir en el desarrollo e implementación de la aplicación, el dinero invertido se recupera en 4 meses y entrega un valor presente (VP) al largo plazo de \$207.489.474 CLP.

**Sistema digital**  
Usuario: carrefour@carrefour.com

Ver transacciones historicas   Envios pendientes   Recibos pendientes   Ver balance   Realizar transaccion   Salir

### Recibos pendientes

Ordenar por: FECH ENV   Asc   Desc   Filtrar: Escribir para buscar   Borrar

Por pagina: 5   1

CANTIDAD ENV	QUIEN ENVIA	FECH ENV	QUIEN RECIBE	CANT ACEPTADA	COMENTARIO	Mas informacion
123	unilever@unilever.com	Sun, 17 Nov 2019 19:27:40 GMT	carrefour@carrefour.com	<input type="text"/>	<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Mostrar"/>
133	hola@hola.com	Thu, 07 Nov 2019 03:42:49 GMT	carrefour@carrefour.com	<input type="text"/>	<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Mostrar"/>
153	hola@hola.com	Thu, 07 Nov 2019 03:43:39 GMT	carrefour@carrefour.com	<input type="text"/>	<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Mostrar"/>
173	unilever@unilever.com	Thu, 07 Nov 2019 03:53:02 GMT	carrefour@carrefour.com	<input type="text"/>	<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Mostrar"/>
113	unilever@unilever.com	Thu, 07 Nov 2019 14:15:23 GMT	carrefour@carrefour.com	<input type="text"/>	<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Mostrar"/>

*Imagen 3: "Sistema de registro Unilever Argentina"*

*Fuente: Blasco Castagna, S., Castro, A., & Merello, J. (2020). Búsqueda de mejora en la logística de pallets de una multinacional de consumo masivo*

## 5.2. Proveedor Logístico Italiano

En un proveedor logístico italiano se hizo un estudio sobre la implementación de tags RFID para la gestión de pallets en tanto la logística directa como inversa. Gnoni, M. G. & Rollo, A. (2010) explican que RFID es una tecnología multipropósito que se refiere al uso de ondas de radio para identificar objetos. Recientemente se ha aplicado eficazmente tanto en el contexto de fabricación como de logística. Así mismo, afirman que, en la gestión de pallets, la aplicación de RFID podría apoyar de manera más eficiente en la pérdida de estos, que anualmente representa un 6% de la facturación comercial de proveedores de logística, sosteniendo que mediante un sistema de seguimiento avanzado basado en tecnología RFID estas pueden reducirse (p.3).

Tras un análisis de distintos escenarios, donde se evalúa la utilización de pallets de madera o plástico, con o sin tags RFID, teniendo en cuenta que se utilizó el modelo de coste ABC (Activity Based Costing) y un sistema de pallets de compra, llegaron a la conclusión de que la utilización de tags de RFID en cualquier tipo de pallet puede cooperar en la reducción de los costos asociados a la manipulación de estos, pero resulta más conveniente en la utilización de pallets de plástico. Mientras que el uso de pallets de madera sin tags de RFID son el método de gestión de pallets más costoso. Con este modelo, Gnoni, M.G. & Rollo, A. (2010) explican que el aumento en la inversión y costos

operacionales causados por la implementación de RFID puede ser comparado al evaluar los resultados reales en términos de aumento o reducción de costos generales (p.10).

El costo del manejo de pallets de madera sin tag de RFID es de \$222.674.914 CLP, mientras que el de pallets de plástico con tag de RFID es de \$152.445.909 CLP al año.

Overall cost values evaluated by the ABC model for each scenario

Cost [€]	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
<b>Direct</b>				
Park purchase	43.750	51.250	40.000	43.000
RFID equipment and infrastructure	0	17.790	0	17.790
<b>Indirect</b>				
Replenishment	8.750	8.713	5.200	4.300
Maintenance	1.200	1.200	0	0
Tag Replacement	0	41.850	0	13.950
Cleaning	500	500	5.000	5.000
Storage	922	2.304	922	2304
Reverse logistic	111.266	45.261	45.261	45.261
Tracking and tracing	63.325	12.443	63.325	12443
RFID system maintenance	0	13.343	0	13.343
Accounting	1.500	900	1.200	900
<b>Overall cost of pallet management system</b>	<b>€231.213</b>	<b>€195.553</b>	<b>€162.289</b>	<b>€158.291</b>

Imagen 4: "Evaluación de escenarios con tags RFID utilizando modelo ABC"

Fuente: Gnoni, M. G., & Rollo, A. (2010). A scenario analysis for evaluating RFID investments in pallet management. *International Journal of RF Technologies*, 2(1), 1-21

### 5.3. Smurfit Kappa

En Smurfit Kappa, empresa que diseña, manufactura y provee empaques en base de papel, se ha realizado un estudio para mejorar la coordinación y recuperación de sus pallets. Sufriendo problemas similares a los que Soprole tiene con sus clientes, están recibiendo pallets que no corresponden al estándar utilizado por ellos, cómo también reciben pallets que se encuentran en mal estado, llevando a que tengan que comprar excesos de pallets.

Tras ver las causas de sus problemas, se identificó que las principales son la falta de coordinación con los clientes para que estos devuelvan los pallets y la falta de una metodología de trabajo de los recolectores de pallets. Dado esto, Vega Riquelme, C. (2020) propone la creación de dos propuestas



para solucionar los problemas mencionados, con el fin de disminuir los costos por pérdidas de los pallets a disposición de los clientes, aumentar la productividad, obtener una ventaja competitiva, un mejoramiento continuo, cero defectos, trabajo en equipo, y la estandarización de los procesos (p.93).

La primera propuesta para mejorar la coordinación y metodología de trabajo, se basa en la realización de capacitaciones para que los trabajadores puedan mejorar sus habilidades con los clientes. También se crea un documento para evidenciar la salida de los pallets para que estos después sean solicitados a los clientes en los próximos despachos. Y por último la contratación de un analista.

Para la segunda propuesta, se evalúa la realización de capacitaciones del personal para mejorar la administración del inventario de pallets. Lo que se quiere con esto es que el personal pueda administrar el inventario de pallets de manera eficiente, manteniendo un stock de seguridad controlado, el cual se determinó, enfocándose también en la mayor recuperación de pallets.

Al evaluar los resultados que se conseguirían con la implementación de las propuestas, el ahorro mensual sería de \$18.858.831 CLP, reduciendo de la misma forma la compra de pallets.

#### 5.4. Pollos el Dorado

En la empresa colombiana Pollos el Dorado distribuyen sus productos, como carne de pollo, en bandejas de poliestireno expandido, material que es muy contaminante y poco reutilizado. Para optimizar el ciclo logístico y reducir el impacto ambiental producido por las bandejas de poliestireno expandido, Lesmes Correa, J. D. (2021), explica que “se realizó un modelo matemático donde se mejoró la recolección de los empaques y envases de carne de pollo de las empresas Pollos el Dorado” (p.36).

Esta optimización empieza con la caracterización del sistema que tenía la empresa, para luego poder identificar las variables y parámetros involucrados en la logística inversa de las bandejas, con el objetivo de formular un modelo matemático donde la función objetivo busca minimizar los costos del proceso, teniendo en cuenta todas las restricciones identificadas. Finalmente, para validar el modelo matemático y evaluar distintos escenarios, se utilizó un programa de computador especialista en investigación de operaciones llamado Lingo. “Utilizar los softwares de modelamiento matemático

como lingo son de gran utilidad para buscar una solución óptima a problemas de decisión en el diseño de redes de logística inversa de gran magnitud y complejidad” (Lesmes Correa, J.D., 2021, p.59).

Tras evaluar los escenarios posibles, el óptimo entregó que es posible la recolección de 338,8 toneladas de bandejas al mes. Las cuales pueden ser reutilizadas, recicladas o vendidas.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minf1}(QSP_{ijmp} QSR_{ijmp} VSP_{ijmp} VPC_{klm} P_k R_j) \\
 &= \sum CFT_M (\sum \sum VSR_{ijm} \\
 &+ \sum \sum VRP_{jkm} \\
 &+ \sum \sum VPC_{klm}) mijjkkkl \\
 &+ \sum CUT_m (\sum \sum VSR_{ijm} * d_{ijm}^{SR} + \sum \sum VRP_{jkm} * d_{jk}^{RP} \\
 &+ \sum \sum VPC_{klm} * d_{ij}^{PC}) mijjkkkl + \sum CFP_k P_K \\
 &+ \sum \sum CUP_{kp} \sum \sum QPC_{klmp} + \sum CFR_j R_j kkpmlmj \\
 &+ \sum \sum CUR_{jp} \sum \sum QRP_{jkmp} kpkkm
 \end{aligned}$$

Imagen 5: “Ecuación de minimización de costos para logística inversa de bandejas en Pollos el dorado”

Fuente: Lesmes Correa, J. D. (2021). Diseño de un modelo de logística inversa para la recolección y disposición final de las bandejas de carne de pollo

## 5.5. Alternativas de Solución

De acuerdo al estado de arte expuesto, se realizaron conversaciones con el equipo de Excelencia Operacional, con el objetivo de presentar y evaluar posibles soluciones que podrían ser abordadas según los criterios y necesidades que requiere la empresa para su beneficio a largo plazo en el contexto de la gestión de pallets.

