

## PROYECTO DE PASANTÍA

Realizado en el área de Procurement de NotCo

---

### ***Optimización del proceso adquisitivo para el abastecimiento de materias primas en NotCo***

---

*Pascal Strongman Toledo*

*Proyecto para optar al título de Ingeniero Civil Industrial con mención en Tecnologías de la Información en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez*

04/12/23

## Resumen Ejecutivo

El siguiente proyecto se llevó a cabo en el área de Adquisición de NotCo, empresa que mediante la Inteligencia Artificial crea productos alimenticios en base a plantas. El área se enfoca en la planificación y gestión de la adquisición de materias primas esenciales para la producción. El problema identificado fue la cantidad excesiva de lotes de materias primas que experimentaban vencimientos mientras estaban almacenadas, resultando en pérdidas financieras innecesarias, conocidas como Write Off. Este término contable se refiere a la pérdida de valor de los activos, en este caso, las materias primas.

El objetivo principal fue minimizar la cantidad de lotes vencidos debido a una gestión imprecisa de compras, una de las principales causas de Write Off junto con variaciones en las proyecciones de demanda, cambios en el listado de materiales y lotes mínimos de compra mayores al consumo. La investigación reveló que los saborizantes representaban la mayor proporción en el Write Off anual, y, por ende, se aplicó la solución a este grupo en particular.

Para lograr estos objetivos, se optó por implementar un modelo de programación lineal. Este modelo, al recibir parámetros previamente definidos, minimizó la variable de planificación de compra, determinando cuándo y cuánto comprar de cada material.

La implementación del modelo de programación resultó en un aumento del 5,8% en la precisión de las compras de saborizantes para los meses de noviembre y diciembre de 2023. Además, se logró una disminución del promedio de días de inventario en un 33%, reduciendo de 90 a 67 días.

En conclusión, la solución impactó positivamente en los objetivos específicos relacionados con la precisión en la compra, abordando una de las principales causas de vencimientos. Sin embargo, se reconoce que la medición directa del Write Off se dificultó, ya que los impactos de la gestión de compras (lotes vencidos) pueden tardar tiempos prolongados en revelarse.

**Palabras clave:** Programación lineal, Vencimientos, Adquisición, Optimización, Materias Primas.

## Abstract

The following project was conducted within the Procurement division of NotCo, a company that uses Artificial Intelligence to create plant-based food products. Procurement focuses on the planning and management of acquiring essential raw materials for production. The identified issue was the excessive number of raw material batches experiencing expiration while in storage, resulting in unnecessary financial losses, referred to as Write Off. This accounting term denotes the depreciation of assets within a company, in this case, raw materials.

The primary objective was to minimize the number of expired batches due to imprecise procurement management, one of the main causes of Write Off, alongside variations in demand projections, changes in the materials list, and batches exceeding consumption. Research revealed that flavors represented the highest proportion in the annual Write Off; consequently, the solution was specifically applied to this group.

To achieve these goals, the decision was made to implement a linear programming model. This model, when given predefined parameters, minimized the procurement planning variable, determining when and how much to purchase of each material.

The implementation of the programming model resulted in a 5,8% increase in the accuracy of flavor purchases for the months of November and December 2023. Additionally, there was an average reduction of inventory days by 33%, decreasing from an initial value of 90 to 67 days.

In conclusion, the solution had a positive impact on specific objectives related to purchasing accuracy, addressing one of the main causes of expiration. However, it is acknowledged that the direct measurement of Write Off was challenging, as the impacts of procurement management (batches expired) may take prolonged time to manifest.

**Keywords:** Linear programming, Expirations, Procurement, Optimization, Raw Materials.

## ÍNDICE

1. Introducción .....	5
a) Contexto de la empresa .....	5
b) Contexto de la problemática .....	7
c) Análisis de causas .....	12
2. Objetivos .....	15
a) Objetivo general .....	15
b) Objetivos específicos .....	15
c) Medidas de desempeño .....	16
3. Estado del Arte .....	17
4. Solución .....	23
a) Soluciones propuestas .....	23
b) Solución escogida .....	23
c) Riesgos y Mitigaciones .....	24
5. Evaluación Económica .....	26
6. Metodología .....	28
7. Desarrollo del Proyecto .....	29
8. Resultados .....	32
9. Conclusión .....	36
a. Discusión .....	37
10. Referencias .....	38
11. Anexos .....	40

## 1. Introducción

### a) Contexto de la empresa

NotCo es una innovadora empresa emergente que ha revolucionado la industria de alimentación con su enfoque disruptivo en la creación de alimentos basados en plantas. Su misión es clara: transformar la industria de la alimentación, ofreciendo alternativas sostenibles a los productos de origen animal utilizando la inteligencia artificial. Con la ayuda de inversionistas a nivel global, han podido crecer hasta el punto de considerarse una de las mejores empresas unicornios en Latinoamérica y dentro de las 50 empresas más innovadoras del mundo para el año 2021 (Diario Financiero).