Estas son las posibles soluciones que se tomaron en cuenta tras las reuniones:

Objetivos específicos	Soluciones	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminuir en un 5% las diferencias de inventario de pallets físicos reales vs pallets en sistema en UCR San Bernardo.</li> <li>- Diseñar un modelo que represente el proceso actual de los movimientos de pallets de UCR San Bernardo y a través de simulaciones obtener la mejor solución para la mejora de éste, con las restricciones correspondientes según las necesidades de la empresa.</li> <li>- Reducir el impacto ambiental que produce la compra excesiva de pallets</li> </ul>	Crear sistema de registro de movimiento de pallet en una app basada en Blockchain, dándole acceso a las empresas asociadas a visualizar información <b>(1)</b>	Crear sistema de registro de movimientos de pallets en una app que sea accesible solo a personal de Soprole <b>(2)</b>
	Recreación del modelo actual de inventario de pallets de Soprole, para después evaluarlo en Python y hacer las mejoras necesarias para optimizarlo <b>(3)</b>	Evaluación con modelo ABC de implementación de pallets con tags RFID para el seguimiento de estos <b>(4)</b>
	Realizar capacitaciones a transportistas y trabajadores de UCR San Bernardo para generar cultura sobre la recuperación y el manejo del inventario, buscando que la gestión del inventario de pallets mejore <b>(5)</b>	Creación de un modelo matemático de la logística inversa, utilizando el software Lingo para evaluar distintos escenarios y encontrar el mejor <b>(6)</b>

Tabla 1: "Alternativas de solución"  
Fuente: Elaboración propia

## 5.6. Selección de Solución

Para lograr seleccionar la(s) solución(es) se consultó con el equipo acerca de los criterios que se tienen que considerar para poder tomar decisiones. Estos criterios son: Costo de implementación, tiempo de implementación, viabilidad de implementación, herramientas disponibles y profundidad del análisis. A continuación se desarrolló una matriz de selección, mediante la escala Likert, donde se le asignaron los pesos correspondientes a cada criterio y se le asignaron a las distintas opciones valores de 1 a 5, siendo 1 el valor más bajo y 5 el más alto, indicando la conveniencia de la posible solución en cada criterio.

Para el criterio de Costo de implementación, el valor de 1 quiere decir que la solución es muy costosa, 5 significa que el precio es conveniente; En el tiempo de implementación se quiere enfocar en la posibilidad de implementar la solución en el tiempo de la pasantía, siendo 1 el valor que indica que no es posible implementarla en el tiempo de la pasantía, y 5 que es posible implementarla en la

pasantía; Para la viabilidad de implementación, 1 significa que la solución no puede ser implementada por la interrupción de los procesos normales, 5 significa que es posible implementar la solución sin el riesgo de que los procesos significativos se vean afectados; En las herramientas disponibles, el valor 1 quiere decir que no hay herramientas disponibles para implementar la solución, 5 quiere decir que las herramientas están disponibles para desarrollar la solución; Por último, en la profundidad del análisis, 1 significa que el análisis es poco profundo en la solución, 5 significa que el análisis es significativo.

Criterios	Peso	Soluciones					
		1	2	3	4	5	6
Costo de implementación	15%	1	5	3	1	3	2
Tiempo de implementación	10%	3	3	3	2	3	3
Viabilidad implementación	35%	1	5	4	2	2	2
Herramientas disponibles	20%	3	5	5	3	4	4
Profundidad del análisis	20%	4	3	5	4	1	4
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>2,2</b>	<b>4,4</b>	<b>4,15</b>	<b>2,45</b>	<b>2,45</b>	<b>2,9</b>

Tabla 2: “Matriz de decisión”

Fuente: Elaboración propia

Tras la realización de la matriz de decisión, cuyos puntajes fueron asignados en reunión con el supervisor Mario Lopez, y compañeros de equipo, Nicolas Jouannet y Paloma Lara, se determinó que se llevarán a cabo las dos soluciones con mayor puntaje, que logran cumplir con los objetivos específicos propuestos. Estas son la solución 2, de creación de sistema de registro para los movimientos de pallets, y la solución 3, recreación del modelo de inventario de pallets para lograr optimizarlo.

## 6. Metodología

### 6.1. Metodología por Objetivo Específico

El tipo de metodología de trabajo seleccionada para llevar a cabo el desarrollo de las soluciones escogidas anteriormente de una manera organizada, es aquella conocida como Ágil Scrum. En esta metodología se organizan las tareas por realizar en un tablero, donde cada semana se denomina “sprint”, y las tareas se clasifican en 5 fases: *To do*, *In progress*, *To review*, *Postponed* y *Done*. Esta planificación fue determinada con el software Asana.

The screenshot shows the Asana interface for a project titled 'Proyecto de título'. The task list is organized into two main sections: 'Creación de sistema de registro' and 'Creación de modelo de optimización'. Each task is represented by a row with columns for the task name, responsible person (Luis Carrasco), due date, collaborators, priority, and status. The status column uses color-coded labels: 'Done' (green), 'In progress' (blue), 'To review' (yellow), and 'High' (red).

Nombre de la tarea	Responsable	Fecha de e...	Colaboradores	Prioridad	Estado
<b>Creación de sistema de registro</b>					
Definición de plataforma para creación de app	LC Luis Carrasco	10 nov	LC	Alto	Done
Determinación de requisitos para un sistema de registro de r	LC Luis Carrasco	13 nov	LC	Alto	Done
Desarrollo del sistema de registro en power apps	LC Luis Carrasco	14 - 23 nov	LC	Alto	Done
Revisión y ajustes con miembros del equipo	LC Luis Carrasco	24 - 27 nov	LC	Medio	Done
Pruebas, implementación gradual y monitoreo	LC Luis Carrasco	27 nov de 2023 - 4 ene de 2024	LC	Alto	In progress
<b>Creación de modelo de optimización</b>					
Análisis modelo de inventario actual	LC Luis Carrasco	8 - 13 nov	LC	Alto	Done
Recreación del modelo y simulaciones	LC Luis Carrasco	14 - 23 nov	LC	Alto	Done
Ajustes/Mejoras	LC Luis Carrasco	24 nov - 5 dic	LC	Medio	To review
Implementación mejoras	LC Luis Carrasco	5 dic de 2023 - 4 ene de 2024	LC	Medio	In progress

Imagen 6: “Lista de tareas en Asana y su estado actual”  
Fuente: Elaboración propia en Asana

### 6.1.1. Objetivo Específico 1

1. Análisis de procedimientos actuales e identificación de requisitos para app:
  - Se llevó a cabo un análisis detallado de los procedimientos actuales de registro de movimientos de pallets.
  - Se identificaron posibles puntos de error y discrepancia en la entrada de datos.
  - Se identificaron las características clave que debe tener el nuevo sistema de registro.
2. Desarrollo del sistema de registro:
  - Se diseñó e implementó un sistema de registro que aborda las deficiencias identificadas en powerapps.
3. Revisión y capacitación del personal:
  - Revisión de aplicación con equipo y determinación de ajustes necesarios.
  - Se llevaron a cabo sesiones de capacitación para el personal que debe utilizar el nuevo sistema.

- Se aseguró de que el personal comprendiera cómo utilizar todas las funciones y cómo evitar posibles errores.

4. Implementación Gradual:

- Se implementó el nuevo sistema de registro de manera gradual para minimizar interrupciones en las operaciones.
- Se realizaron pruebas piloto y ajustes, según fue necesario, antes de la implementación completa.
- Actualmente está en funcionamiento.

### 6.1.2. Objetivo Específico 2

1. Análisis del Impacto Ambiental Actual:

- Se analizó lugares del flujo de pallets donde se produce el impacto ambiental.
- Se identificaron las áreas clave donde se puede reducir el impacto ambiental.

2. Digitalización de Registros:

- Se implementó un sistema de registro digital para reemplazar los registros en papel.
- Se aseguró de que el sistema fuera accesible, fácil de usar y capaz de generar informes para el seguimiento del inventario.
- Estas metas fueron comunicadas a todos los niveles de la organización para generar conciencia y compromiso.

3. Mejora del modelo de inventario:

- Al mejorar el modelo de inventario se espera la reducción de las compras excesivas de pallets.

4. Monitoreo y Evaluación Continua:

- Se evaluó el progreso hacia las metas ambientales con KPI's.
- Se incentivó la adopción de comportamientos sostenibles en todos los niveles de la organización.

### 6.1.3. Objetivo Específico 3

1. Análisis del Modelo Actual:

- Se analizó la demanda actual de pallets, viendo distribución y correlaciones.
  - Se realizó un análisis detallado del modelo de inventario de pallets actual en Soprole, identificando procesos y parámetros clave.
2. Recreación del Modelo y Simulaciones:
- Se recreó el modelo de inventario, identificando todos los factores que se toman en cuenta actualmente para tomar decisiones en la compra de pallets.
3. Optimización a través de ajustes del modelo actual:
- Se implementaron los factores que no se tomaban en cuenta, que implicaban falencias en la toma de decisiones.
  - Se evaluó utilizando el lenguaje de programación Python.
4. Implementación Gradual y Monitoreo Continuo:
- Se implementó gradualmente el modelo optimizado en el entorno operativo.
  - Se estableció un sistema de monitoreo continuo para evaluar el rendimiento y realizar ajustes según la retroalimentación y cambios operativos.

## 6.2. KPI's

### Objetivo específico 1

Porcentaje diferencia de pallets:

$$PDP = \frac{\text{Pallet en UCR SB Físico} - \text{Pallet en UCR SB Teórico}}{\text{Pallet en UCR SB Físico}} * 100$$

### Objetivo específico 2

Emisiones de carbono por mes:

$$EMC = \text{Unidades de Pallets Comprados por Mes} * \text{Huella de Carbono}$$

Según Argüeso, B. (2019) un solo pallet de madera = 27 kg de CO<sub>2</sub>

### Objetivo específico 3

Pallets comprados por mes:

$$PCM = \text{Pallets Comprados por Mes} * \text{Precio por Unidad de Pallet}$$

### 6.3. Matriz de Probabilidad de Ocurrencia y Clasificaciones de Riesgo

Los riesgos que se deben tener en cuenta en el desarrollo de estas soluciones fueron medidos con una matriz con probabilidad de ocurrencia y clasificaciones de riesgo. Así, fue posible entregarle una clasificación de riesgo a cada evento posible.

			Consecuencia				
			Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
			1	2	4	8	16
Probabilidad	Muy Baja	1	1	2	4	8	16
	Baja	2	2	4	8	16	32
	Media	3	3	6	12	24	48
	Alta	4	4	8	16	32	64
	Muy Alta	5	5	10	20	40	80

Nivel de Riesgo	Aceptable	Tolerable	Alto	Muy alto
Color				
Rango	(1-4)	(5-12)	(13-24)	(25-80)

Tabla 3: "Matriz de ocurrencia y clasificaciones de riesgo"

Fuente: Elaboración propia

### 6.4. Eventos y Mitigaciones

Luego de desarrollar la matriz de probabilidad de ocurrencia, se discutieron los posibles eventos del desarrollo del proyecto, dándole una clasificación de nivel de riesgo y su mitigación respectiva.

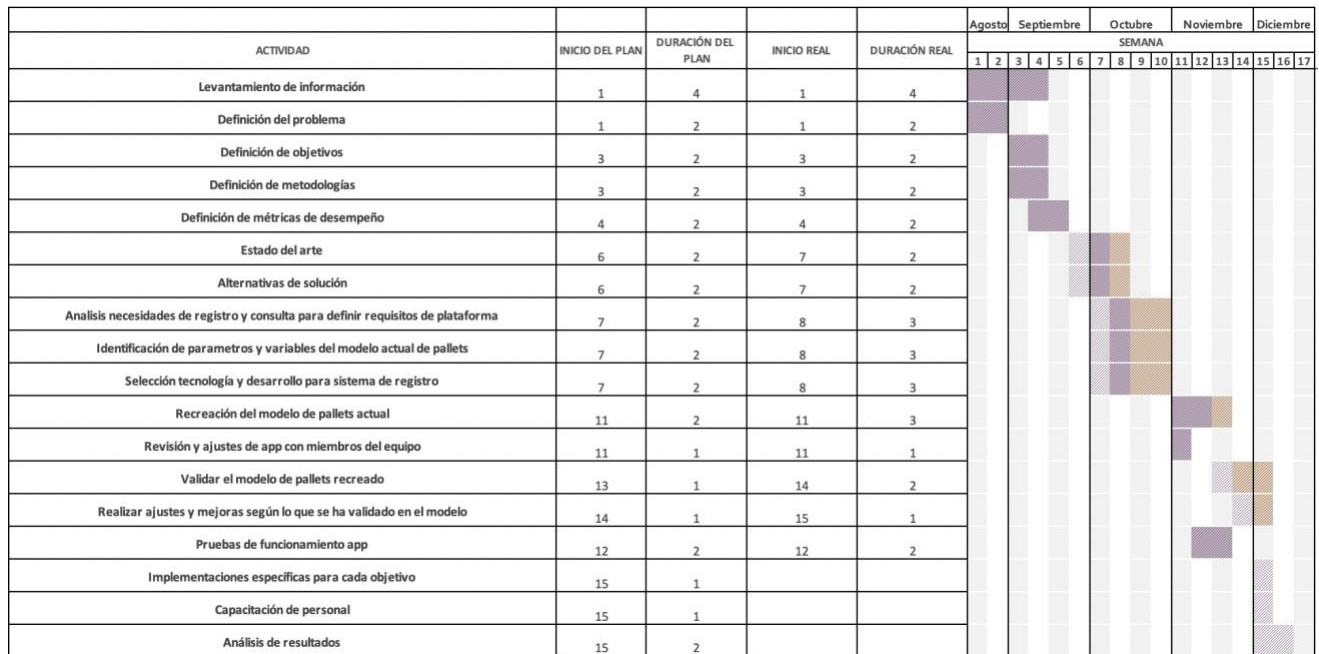


Evento	Probabilidad	Consecuencia	Nivel de Riesgo	Mitigaciones
Atrasos en los plazos	Baja	Menor	Aceptable	Establecer flexibilidad en los plazos y solicitar apoyo para el cumplimiento de estos.
Modelo matemático mal planteado	Media	Mayor	Alto	Revisar constantemente que el modelo sea correcto, viendo parametros, variables, restricciones y funciones. Apoyandose en textos de optimización para el buen desarrollo
Evaluación del modelo no entrega resultados esperados	Media	Mayor	Alto	Consultar a personas que han utilizado el software Lingo acerca de como se pueden mejorar las simulaciones. Sino se puede mejorar, intentar con otros software.
Resistencia al cambio	Media	Moderada	Tolerable	Demostrar que el impacto de la solución logra reducir los costos que se tienen actualmente en la logística inversa de pallets.
Bajo dominio de Powerapps	Muy Baja	Máxima	Alto	Realizar cursos online y consultar a personas que han utilizados el sistema antes.
Usuarios no cumplen con el uso del sistema de registros	Media	Moderada	Tolerable	Clarificar la importancia que tiene el registro de los movimiento al hacer capacitaciones.
Caidas del sistema	Media	Mayor	Alto	Ingresar información en Excel propio para después traspasarlo al sistema de registros.
No continuidad de la solución en el tiempo	Baja	Mayor	Tolerable	Mostrar beneficios a agentes involucrados y afectados para que se siga implementado el sistema
Diferencias de inventario continuan siendo altas	Baja	Mayor	Tolerable	Revisar que usuarios estén cumpliendo con el uso del sistema de registro, hacer capacitaciones, hacerle entender a usuarios sobre la importancia.
Las compras de pallets no disminuyen (impacto ambiental se mantiene también)	Baja	Mayor	Tolerable	Reuniones con el equipo para ver en que nodo del flujo está fallando el nuevo modelo, para lograr una mejora continua y revisar las posibles soluciones. Realizar capacitaciones si es necesario.

Tabla 4: “Eventos, nivel de riesgo y mitigaciones”  
Fuente: Elaboración propia

## 6.5. Plan de Implementación

Para el plan de implementación se creó una carta Gantt con el objetivo de llevar un plan organizado expresado en las semanas desde el inicio de la pasantía:



 Duración del plan 
  Inicio real 
  % Completado 
  Real (fuera del plan) 
  % Completado (fuera del plan)

Imagen 7: “Carta Gantt plan de implementación”  
Fuente: Elaboración propia

## 7. Desarrollo

### 7.1. Optimización de Modelo de Inventario de Pallets

#### 7.1.1. Análisis de la Demanda de Pallets:

Para poder mejorar el modelo actual de pallets que es utilizado en Soprole, es necesario analizar cómo funciona la demanda de estos. Para esto, se utilizaron datos desde el año 2019 hasta el 2022 y se realizaron distintos análisis en la plataforma R (código en anexo 2).

Es importante tener en consideración que la demanda de pallets es limitada por las decisiones de compras de productos de los clientes, las cuales no son predecibles, lo que significa una demanda independiente, externa a la empresa.

Una de las pruebas realizadas para analizar la demanda fue la correlación de Spearman. Martínez Ortega, R. M., et al. (2009), explican que la correlación expresa el grado de asociación entre dos variables, según el sentido de la relación de éstas en términos de aumento o disminución (p.4). Esta toma valores entre  $[-1, 1]$ , siendo -1 una correlación perfecta negativa, 1 una correlación perfecta positiva, y 0 significa que no existe correlación (p.11).

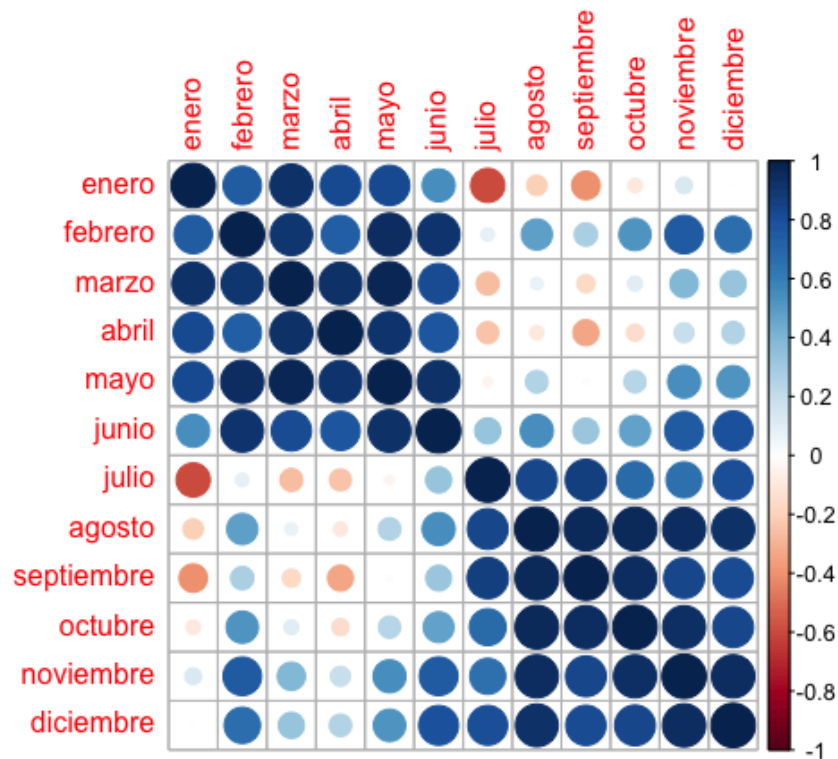


Imagen 8: "Matriz de correlación entre demandas mensuales 2019-2022"  
Fuente: elaboración propia en RStudio

Tras la realización de la matriz mostrada anteriormente, se pueden visualizar las correlaciones entre las demandas mensuales (revisar anexo para resultados numéricos), evidenciando que la correlación es positiva entre los meses de un mismo semestre, pero tras ser comparadas con las de otro semestre no se muestra una correlación significativa. Lo que podemos determinar con esto es que la demanda tiene incertidumbre, pero que puede ser expresada con una distribución de probabilidad.