La empresa cuenta con un algoritmo de inteligencia artificial llamado *Giuseppe*, que es capaz de aprender miles de combinaciones de plantas para replicar de la mejor manera posible productos de origen animal. Giuseppe utiliza algoritmos y aprendizaje automático para analizar la composición molecular de los ingredientes de origen vegetal y diseñar combinaciones que repliquen de manera precisa la textura, el sabor y la funcionalidad de los productos tradicionales basados en animales. Para ello, Giuseppe embarca en una búsqueda profunda dentro de un reino vegetal para encontrar las mejores plantas y materias primas necesarias que en conjunto llegarían a la creación de los productos NotCo. Giuseppe logra aprender de los errores históricos, desarrollándose para finalmente obtener una fórmula más precisa, accesible y escalable (Diario La República).

Dentro del área de Operaciones, cinco subáreas operan bajo un marco dinámico e interactivo para cumplir con los objetivos diarios. Como se observa de la Figura 1, actualmente el área de Adquisición de Insumos o Procurement, trabaja con una planilla con registro de todas las materias primas, materiales de empaquetado y los distintos productos terminados. La planilla (llamada Base Planning) da registro del inventario (stock, en inglés) actualizado semanalmente, demanda proyectada y la cantidad de cajas que se venderán a los distintos clientes, junto con cifras actualizadas del stock liberado, stock vencido, stock retenido por calidad, el consumo semanal que tendrá cada material y días de inventario (DOH, por sus siglas en inglés) que se tienen actualmente en bodega.

## Diagrama de Flujo: Operaciones



Figura 1. Diagrama de Flujo - Operaciones. Elaboración propia.

Procurement debe mantener relaciones con cerca de 40 proveedores y por ende gestionar y planificar cerca de 200 insumos. Dicho esto, se produce una serie de problemáticas tanto para el equipo como para el negocio. En primer lugar, implica un cuello de botella para el proceso de manufactura ya que, si no se presenta una materia prima, por más mínimo que sea su consumo, no se podrá efectuar dicho proceso, afectando directamente a la productividad del negocio. Luego, debido a una multitud de factores se puede generar sobrestock, vencimientos y finalmente, un “Write Off”. En contabilidad, se denomina Write Off al activo que por una serie de razones perdió su valor y debe anularse. Para el caso del inventario de una empresa, el Write Off puede darse ante la generación de mermas, robos, pérdidas en tránsito, discontinuaciones y vencimientos.

## b) Contexto de la problemática

El Write Off en NotCo se clasifica en cuatro partes, en vencimientos, en discontinuaciones; cuando un insumo se deja de consumir ya que se encontró un reemplazo más productivo, en “scrapping”; cuando se genera una merma durante el proceso productivo y finalmente cuando un producto o insumo sufre daños físicos y por ende pierde funcionalidad. De la Figura 2 adjunta, se observan dichos motivos valorizados tanto de materias primas como de material de empaquetado.

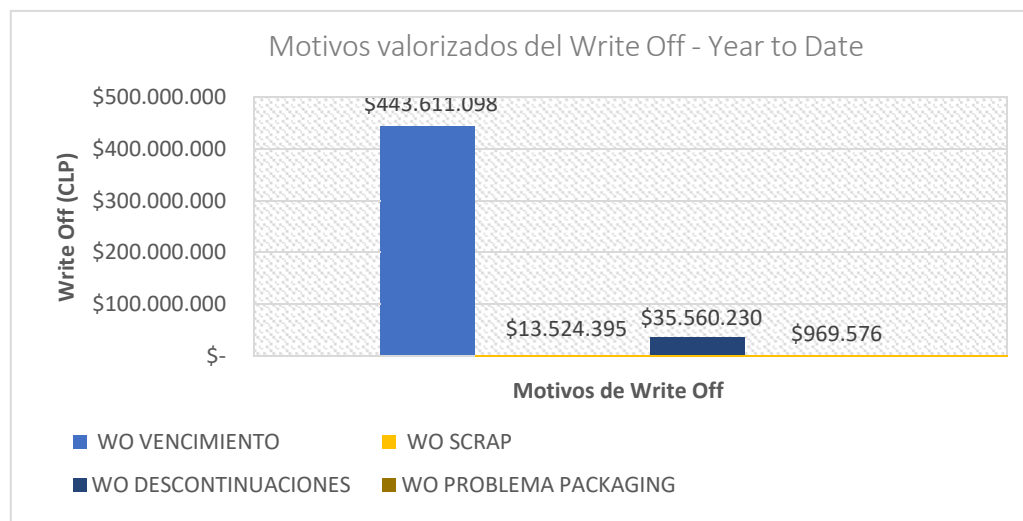


Figura 2. Gráfica motivos valorizados del Write Off para todo insumo - YTD. Elaboración propia.