Para continuar con el análisis de la demanda se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk en el mismo conjunto de datos. Esta mide la correlación entre los datos y las puntuaciones normales correspondientes. Jaramillo, H. A. L., et al. (2023) explican que esta prueba calcula un estadístico de

prueba (W) y lo compara con los valores críticos para determinar si los datos se desvían significativamente de la normalidad (p.3). Esta prueba entrega un p-value que se compara con un nivel de significancia de 95% para determinar si se rechaza o no la hipótesis nula de normalidad. Si el p-value es mayor a 0,05 entonces no se rechaza la hipótesis nula de normalidad.

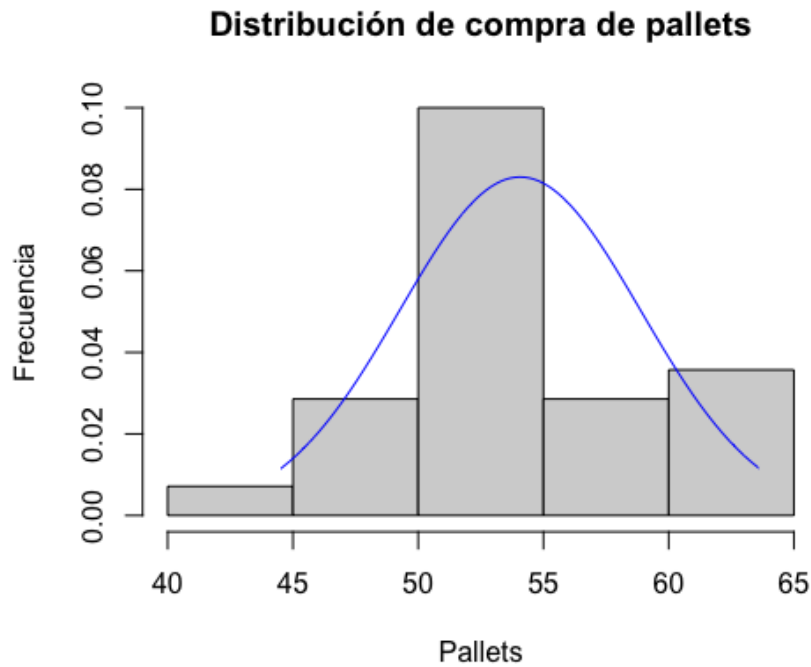


Gráfico 2: “Distribución de las compras mensuales de pallets”  
Fuente: Elaboración propia en Rstudio

#### Shapiro-Wilk normality test

```
data: data$Demanda.Pallets
W = 0.9644, p-value = 0.4408
```

Imagen 9: “Test de Shapiro-Wilk de la Demanda mensual de pallets”  
Fuente: Elaboración propia en Rstudio

Tras este análisis de la demanda confirmamos que el tipo de modelo que debe tener Soprole para el inventario de pallets es de cantidad de orden variable y ciclo fijo (Resultados de correlación y código de RStudio en anexo 1 y 2 respectivamente).

#### 7.1.2. Recreación de Modelo Ajustado y Mejorado:

Para el desarrollo del modelo se ha evaluado el modelo actual y se han propuesto mejoras en este que no se consideran en la actualidad. Entre estas mejoras, se ha empezado a considerar las variables de Stock inicial y Stock final, también el retorno de pallets por periodo, con sus costos respectivos, también se empieza a considerar el inventario de seguridad y el porcentaje de pallets que retornan por periodo. Suponiendo implementación desde el mes de enero del año 2024 y con un inventario inicial igual al estimado según la proyección actual (23.300 pallets).

#### Subíndices:

- $t$ : subíndice de periodo (mensuales)  $t = 1, 2, \dots, t$ .

#### Conjuntos y Parámetros:

- $T$ : Conjunto de todos los periodos considerados.
- $D_t$ : Demanda de pallets en el periodo  $t$ .
- $CC$ : Costo de compra de un pallet.
- $CM$ : Costo de mantenimiento de un pallet en inventario por periodo.
- $CR$ : Costo de recuperación de un pallet.
- $PR$ : Porcentaje de pallets que retornan.
- $IS$ : Inventario de seguridad.
- $IM$ : Inventario máximo permitido.

#### Variables de Decisión:

- $SI_t$ : Stock inicial de pallets en el periodo  $t$ .
- $SF_t$ : Stock final de pallets en el periodo  $t$ .
- $P_t$ : Cantidad de pallets comprados en el periodo  $t$ .

- $R_t$ : Cantidad de pallets retornados en el periodo  $t$ .

**Función Objetivo:**

$$\text{Min} \sum_t CC * P_t + \sum_t CM * SF_t + \sum_t CR * R_t$$

**Restricciones:**

1. **Stock inicial:**

$$SI_{ene24} = 23.300 \quad \forall t \in \text{periodos}$$

$$SI_t = SF_{t-1} \quad \forall t > ene24 \in \text{periodos}$$

2. **Balance de inventario para cada periodo:**

$$SF_t = SI_t + P_t + R_t - D_t \quad \forall t \in \text{periodos}, \quad \text{donde } t > ene24$$

3. **Retorno de pallets por periodo:**

$$R_t = D_t * PR \quad \forall t \in \text{periodos}$$

4. **Inventario máximo y mínimo permitido:**

$$IS \leq SF_t \leq IM \quad \forall t \in \text{periodos}$$

$$IS \leq SI_t \leq IM \quad \forall t \in \text{periodos}$$

5. **No negatividad:**

$$S_{t,p}, P_{t,p}, R_{t,p} \geq 0 \quad \forall t \in \text{periodos}$$

### 7.1.3. Evaluación de Modelo en Python

Antes de la evaluación del modelo en Python se ha desarrollado un Excel donde se especifican las cantidades de pallets que se necesitan por periodo, analizando la demanda de cada producto de Soprole por periodo.

Para evaluar este modelo se utilizó el lenguaje de programación Python, en la plataforma de Google Colab (el código en su totalidad se encuentra en el anexo 3). Para el desarrollo de este código se consideraron los pedidos de los clientes desde enero del 2024 hasta diciembre del año 2025, que es hasta donde se conoce la demanda actual de productos por clientes.

En primer lugar se instalaron las librerías necesarias para la realización del modelo en Python. Luego se montó Google Drive para subir el archivo Excel con las demandas de pallets por periodo. A continuación se limpiaron los datos y se definieron parámetros.

```
[ ] #Librerías necesarias
!pip install --upgrade pulp
!pip install pulp
!pip install openpyxl
import pandas as pd
from pulp import LpProblem, LpMinimize, LpVariable, lpSum, LpStatus, value
from google.colab import drive

# Google Drive
drive.mount('/content/drive')

# Cargar datos desde el archivo Excel y de hoja del resumen de pallets necesarios
ruta_excel = '/content/drive/MyDrive/Pasantía/PlandeProduccionpallets.xlsx'
datos_resumen = pd.read_excel(ruta_excel, sheet_name='Resumen')

[ ] # Preparar los datos de pallets requeridos para todos los periodos
datos_resumen_cleaned = datos_resumen.drop(index=[0, 1]).reset_index(drop=True)
datos_resumen_cleaned = datos_resumen_cleaned.drop(columns=datos_resumen_cleaned.columns[0])
periodos = datos_resumen.iloc[1, 1:].values
datos_resumen_cleaned.columns = periodos
datos_resumen_cleaned = datos_resumen_cleaned.apply(pd.to_numeric, errors='coerce').fillna(0)

# Obtener los periodos relevantes
periodos_relevantes = [p for p in periodos if '242' in p or '252' in p]
pallets_por_periodo = datos_resumen_cleaned[periodos_relevantes].iloc[-1]

# Parámetros del modelo
costo_compra = 7586
costo_mantenimiento = 366
costo_recuperacion = 460
porcentaje_retorno = 0.86
inventario_seguridad = 4000
inv_maximo = 50000
```

*Imagen 10: "Script Python 1"*  
*Fuente: Elaboración propia en Google Colab*

En segundo lugar, se definieron variables y se creó el modelo.

```
# Creación del modelo de optimización
modelo = LpProblem("Optimizacion_Inventario_Pallets", LpMinimize)

# Variables de decisión para cada periodo
S_inicial = LpVariable.dicts("Stock_Inicial", periodos_relevantes, lowBound=0, cat='Continuous')
S_final = LpVariable.dicts("Stock_Final", periodos_relevantes, lowBound=inventario_seguridad, upBound=inv_maximo, cat='Continuous')
P = LpVariable.dicts("Compras", periodos_relevantes, lowBound=0, cat='Continuous')
R = LpVariable.dicts("Retornos", periodos_relevantes, lowBound=0, cat='Continuous')
```

Imagen 11: "Script Python 2"

Fuente: Elaboración propia en Google Colab

Se definió la función objetivo y las restricciones vistas en el modelo realizado.

```
# Restricción para el inventario inicial en el primer periodo
primer_periodo = periodos_relevantes[0]
modelo += S_inicial[primer_periodo] == 23300

# Función objetivo
modelo += lpSum(costo_compra * P[t] + costo_mantenimiento * S_final[t] + costo_recuperacion * R[t] for t in periodos_relevantes)

# Restricciones
for i, t in enumerate(periodos_relevantes):
    demanda_pallets = pallets_por_periodo[t]

    # Retornos
    modelo += R[t] == pallets_por_periodo[t] * porcentaje_retorno

    # Establecer el stock inicial para cada periodo
    if i == 0:
        modelo += S_inicial[primer_periodo] == 23300
    else:
        t_prev = periodos_relevantes[i-1]
        modelo += S_inicial[t] == S_final[t_prev]

    # Balance de inventario
    modelo += S_final[t] == S_inicial[t] + P[t] - demanda_pallets + R[t]

    # Compras para satisfacer la demanda neta
    demanda_neta = demanda_pallets - S_inicial[t] - R[t]
    modelo += P[t] >= demanda_neta
    modelo += P[t] >= 0 # Compras no negativas

# Restricciones de inventario mínimo y máximo
modelo += S_final[t] >= inventario_seguridad
modelo += S_final[t] <= inv_maximo
```

Imagen 12: "Script Python 3"