Uno de los mayores problemas en la empresa hoy en día son los vencimientos generados en materias primas, representando un 88% del Write Off total *Year To Date* (YTD), mientras que los materiales de empaquetado forman el 12% restante del total observado en la Figura 2. No existe actualmente Write Off de productos terminados puesto que estos se terminan liquidando antes de que expire su vida útil. Este 88% de materias primas vencidas equivale aproximadamente a CLP \$430MM hasta la fecha. Ahora bien, considerando que el Write Off de materias primas vencidas de septiembre hasta diciembre del presente año se proyectó en CLP \$226MM (figurado en la Tabla 2), para todo el 2023 se finalizaría con un total de CLP \$656MM.

Simultáneamente, se tiene que los ingresos netos de NotCo en Chile los últimos 12 meses sumaron aproximadamente USD \$21MM y por ende se concluye que lo anterior se traduce en un 3,45% de Write Off en materias primas conjunto a las ventas del negocio, considerándose entonces mayor al valor ideal que buscan las empresas, especialmente emergentes, entre 1% a 2%.

Posteriormente, se realizó un análisis con respecto al tipo de materia prima con los que trabaja el área de Operaciones y cómo cada tipo se comporta conforme al Write Off. De esta manera, se segregó la amplia categoría de materias primas para así encontrar relaciones internas al contexto de la problemática. Dicho esto, a partir del estudio del Write Off ocasionado por materias primas vencidas, se encontró que los saborizantes o “Flavors” que se utilizan en la mayoría de las categorías de productos, aportaban en mayor cantidad a la suma total del WO YTD.

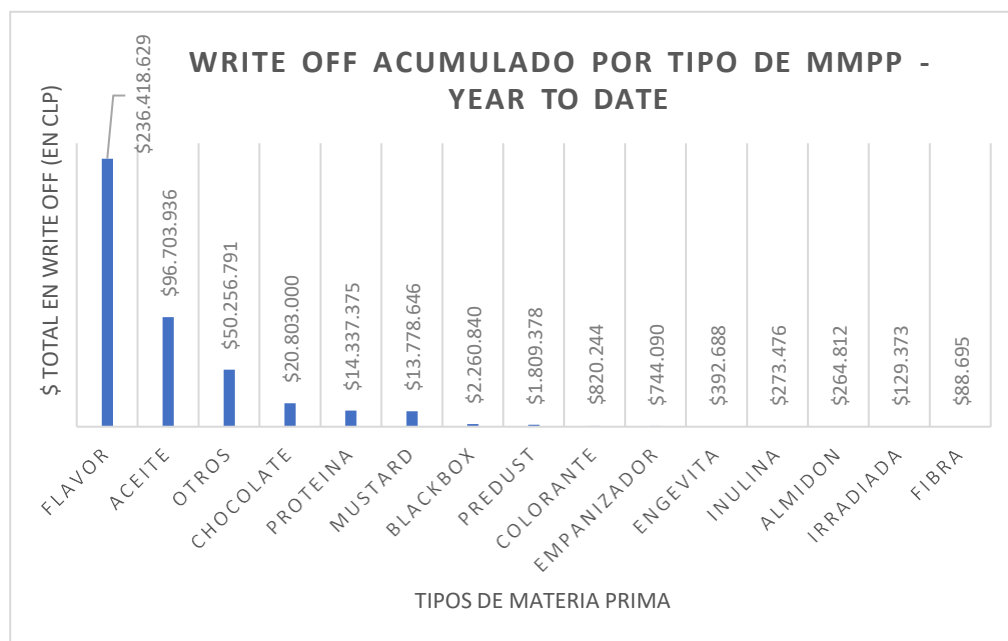


Figura 3. Gráfica Write Off acumulado por tipo de materia prima – YTD. Elaboración propia.