Fuente: Elaboración propia en Google Colab

Por último, se resuelve el modelo y se crea un Excel con los costos por periodo y también se imprime el estatus del modelo y el costo total de los dos años evaluados.



```
[ ] # Resolver el problema y calcular el costo total
modelo.solve()
estado_solucion = LpStatus[modelo.status]
costo_total_calculado = value(modelo.objective)

# Almacenar los resultados
resultados = []
for t in periodos_relevantes:
    resultados.append({
        "Periodo": t,
        "Pallets Necesarios": pallets_por_periodo[t],
        "Stock Inicial": S_inicial[t].varValue,
        "Compras": P[t].varValue,
        "Retornos": R[t].varValue,
        "Stock Final": S_final[t].varValue,
        "Costo de Compra": costo_compra * P[t].varValue,
        "Costo de Mantenimiento": costo_mantenimiento * S_final[t].varValue,
        "Costo de Recuperación": costo_recuperacion * R[t].varValue
    })

# Agregar costo total al final de los resultados
resultados.append({"Periodo": "Total", "Costo Total": costo_total_calculado})

# Convertir los resultados a un DataFrame de Pandas y guardar en Excel
df_resultados = pd.DataFrame(resultados)
ruta_guardado_excel = '/content/drive/MyDrive/resultados_optimizacion_pallets.xlsx'
df_resultados.to_excel(ruta_guardado_excel, index=False)

print(f"Resultados guardados en: {ruta_guardado_excel}")
print(f"Estado de la solución: {LpStatus[modelo.status]}")
print(f"Costo total: {value(modelo.objective)}")
```

Imagen 13: "Script Python 4"  
Fuente: Elaboración propia en Google Collab

```
Requirement already satisfied: pulp in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (2.7.0)
Requirement already satisfied: pulp in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (2.7.0)
Requirement already satisfied: openpyxl in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (3.1.2)
Requirement already satisfied: et-xmlfile in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from openpyxl) (1.1.0)
Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call drive.mount("/content/drive", force_remount=True).
Resultados guardados en: /content/drive/MyDrive/resultados_optimizacion_pallets.xlsx
Estado de la solución: Optimal
Costo total: 1579835563.9273803
```

Imagen 14: "Resultado Script Python"  
Fuente: Elaboración propia en Google Colab

Tras la impresión de estos datos, ingresamos al Drive donde se creó nuestro Excel y vemos los resultados.

Periodo	Pallets Necesarios	Stock Inicial	Compras	Retornos	Stock Final	Costo de Compra	Costo de Mantenimiento	Costo de Recuperación	Costo Total
Suma de ene-24	43982,35628	23300	0	37824,826	17142,47	\$0	\$6.274.144	\$17.399.420	
Suma de feb-24	46229,80636	17142,47	0	39757,633	10670,297	\$0	\$3.905.329	\$18.288.511	
Suma de mar-24	52793,41325	10670,297	720,78063	45402,335	4000	\$5.467.842	\$1.464.000	\$20.885.074	
Suma de abr-24	49386,59885	4000	6914,1238	42472,475	4000	\$52.450.543	\$1.464.000	\$19.537.339	
Suma de may-24	48389,33909	4000	6774,5075	41614,832	4000	\$51.391.414	\$1.464.000	\$19.142.823	
Suma de jun-24	47617,12868	4000	6666,398	40950,731	4000	\$50.571.295	\$1.464.000	\$18.837.336	
Suma de jul-24	48436,4265	4000	6781,0997	41655,327	4000	\$51.441.422	\$1.464.000	\$19.161.450	
Suma de ago-24	48204,93638	4000	6748,6911	41456,245	4000	\$51.195.571	\$1.464.000	\$19.069.873	
Suma de sept-24	45918,36125	4000	6428,5706	39489,791	4000	\$48.767.137	\$1.464.000	\$18.165.304	
Suma de oct-24	52593,12209	4000	7363,0371	45230,085	4000	\$55.855.999	\$1.464.000	\$20.805.839	
Suma de nov-24	50668,95463	4000	7093,6536	43575,301	4000	\$53.812.456	\$1.464.000	\$20.044.638	
Suma de dic-24	48132,09317	4000	6738,493	41393,6	4000	\$51.118.208	\$1.464.000	\$19.041.056	
Suma de ene-25	44169,56514	4000	6183,7391	37985,826	4000	\$46.909.845	\$1.464.000	\$17.473.480	
Suma de feb-25	45066,41316	4000	6309,2978	38757,115	4000	\$47.862.333	\$1.464.000	\$17.828.273	
Suma de mar-25	51298,57563	4000	7181,8006	44116,775	4000	\$54.481.139	\$1.464.000	\$20.293.717	
Suma de abr-25	51080,75399	4000	7151,3056	43929,448	4000	\$54.249.804	\$1.464.000	\$20.207.546	
Suma de may-25	47682,06457	4000	6675,489	41006,576	4000	\$50.640.260	\$1.464.000	\$18.863.025	
Suma de jun-25	47325,51198	4000	6625,5717	40699,94	4000	\$50.261.587	\$1.464.000	\$18.721.972	
Suma de jul-25	48504,15731	4000	6790,582	41713,575	4000	\$51.513.355	\$1.464.000	\$19.188.245	
Suma de ago-25	48905,75971	4000	6846,8064	42058,953	4000	\$51.939.873	\$1.464.000	\$19.347.118	
Suma de sept-25	45927,25671	4000	6429,8159	39497,441	4000	\$48.776.583	\$1.464.000	\$18.168.823	
Suma de oct-25	50125,47194	4000	7017,5661	43107,906	4000	\$53.235.256	\$1.464.000	\$19.829.637	
Suma de nov-25	48244,1073	4000	6754,175	41489,932	4000	\$51.237.172	\$1.464.000	\$19.085.369	
Suma de dic-25	44512,45062	4000	6231,7431	38280,708	4000	\$47.274.003	\$1.464.000	\$17.609.126	
Total									1579835564

Imagen 15: "Excel Resultados Optimización"  
Fuente: Elaboración propia al extraer excel entregado por Python

Los resultados cuantitativos y cualitativos del modelo de inventario de pallets serán presentados en los resultados (índice 8.).

## 7.2. Desarrollo de la Plataforma de Registro

Actualmente los registros se llevan a cabo en solo el turno de noche. Los tres turnos anteriores, tanto de la mañana como la tarde, deben hacer sus registros en papel, dejando la labor al turno de noche para que archive y guarde estos registros.

El único registro que queda en UCR San Bernardo es en papel y la gente de los otros centros de Soprole no puede evidenciar la llegada de estos, ni tampoco los mismos trabajadores de UCR San Bernardo pueden encontrar los registros de una manera sencilla. Normalmente cuando estos se revisan en los archivadores, se pierden o se desordenan.

La plataforma de registro para el control de movimientos de pallets fue desarrollada utilizando Power Apps, una elección fundamentada en la experiencia previa de Soprole con esta plataforma, la cual ha demostrado ser eficiente para la creación de sistemas centralizados con requisitos similares a los del proyecto actual.

### 7.2.1. Identificación de Requisitos Para la Plataforma:

- Usuario que realiza el registro.
- Fecha del registro.
- Tipo de movimiento (entrada o salida de pallets).
- Origen y clase de movimiento.
- Detalles específicos como patente del vehículo, número de sello, número interno SAP por desguace, orden de compra y número de guía.
- Preguntas relacionadas con la existencia de diferencias de pallets recibidos y diferencias en la recepción de desguaces.

### Acceso y Visibilidad:

- La aplicación debe permitir a los usuarios visualizar únicamente los registros que ellos mismos han realizado, garantizando la privacidad y seguridad de los datos.
- Todos los registros históricos se deben almacenar de forma centralizada en un sitio SharePoint dedicado exclusivamente a este desarrollo.

## 7.2.2. Visualización de App y Registros:

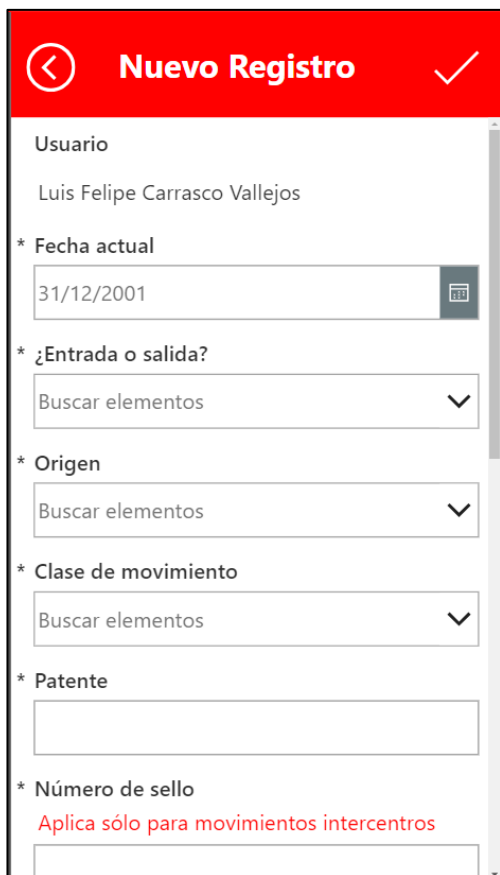


Imagen 16: “App de registros, sección de formulario”  
Fuente: elaboración propia en Powerapps