Como se observa en la Figura 3, los vencimientos ocasionados por el tipo de materia prima “Flavor”, desde enero hasta septiembre 2023, generaron aproximadamente CLP \$236MM de un total de \$430MM. Como se observa en la Tabla 1, los saborizantes componen el 55%, es decir, más de la mitad del Write Off corresponde a este grupo. Seguido por un 22% en los “Aceites” y un 11% en “Otros”. Los restantes tipos de materia prima al tomar valores tan bajos no irían a tener una implicancia relevante para el contexto de la problemática del Write Off. Estos resultados demostraron que los saborizantes han causado y estarían causando en el futuro las mayores pérdidas de dinero para el negocio y por lo tanto se concluye que sería adecuado enfocar el proyecto y la solución en este segmento particular.

TIPOS	\$ TOTAL EN W.O (CLP)	% del total
FLAVOR	\$ 236.418.629	54,98%
ACEITE	\$ 96.703.936	22,49%
OTROS	\$ 50.256.791	11,69%
CHOCOLATE	\$ 20.803.000	4,84%
PROTEINA	\$ 14.337.375	3,33%
MUSTARD	\$ 13.778.646	3,20%
BLACKBOX	\$ 2.260.840	0,53%
PREDUST	\$ 1.809.378	0,42%
COLORANTE	\$ 820.244	0,19%
EMPANIZADOR	\$ 744.090	0,17%
ENGEVITA	\$ 392.688	0,09%
INULINA	\$ 273.476	0,06%
ALMIDON	\$ 264.812	0,06%
IRRADIADA	\$ 129.373	0,03%
FIBRA	\$ 88.695	0,02%

Tabla 1. Dinero total en WO por tipo de materia prima. Elaboración propia.

Profundizando, se analizaron los comportamientos de las 38 materias primas vigentes (Anexo A) que componen este grupo haciendo uso de la “Base Planning Week 40”, la cual otorga información específica de cada tipo de materia prima, tales como los días de inventario promedio, los lotes mínimos promedio, los vencimientos históricos y vencimientos futuros

promedio. En primer lugar, se decidió por estudiar los DOH de la semana en cuestión para cada tipo de materia prima, promediando el valor para cada insumo perteneciente a un grupo. Para este cálculo, se eliminaron todas las llegadas de material que estaban programadas a futuro para que de esta manera se pudiera tener una visión clara acerca de la cobertura actual de cada distinto grupo.

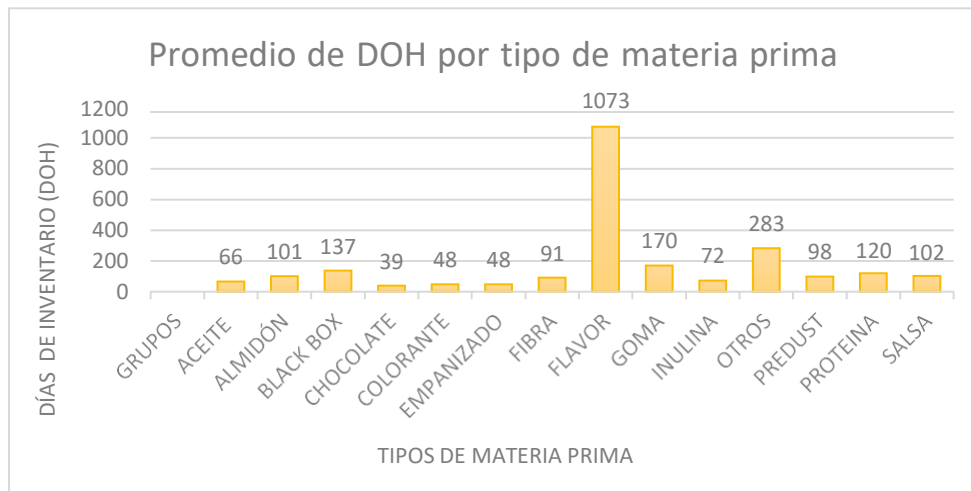


Figura 4. Gráfica DOH promedio por tipo de materia prima. Elaboración propia.

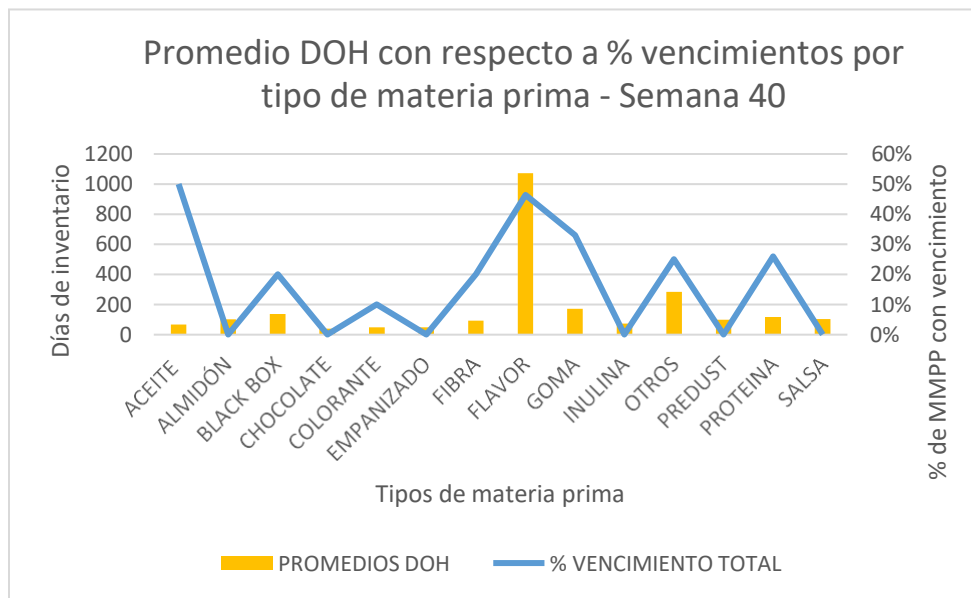


Figura 5. Gráfica promedio DOH versus porcentaje de vencimiento por tipo. Elaboración propia.

Examinando la Figura 4, los DOH de las materias primas pertenecientes al grupo de saborizantes superaron por gran diferencia al resto. Se evidencia claramente un problema, puesto que se desea idealmente que el stock ronde constantemente los 40 días de inventario en promedio para este tipo de insumo. Como algunos son importados, se da mayor flexibilidad en la cobertura y se esperan en algunos casos 60 días. No obstante, las cifras actuales sobrepasan en gran magnitud lo que se espera como política de inventario y por ende se trata de un caso crítico que afecta directamente al negocio.

De la Figura 5 se observó una relación entre los DOH de cada distinto tipo de materia prima y la cantidad de materias primas que tuvieron y/o tendrán un vencimiento futuro con respecto al total de insumos pertenecientes a un grupo, expresado como un porcentaje. Por ejemplo, “Black Box” contiene 2 materias primas que tuvieron lotes vencidos en el pasado y al mismo tiempo, contiene una tercera materia prima con un vencimiento futuro proyectado (con respecto a la semana 40). Por lo tanto, de un total de 15 materias primas que forman el grupo, 3 tuvieron vencimientos o tendrán vencimientos futuros, reflejando entonces un 20%.

Fundamentalmente, los saborizantes, con un total de 38 materias primas, reflejaron un 45% en esta métrica, coincidiendo con los altos días de inventario de dicho grupo y, por ende, pudiéndose declarar los altos DOH y el sobre stock como causa principal de los vencimientos.

En resumen, la problemática se tiene en que los saborizantes conforman un 55% del Write Off de materias primas vencidas hasta el momento y un 42% si se considera además la proyección hasta diciembre de 2023, la cual se puede explicar por una imprecisa política de compra causante de altos días de inventario y por ende sobre stock.

Categoría / Meses	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total General
Proteína			\$ 18.896.093	\$ 73.302.843	\$ 92.198.936
Flavor	\$ 2.806.252	\$ 6.138.547	\$ 31.196.890	\$ 112.451	\$ 40.254.139
Black Box		\$ 1.142.387	\$ 15.860.908	\$ 11.413.342	\$ 28.416.636
Otros	\$ 3.710.892	\$ 9.213.148	\$ 3.749.801	\$ 11.372.071	\$ 28.045.912
Goma	\$ 11.006.440			\$ 1.442.143	\$ 12.448.583
Empanizado		\$ 9.090.291	\$ 475.060	\$ 47.506	\$ 9.612.857
Aceite	\$ 548.198	\$ 5.674.320	\$ 921.908		\$ 7.144.426
Predust	\$ 5.068.668				\$ 5.068.668
Irradiada	\$ 1.097.483	\$ 389.529		\$ 647.253	\$ 2.134.265
Colorante	\$ 571.393				\$ 571.393
Total General	\$ 24.809.326	\$ 31.648.221	\$ 71.100.659	\$ 98.337.609	\$ 225.895.815

Tabla 2. Write Off proyectado hasta fines de 2023 por tipo de materia prima. Elaboración propia.

### c) Análisis de causas

Las causas principales de por qué estos saborizantes tienden a vencer son variadas, donde algunas son internas al área de compras y la gestión que se lleva a cabo, mientras que otras son externas al área y dependen de factores que son incontrolables. Las siguientes causas fueron obtenidas analizando y observando cualitativamente tanto tendencias históricas como actuales que afectaban a la operación y luego fueron cuantificadas utilizando representativamente los saborizantes con mayor proporción en el Write Off actual. Como se observa en la Figura 7, se le puede atribuir a la problemática 4 distintas causas principales:

1. Cambios de fórmulas (variación en proporciones del consumo)
2. Diferencias considerables en las proyecciones (y/o imprevistas).
3. Lotes mínimos de compra mayores a los consumos.
4. Compras imprecisas/excesivas (vinculadas a una gestión manual).