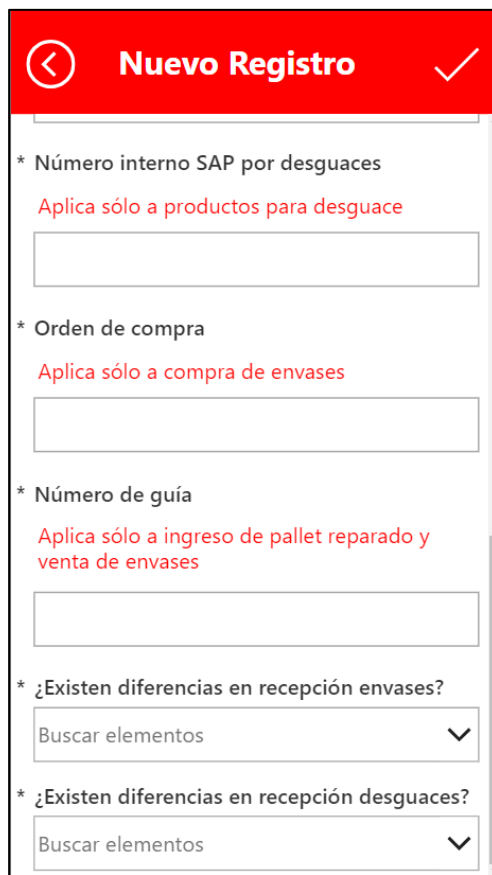


Imagen 17: “App de registros, sección de formulario 2”  
Fuente: elaboración propia en Powerapps



**Salidas Rampas**

Usuario: Luis Felipe Carrasco  
 Origen: Rancagua  
 Fecha de Salida: 29/11/2023  
 Días Transcurridos: 0

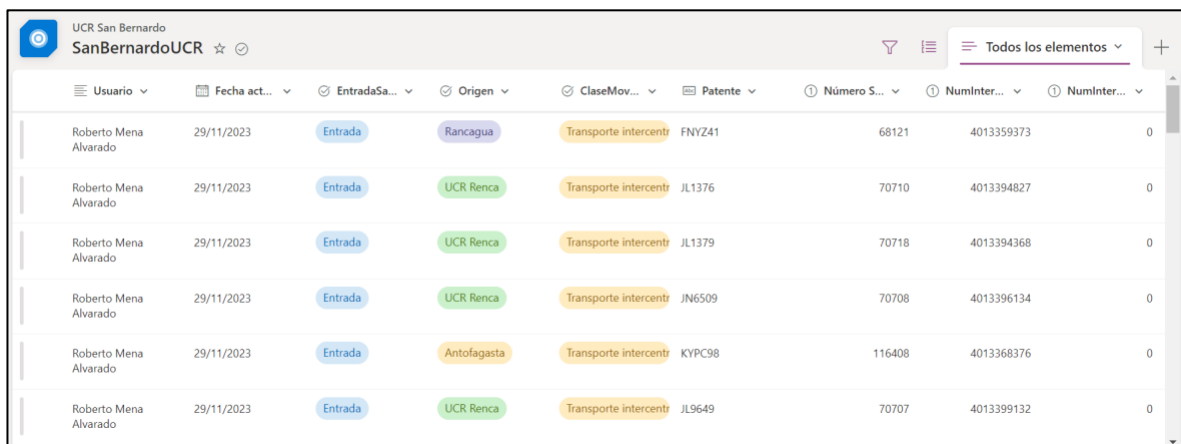
Imagen 18: “App de registros, sección de visualización inicio”  
Fuente: elaboración propia en Powerapps



**Detalle Salida**

Usuario  
Luis Felipe Carrasco Vallejos  
 Fecha Salida  
29/11/2023  
 Origen  
Rancagua  
 Sociedad de Transporte  
jajx  
 Patente rampla  
jajzjd  
 Número Sello  
37940  
 Número SAP Envases a San Bernardo  
8  
 Número SAP Envases a Renca  
0  
 Número SAP Desguaces a San Bernardo  
6

Imagen 19: “App de registros, sección de visualización de registro”  
Fuente: elaboración propia en Powerapps



Usuario	Fecha act...	EntradaSa...	Origen	ClaseMov...	Patente	Número S...	NumInter...	NumInter...
Roberto Mena Alvarado	29/11/2023	Entrada	Rancagua	Transporte intercentr	FNYZ41	68121	4013359373	0
Roberto Mena Alvarado	29/11/2023	Entrada	UCR Renca	Transporte intercentr	JL1376	70710	4013394827	0
Roberto Mena Alvarado	29/11/2023	Entrada	UCR Renca	Transporte intercentr	JL1379	70718	4013394368	0
Roberto Mena Alvarado	29/11/2023	Entrada	UCR Renca	Transporte intercentr	JN6509	70708	4013396134	0
Roberto Mena Alvarado	29/11/2023	Entrada	Antofagasta	Transporte intercentr	KYPC98	116408	4013368376	0
Roberto Mena Alvarado	29/11/2023	Entrada	UCR Renca	Transporte intercentr	JL9649	70707	4013399132	0

Imagen 20: “SharePoint con registros históricos”  
Fuente: elaboración propia en SharePoint

Es importante recalcar que esta aplicación es solo la de UCR San Bernardo, pero esta fue replicada para entregársela a los distintos centros de Soprole en las otras regiones del país, con el objetivo de tener un flujo de información competente (Anexo 4).

## 8. Resultados

La única inversión que se realizó por parte de la empresa fue el sueldo al pasante, el cual fue de \$140.000 CLP mensuales por 4 meses. Todo el desarrollo del proyecto fue realizado por el alumno bajo sus propios recursos y gracias a la obtención de información por parte del equipo.

### 8.1. Modelo de Inventario

Al desarrollar el modelo, el promedio de compras mensuales sería de \$45.018.879 CLP. Este valor evidencia una reducción en las compras mensuales de pallets, lo que significa resultados positivos del modelo. A pesar de que en el modelo de pallets actual no se consideraba el inventario de seguridad, el nuevo modelo logra minimizar las compras y los costos asociados a la mantención en inventario y recuperación de pallets.

Si es que el modelo actual considerara la existencia de un inventario de seguridad para hacer frente a cualquier fluctuación de la demanda, el promedio de compras mensuales de pallets tendría un valor de \$77.030.393 CLP.

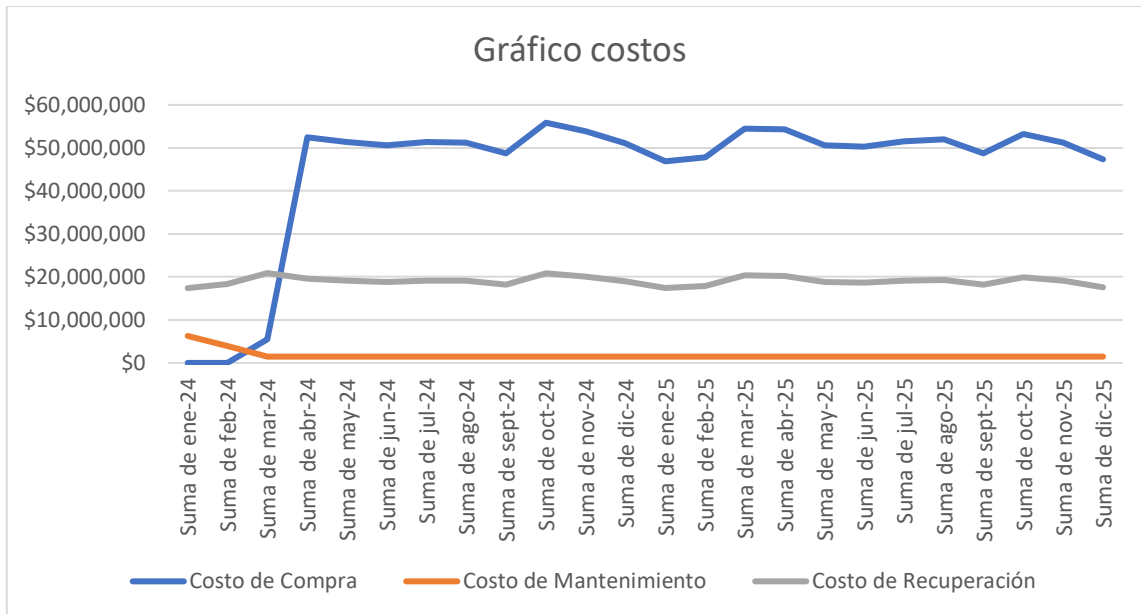


Gráfico 3: “Costos entre enero 2024 y diciembre 2025”

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados del modelo podemos identificar que la mejor decisión para satisfacer la demanda y minimizar los costos del flujo de pallets, entre enero del 2024 y diciembre del 2025, es mantener el inventario lo más bajo posible, es decir que se mantenga siempre igual al inventario de seguridad en la medida de lo posible, para que las compras se decidan con el retorno de pallets esperado, tomando en cuenta que se necesita respetar el inventario de seguridad. Esto significa que se podrá usar mejor el espacio en UCR San Bernardo y los indicadores a fin de mes, ya explicados, serán mejores a los actuales.

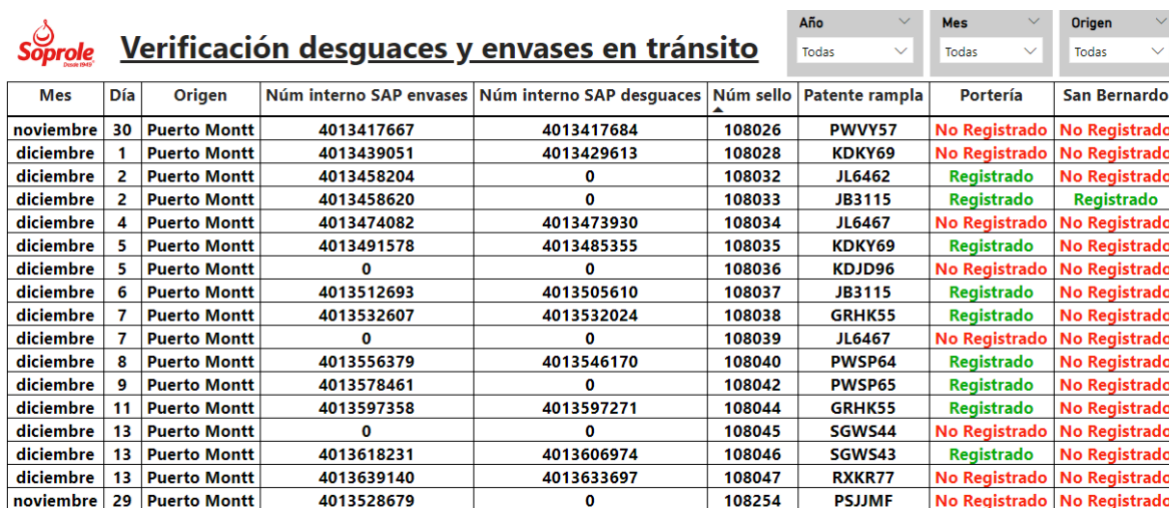
Con respecto al costo total del modelo de inventario de pallets entre los meses de los que se tiene la demanda, considerando que el costo con el modelo actual es de \$2.439.820.072 CLP, el costo total minimizado con el modelo ajustado es de \$1.579.835.564 CLP. Esta diferencia se debe al costo de los pallets que se mantienen en inventario y las compras sorpresivas que implican las fluctuaciones de la demanda de pallets.