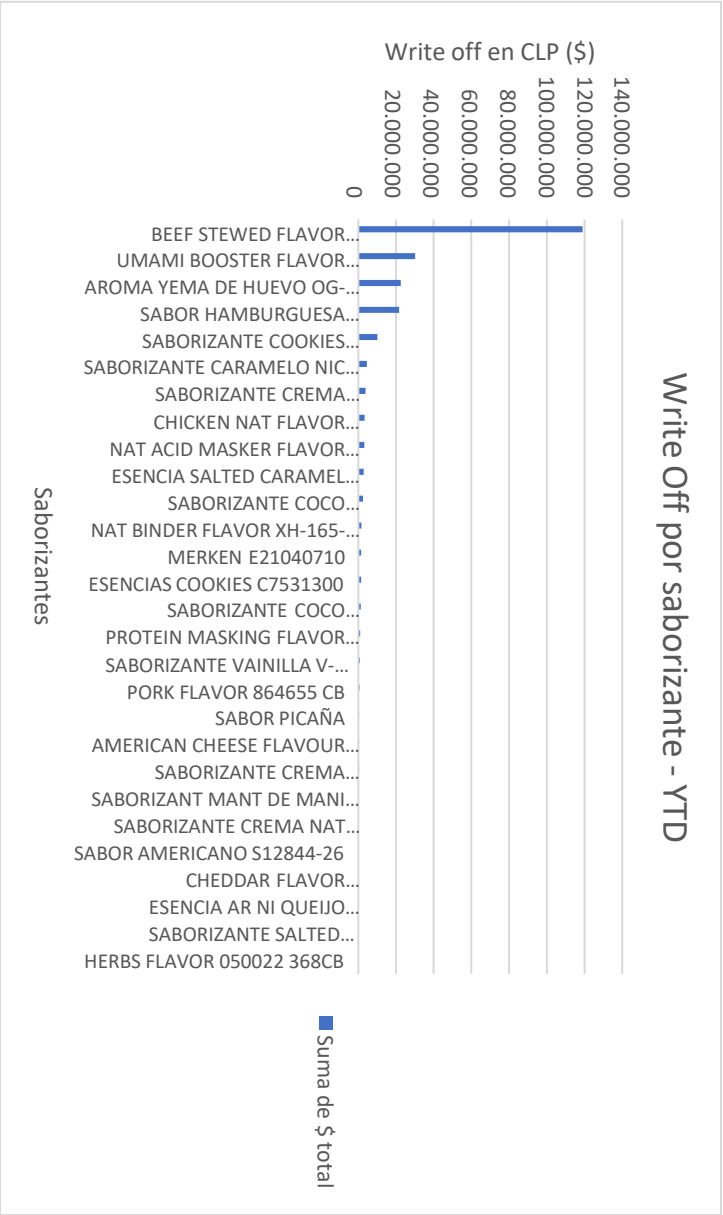


Figura 6. Write Off por cada saborizante - YTD. Elaboración propia.

Análisis de Causas					
Problema	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Acciones
Actualmente, el Write Off YTD de la empresa se compone por un 88% de materias primas vencidas, de las cuales un 55% corresponde a saborizantes y 42% considerando hasta diciembre 2023.	Cambio de fórmula o discontinuación.	Decisiones estratégicas a nivel de negocio.	Decisión traerá mayores ingresos al costo generado.		
	Variaciones en las proyecciones.	Forecast impreciso.	Dificultad al medir el comportamiento del mercado.	Naturaleza de mercado sensible y variable.	Mantener DOH estables.
	Compra excesiva o Imprecisa.	Dificultad para calcular compra en base a multitud de factores.	Comprar lotes grandes versus lotes pequeños.	Costos asociados a fletes versus a vencimientos.	Aumentar eficiencia en la compra.
	MOQ mayor al consumo.	MOQ establecido previamente con proveedores.	Medida para mantener relaciones sanas.		Negociar MOQs más bajos.

Figura 7. Análisis Causal Vencimientos Saborizantes. Elaboración propia.

Analizando la Figura 6, se observan aquellos saborizantes que más aportan al Write Off que sufre la empresa hoy en día. Se analizaron las causas de las 10 primeras materias primas por orden decreciente en el WO, correspondiente a un 94%.