Tras la implementación de este nuevo modelo desde enero del 2024, se espera que a largo plazo estas reducciones de costos tengan consecuencias positivas en el rendimiento del inventario de pallets en Soprole.

## 8.2. Aplicación de Registros

La aplicación de registros se ha implementado con el objetivo de reducir las diferencias mensuales de inventario de pallets en UCR San Bernardo. Al entregarles aplicaciones de registros a los distintos centros de Soprole en regiones y a UCR San Bernardo, donde llegan todos los retornos de pallets, se espera que, al realizar un cruce de todos los registros, se logre evidenciar todo movimiento de pallet y notificar cuando no se han registrado los movimientos para poder realizar los ajustes necesarios.

Al realizar el cruce, es posible ver todos los movimientos internos de pallets que se han realizado de regiones hacia UCR San Bernardo. Hasta ahora, solo el centro de Puerto Montt ha participado en estas implementaciones regionales para poder verificar registros, mientras que en portería y UCR se ha implementado completamente.



Mes	Día	Origen	Núm interno SAP envases	Núm interno SAP desguaces	Núm sello	Patente rampla	Portería	San Bernardo
noviembre	30	Puerto Montt	4013417667	4013417684	108026	PWVY57	No Registrado	No Registrado
diciembre	1	Puerto Montt	4013439051	4013429613	108028	KDKY69	No Registrado	No Registrado
diciembre	2	Puerto Montt	4013458204	0	108032	JL6462	Registrado	No Registrado
diciembre	2	Puerto Montt	4013458620	0	108033	JB3115	Registrado	Registrado
diciembre	4	Puerto Montt	4013474082	4013473930	108034	JL6467	No Registrado	No Registrado
diciembre	5	Puerto Montt	4013491578	4013485355	108035	KDKY69	Registrado	No Registrado
diciembre	5	Puerto Montt	0	0	108036	KDJD96	No Registrado	No Registrado
diciembre	6	Puerto Montt	4013512693	4013505610	108037	JB3115	Registrado	No Registrado
diciembre	7	Puerto Montt	4013532607	4013532024	108038	GRHK55	Registrado	No Registrado
diciembre	7	Puerto Montt	0	0	108039	JL6467	No Registrado	No Registrado
diciembre	8	Puerto Montt	4013556379	4013546170	108040	PWSP64	Registrado	No Registrado
diciembre	9	Puerto Montt	4013578461	0	108042	PWSP65	Registrado	No Registrado
diciembre	11	Puerto Montt	4013597358	4013597271	108044	GRHK55	Registrado	No Registrado
diciembre	13	Puerto Montt	0	0	108045	SGWS44	No Registrado	No Registrado
diciembre	13	Puerto Montt	4013618231	4013606974	108046	SGWS43	Registrado	No Registrado
diciembre	13	Puerto Montt	4013639140	4013633697	108047	RXKR77	No Registrado	No Registrado
noviembre	29	Puerto Montt	4013528679	0	108254	PSJJMF	No Registrado	No Registrado

Imagen 21: "Cruce de registros de las apps"

Fuente: Elaboración propia en Power BI

Tras realizar el cruce de registros ha sido posible comunicarse con los emisores y receptores de los movimientos de pallets para notificar los errores y realizar los ajustes de inventario necesarios en el ERP SAP. Es importante recalcar que las aplicaciones no están conectadas con SAP, dado que actualmente Soprole se encuentra en migración de ERP.



Al realizar los ajustes de Puerto Montt y UCR San Bernardo y aparte viendo los resultados del último inventario en estos centros, se ha evidenciado una reducción de las diferencias de inventario en un 0,6%, lo que significa que si la aplicación se implementa en todas las regiones que opera Soprole, las cuales distribuyen en cantidades similares, se podrán reducir las diferencias de inventario en un 6,6%.

### 8.3. Resultados en KPI's

Respecto a los KPI's se esperaba esto:

KPI	Resultados por mes		
	Pesimista	Esperado	Optimista
Dif de pallets (CLP)	-\$ 39.603.029	-\$ 37.622.878	-\$ 35.642.726
Impacto ambiental (KG)	167.914	159.519	151.123
Compra de pallets (CLP)	\$ 46.686.393	\$ 44.352.073	\$ 42.017.754

Tabla 5: "Resultados esperados por mes"

Fuente: Elaboración propia

KPI	Resultados por año		
	Pesimista	Esperado	Optimista
Dif de pallets (CLP)	-\$ 475.236.348	-\$ 451.474.531	-\$ 427.712.713
Impacto ambiental (KG)	2.014.972	1.914.223	1.813.474
Compra de pallets (CLP)	\$ 560.236.716	\$ 532.224.880	\$ 504.213.044

Tabla 6: "Resultados esperados por año"

Fuente: Elaboración propia

Esto es lo que se obtuvo al final de la pasantía:

KPI	Resultados al mes	
	Esperado	Resultados Obtenidos
Dif de pallets (CLP)	-\$ 37.622.878	-\$ 39.365.411
Impacto ambiental (KG)	159.519	161.917
Compra de pallets (CLP)	\$ 44.352.073	\$ 45.018.879

Tabla 7: "Resultados obtenidos en la actualidad"

Fuente: Elaboración propia

## 9. Conclusión

El proyecto en Soprole se ha enfocado en mejorar el manejo de los pallets para disminuir errores en el inventario, gastar menos en comprar pallets innecesariamente y ser más amigables con el medio ambiente.

Tras la selección de las soluciones, se desarrolló e implementó una aplicación móvil para el registro puntual y eficiente de los movimientos de pallets. Dicha aplicación, ya en funcionamiento, ha demostrado ser una herramienta valiosa para el seguimiento en tiempo real de los pallets en diferentes localizaciones, potenciando la exactitud y la transparencia del inventario.

En una acción paralela, se enfocaron esfuerzos en perfeccionar el modelo de inventario de pallets a través de métodos de optimización. El modelo ajustado ha conseguido reducir las compras de pallets significativamente, alcanzando un ahorro proyectado de \$45.018.879 CLP desde enero de 2024. Además, se han minimizado los costos totales del modelo de inventario de pallets a \$1.579.835.564 CLP entre los años 2024 y 2025. La implementación de la aplicación móvil en Puerto Montt ha permitido disminuir las diferencias de inventario de pallets en un 0,6%, equivalentes a \$39.365.411 CLP, y se anticipa que esta cifra disminuirá hasta un 6,6% con la expansión de la aplicación al resto de las regiones donde opera Soprole.

Aunque los objetivos específicos planteados inicialmente no se cumplieron en su totalidad, los logros obtenidos hasta la fecha marcan un progreso significativo hacia una operación más eficiente y ecológicamente sostenible para la empresa. La integración de la tecnología móvil con la optimización de procesos ha establecido un nuevo estándar en la gestión del inventario, afianzando el compromiso de Soprole con la excelencia operacional y la responsabilidad ambiental.

Este proyecto no solo ha generado avances tangibles en los procedimientos internos de Soprole sino que también subraya la dedicación de la empresa hacia la innovación y el desarrollo sostenido de soluciones que favorezcan simultáneamente la eficiencia operativa y el cuidado del medio ambiente. Las perspectivas a futuro son prometedoras, y se espera que con la implementación continua y la

mejora constante, todos los objetivos propuestos serán alcanzados, reforzando la posición de Soprole como líder en gestión ambiental y eficiencia operativa.

## 10. Referencias

Blasco Castagna, S., Castro, A., & Merello, J. (2020). Búsqueda de mejora en la logística de pallets de una multinacional de consumo masivo.

Gnoni, M. G., & Rollo, A. (2010). A scenario analysis for evaluating RFID investments in pallet management. *International Journal of RF Technologies*, 2(1), 1-21.

Argüeso, B. (2019). Maderea. Obtenido de Maderea: <https://www.maderea.es/la-huella-de-carbono-de-los-embalajes-de-madera/>

Vega Riquelme, C. E. (2020). Propuesta de mejora para la recuperación de pallets de madera en Smurfit Kappa de Chile SA (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello).

Lesmes Correa, J. D. (2021). Diseño de un modelo de logística inversa para la recolección y disposición final de las bandejas de carne de pollo.

Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0-0.

Jaramillo, H. A. L., Pinos, C. A. E., Sarango, A. F. H., & Román, H. D. O. (2023). Histograma y distribución normal: Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov aplicado en SPSS: Histogram and normal distribution: Shapiro-Wilk and Kolmogorov Smirnov applied in SPSS. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(4), 596-607.

## 11. Anexos

### Anexo 1: Correlación en RStudio de la demanda mensual de pallets

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
enero	1.0000000	0.7272727	0.9650350	0.9230769	0.8321678	0.5594406
febrero	0.7272727	1.0000000	0.8041958	0.6923077	0.9300699	0.8671329
marzo	0.9650350	0.8041958	1.0000000	0.9300699	0.9230769	0.6713287
abril	0.9230769	0.6923077	0.9300699	1.0000000	0.8671329	0.6993007
mayo	0.8321678	0.9300699	0.9230769	0.8671329	1.0000000	0.8741259
junio	0.5594406	0.8671329	0.6713287	0.6993007	0.8741259	1.0000000
julio	-0.9930070	-0.7202797	-0.9580420	-0.9020979	-0.8181818	-0.5244755
agosto	-0.8741259	-0.5594406	-0.8251748	-0.8531469	-0.6853147	-0.4405594
septiembre	-0.9440559	-0.6433566	-0.8951049	-0.9230769	-0.7622378	-0.5384615
octubre	-0.8321678	-0.5174825	-0.7902098	-0.8741259	-0.6853147	-0.4755245
noviembre	-0.6643357	-0.2587413	-0.6153846	-0.6433566	-0.4545455	-0.1328671
diciembre	-0.7622378	-0.4195804	-0.7132867	-0.7132867	-0.5804196	-0.2447552
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
enero	-0.9930070	-0.8741259	-0.9440559	-0.8321678	-0.6643357	-0.7622378
febrero	-0.7202797	-0.5594406	-0.6433566	-0.5174825	-0.2587413	-0.4195804
marzo	-0.9580420	-0.8251748	-0.8951049	-0.7902098	-0.6153846	-0.7132867
abril	-0.9020979	-0.8531469	-0.9230769	-0.8741259	-0.6433566	-0.7132867
mayo	-0.8181818	-0.6853147	-0.7622378	-0.6853147	-0.4545455	-0.5804196
junio	-0.5244755	-0.4405594	-0.5384615	-0.4755245	-0.1328671	-0.2447552
julio	1.0000000	0.8601399	0.9230769	0.8041958	0.6783217	0.7832168
agosto	0.8601399	1.0000000	0.9720280	0.9650350	0.8671329	0.8811189
septiembre	0.9230769	0.9720280	1.0000000	0.9370629	0.7622378	0.8041958
octubre	0.8041958	0.9650350	0.9370629	1.0000000	0.8531469	0.8671329
noviembre	0.6783217	0.8671329	0.7622378	0.8531469	1.0000000	0.9720280
diciembre	0.7832168	0.8811189	0.8041958	0.8671329	0.9720280	1.0000000

Imagen 22: "Correlación en RStudio de la demanda mensual de pallets"

Fuente: Elaboración propia en RStudio

## Anexo 2: Código RStudio para distribución normal y correlaciones

```
data <- read.csv(file.choose(), header=TRUE, sep = ";")
data.test <- shapiro.test(data$Demanda.Pallets)
print(data.test)

plotn <- function(data,main="Histograma de frecuencias \ny distribución normal",
                  xlab="X",ylab="Densidad") {
  min <- min(data$Demanda.Pallets)
  max <- max(data$Demanda.Pallets)
  media <- mean(data$Demanda.Pallets)
  dt <- sd(data$Demanda.Pallets)
  hist(data$Demanda.Pallets,freq=F,main=main,xlab=xlab,ylab=ylab)
  curve(dnorm(data$Demanda.Pallets,media,dt), min, max,add = T,col="blue")
}

plotn(data$Demanda.Pallets,main="Distribución de compra de pallets", xlab="Pallets", ylab = "Frecuencia")#Grafico de x

df_transpose <- data.frame(t(data[-1]))
MC <- cor(df_transpose)
MC
corrplot(MC)
```

*Imagen 23: “Código RStudio”  
Fuente: Elaboración propia en RStudio*

## Anexo 3: Código completo modelo matemático en Python

```
#Librerías necesarias
!pip install --upgrade pulp
!pip install pulp
!pip install openpyxl
import pandas as pd
from pulp import LpProblem, LpMinimize, LpVariable, lpSum, LpStatus,
value
from google.colab import drive

# Google Drive
drive.mount('/content/drive')

# Cargar datos desde el archivo Excel
ruta_excel =
'/content/drive/MyDrive/Pasantía/PlandeProduccionpallets.xlsx'
datos_resumen = pd.read_excel(ruta_excel, sheet_name='Resumen')

# Preparar los datos de pallets requeridos para todos los periodos
datos_resumen_cleaned = datos_resumen.drop(index=[0,
1]).reset_index(drop=True)
datos_resumen_cleaned =
datos_resumen_cleaned.drop(columns=datos_resumen_cleaned.columns[0])
periodos = datos_resumen.iloc[1, 1:].values
```

```
datos_resumen_cleaned.columns = periodos
datos_resumen_cleaned = datos_resumen_cleaned.apply(pd.to_numeric,
errors='coerce').fillna(0)

# Obtener los periodos relevantes
periodos_relevantes = [p for p in periodos if '242' in p or '252' in
p]
pallets_por_periodo =
datos_resumen_cleaned[periodos_relevantes].iloc[-1]

# Parámetros del modelo
costo_compra = 7586
costo_mantenimiento = 366
costo_recuperacion = 460
porcentaje_retorno = 0.86
inventario_seguridad = 4000
inv_maximo = 50000

# Creación del modelo de optimización
modelo = LpProblem("Optimizacion_Inventario_Pallets", LpMinimize)

# Variables de decisión para cada periodo
S_inicial = LpVariable.dicts("Stock_Inicial", periodos_relevantes,
lowBound=0, cat='Continuous')
S_final = LpVariable.dicts("Stock_Final", periodos_relevantes,
lowBound=inventario_seguridad, upBound=inv_maximo, cat='Continuous')
P = LpVariable.dicts("Compras", periodos_relevantes, lowBound=0,
cat='Continuous')
R = LpVariable.dicts("Retornos", periodos_relevantes, lowBound=0,
cat='Continuous')

# Restricción para el inventario inicial en el primer período
primer_periodo = periodos_relevantes[0]
modelo += S_inicial[primer_periodo] == 23300

# Función objetivo
modelo += lpSum(costo_compra * P[t] + costo_mantenimiento * S_final[t]
+ costo_recuperacion * R[t] for t in periodos_relevantes)

# Restricciones
for i, t in enumerate(periodos_relevantes):
```

```
demanda_pallets = pallets_por_periodo[t]

# Retornos
modelo += R[t] == pallets_por_periodo[t] * porcentaje_retorno

# Establecer el stock inicial para cada periodo
if i == 0:
    modelo += S_inicial[primer_periodo] == 23300
else:
    t_prev = periodos_relevantes[i-1]
    modelo += S_inicial[t] == S_final[t_prev]

# Balance de inventario
modelo += S_final[t] == S_inicial[t] + P[t] - demanda_pallets +
R[t]

# Compras para satisfacer la demanda neta
demanda_neta = demanda_pallets - S_inicial[t] - R[t]
modelo += P[t] >= demanda_neta
modelo += P[t] >= 0 # Compras no negativas

# Restricciones de inventario mínimo y máximo
modelo += S_final[t] >= inventario_seguridad
modelo += S_final[t] <= inv_maximo

# Resolver el problema y calcular el costo total
modelo.solve()
estado_solucion = LpStatus[modelo.status]
costo_total_calculado = value(modelo.objective)

# Almacenar los resultados
resultados = []
for t in periodos_relevantes:
    resultados.append({
        "Periodo": t,
        "Pallets Necesarios": pallets_por_periodo[t],
        "Stock Inicial": S_inicial[t].varValue,
        "Compras": P[t].varValue,
        "Retornos": R[t].varValue,
        "Stock Final": S_final[t].varValue,
        "Costo de Compra": costo_compra * P[t].varValue,
```



```
        "Costo de Mantenimiento": costo_mantenimiento *
S_final[t].varValue,
        "Costo de Recuperación": costo_recuperacion * R[t].varValue
    })

# Agregar costo total al final de los resultados
resultados.append({"Periodo": "Total", "Costo Total":
costo_total_calculado})

# Convertir los resultados a un DataFrame de Pandas y guardar en Excel
df_resultados = pd.DataFrame(resultados)
ruta_guardado_excel =
'/content/drive/MyDrive/resultados_optimizacion_pallets.xlsx'
df_resultados.to_excel(ruta_guardado_excel, index=False)

print(f"Resultados guardados en: {ruta_guardado_excel}")
print(f"Estado de la solución: {LpStatus[modelo.status]}")
print(f"Costo total: {value(modelo.objective)}")
```

#### Anexo 4: Aplicaciones de regiones

**Nuevo Registro**

Usuario  
Luis Felipe Carrasco Vallejos

\* Fecha y hora  
31/12/2001 00:00



\* ¿Ingreso o salida?  
Buscar elementos

\* Origen  
No condicionar en este ítem paradas intermedias  
Buscar elementos

\* Carga  
Buscar elementos

\* Sociedad de Transporte o Proveedor

Imagen 24: "App guardias Soprole 1"  
Fuente: Elaboración propia en Powerapps

 **Nuevo Registro** 

\* **Patente Rampla**

\* **Número Interno SAP**

Aplica a rampla con guía y sello

\* **Número guía**



Aplica a ventas de pallets y bandejas, así como ingreso de pallets reparados

\* **Orden de compra**


Aplica a proveedores de pallets y bandejas


\* **Número de sello**

Imagen 25: "App guardias Soprole 2"  
Fuente: Elaboración propia en Powerapps

 **Nueva Salida** 

**Usuario**  
Luis Felipe Carrasco Vallejos

**\* Fecha Salida**  
 

**\* Origen**  
 


**\* Sociedad de Transporte**

**\* Patente rampla**

**\* Número Sello**

**\* Número SAP Envases a San Bernardo**

*Imagen 26: "App regiones Soprole 1"*  
*Fuente: Elaboración propia en Powerapps*

**Nueva Salida**

\* Patente rampla

\* Número Sello

\* Número SAP Envases a San Bernardo

\* Número SAP Envases a Renca

\* Número SAP Desguaces a San Bernarndo

\* Número SAP Desguaces a Renca

\* Número SAP Producto Bueno a Renca

*Imagen 27: "App regiones Soprole 2"*  
*Fuente: Elaboración propia en Powerapps*