En primer lugar y con una excesiva proporción, se tuvo la materia prima “Beef Stewed Flavor” cuya principal razón de vencimiento fue la baja considerable en la proyección de venta de la categoría NotMeat Molida. Se trata de un factor extrínseco a la operación y que afecta al negocio directamente puesto que muchas de las compras se efectúan considerando las proyecciones, reflejando un 50,4% del Write Off en saborizantes vencidos. Este caso, si bien es el de mayor proporción, se trata de una anomalía debido a que es ligado directamente con insatisfacciones en el mercado y por ende desviaciones en las proyecciones iniciales.

Luego, para los casos de “Umami Booster Flavor” y “Aroma Yema de Huevo”, que reflejaron más de un 23,8%, fueron causados por una compra excesiva e imprecisa en el momento. Este valor representa también el error humano. La precisión, en este caso, se refiere a qué tanto de lo que se compra y lo que está en inventario se está consumiendo, siendo una mayor precisión mas favorable en términos de mayor productividad y menores costos.

Para el caso del “Sabor Hamburguesa”, se generó un WO debido a que se vio afectado tras un cambio en la fórmula siendo reemplazado por otro insumo, reflejando un 9,2% con respecto al Write Off de saborizantes vencidos.

Los demás saborizantes, como algunos pertenecientes a la categoría NotIceCream, un gran motivo de sus vencimientos fue debido a una diferencia entre el consumo requerido y el MOQ, donde este último usualmente se encontraba entre los 20 KG a 30 KG, mientras que los consumos eran de tan solo 1 KG por mes en reiterados casos. Esta causa de vencimientos reflejó un 10,6%.

## 2. Objetivos

### a) Objetivo general

Eficientizar la compra de saborizantes a finales de 2023 con el fin de reducir los posibles vencimientos futuros de 2024, finalmente disminuyendo el Write Off total de saborizantes (con respecto a los ingresos de los últimos 12 meses) de 1,46% a 1,2% a modo de eliminar el WO asociado a la compra imprecisa.

### b) Objetivos específicos

- Aumentar la precisión de compra de saborizantes en un 5%, de modo que lo que se compre se consuma en mayor proporción. La precisión se refiere a qué tanto de lo que se necesita para producir se asemeja a lo que se está comprando, considerando todas las restricciones y parámetros del problema.
- Disminuir la cantidad de días de inventario promedio que hay actualmente en los saborizantes y mantener una gestión de inventario más controlada. Se espera disminuir esta métrica en un 20%.

### c) Medidas de desempeño

Para la correcta medición del proyecto, se utilizaron tres principales medidas de desempeño asociadas a los objetivos y a la metodología anteriormente mencionadas. En primer lugar, para la medición del objetivo general se utilizó el Write Off, que entrega información directa de todos los lotes de insumos que han sufrido vencimientos en la bodega o lotes que tendrán vencimientos futuros. En segundo lugar, se utilizaría como medida la precisión en las compras, es decir, cuánto de lo que se está comprando realmente se consume en las plantas. Finalmente, se utilizaron los días de inventario y el cumplimiento de la política como medición, la cual se desea entre los 40 días aproximadamente para materias primas nacionales y 60 días para las importadas.

A continuación, el cálculo respectivo:

- **Write Off** = Sumatoria de los valores de lotes de insumos que sufrieron vencimientos.
- **Precisión Compras** =  $\text{Cantidad Consumida} / (\text{Cantidad Comprada} + \text{Stock Actual})$
- **DOH** =  $\text{Stock Inicial} / (\text{Promedio Consumo Semanal proyectado}) * 7$



### 3. Estado del Arte

Para una correcta implementación del proyecto, se llevó a cabo una investigación sobre cómo se han resuelto problemáticas similares a las de NotCo, pero en la industria. Se encontraron tres posibles soluciones similares que buscaban corregir ineficiencias, sobrecostos y sobrestock ocasionados por una gestión de MRP imprecisa y con oportunidad de mejora en el proceso. En primer lugar, el primer estudio se refiere a un caso en donde se buscó diseñar e implementar un plan de optimización para el proceso de requerimiento de materiales en la empresa Embotelladora de Bebidas del Tolima S.A, Colombia. Los estudiantes que llevaron a cabo el proyecto dieron cuenta de la necesidad de combatir las pérdidas y deficiencias al dar claridad absoluta sobre los procesos y las áreas involucradas en la compra, buscando una variedad de estrategias, con sus respectivas problemáticas, medidas de intervención y objetivos. Las estrategias se citan como sigue:

1. “Desarrollar y actualizar sus productos para que cumplan la normativa nacional y puedan cubrir las necesidades de los consumidores de consumir productos más funcionales y con menos azúcar.
2. Estandarización de manuales y procedimientos: La falta de estandarización de los procesos de algunas áreas como compras, inventarios, logística y producción permite que las actividades conjuntas no sean eficientes y propicien errores de interpretación de los procesos y de las responsabilidades que terminan generando retrasos en consecución de materias primas, de planes de producción, de entrega de información y que al final afecta a toda la empresa.
3. Mejorar la infraestructura física para el almacenamiento de materias primas y producto terminado.
4. Elaborar e implementar contratos de abastecimiento con los proveedores donde incluya acuerdos de calidad y administración de inventarios.
5. Adquirir e implementar el uso de un sistema informático ERP que permita integrar la información de todas las áreas de la compañía.”

(Suárez, Cárdenas y Torres, 2021)

A cada estrategia se le asoció un plan de acción para resolver una problemática particular y cumplir con los objetivos, complementariamente optimizando el proceso adquisitivo. La ventaja de este método es que permite abarcar y solucionar el problema desde distintas perspectivas y por ende de una forma más completa en caso de que la solución precisa no esté tan clarificada en un principio. En el caso de NotCo, como se tratan de causas internas y externas al área, realizar un plan global de optimización podría resultar beneficioso puesto que la solución al problema podría abarcarse tanto interna como externamente. Sin embargo, una desventaja es el hecho de que la implementación es un proceso lento que tomaría meses de principio a fin, tiempos que no se alinean con las dinámicas de algunas empresas, como es el caso de NotCo.

Luego, el segundo caso de estudio se basa en una “propuesta de estandarización de la gestión de inventarios mediante un modelo de programación lineal de acuerdo con la planeación de la demanda para la empresa CS ELECTRONICS S.A.S.” (Rodríguez, 2014). La propuesta tenía el objetivo de optimizar los niveles de inventario, aumentando la rotación de productos y la liquidez de la empresa. Para esto, el autor implementó un modelo de inventarios mediante una programación lineal. Considerando los costos de ordenar, costos unitarios, costos de oportunidad de no satisfacer la demanda y costos de mantención, el autor propuso lo siguiente:

### Conjuntos

***K***: Periodos

***I***: Productos

### Parámetros

***D<sub>ik</sub>***: Pronóstico del producto *i* en el periodo *k*

***C<sub>i</sub>***: Costo unitario del producto *i*

***M<sub>i</sub>***: Costo de mantener el producto *i*

***O***: Costo de ordenar

***E<sub>i</sub>***: Costo de oportunidad o de escasez del producto *i*

***Ini<sub>i</sub>***: Inventario inicial del producto *i*

### Variables

***X<sub>ik</sub>***: Cantidad de unidades del producto *i* que se pedirá en el periodo *k*

***Y<sub>ik</sub>***: Inventario inicial del producto *i* en el periodo *k*

***S<sub>i</sub>***: Capacidad máxima del producto *i*

Figura 8. Parámetros y variables del modelo. Elaborado por Rodríguez, 2014.

***W***: Variable de tipo binario  $\left\{ \begin{array}{l} 1: \text{Si se realiza un pedido} \\ 0: \text{Si no se realiza un pedido} \end{array} \right\}$

Figura 9. Variable de tipo binaria. Elaborado por Rodríguez, 2014.

Una vez definidos los conjuntos, parámetros y variables, el autor presentó la función objetivo, explicándose como la minimización de la suma de los costos anteriormente señalados.

$$\text{Min: } \sum_{k \in K} O(W_k) + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C_i(X_{ik}) + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} M_i(Y_{ik}) \quad \forall k > 1$$

Figura 10. Función objetivo del modelo. Elaborado por Rodríguez, 2014.

Las restricciones se definen y explican en la siguiente figura:

$$Y_{ik-1} + X_{ik} - D_{ik} = Y_{ik} \quad \forall i \text{ en productos}, k \text{ en periodos } \wedge k > 1$$

Aquí se asegura que el inventario inicial de un periodo es la suma del inventario inicial del periodo anterior y la cantidad de pedido en el periodo actual menos la demanda del periodo actual.

$$Y_{ik-1} + X_{ik} \geq D_{ik} \quad \forall i \text{ en productos}, k \text{ en periodos } \wedge k > 1$$

Con esta restricción se asegura que siempre la demanda sea satisfecha. Ya que cuando  $k$  es mayor a uno la suma del inventario inicial del producto más la cantidad que se pidió sea igual o mayor a la demanda.

$$Y_{i1} = Ini_i \quad \forall i \text{ en productos}$$

En esta restricción se hace que el inventario inicial del primer periodo sea igual a los datos de entrada en este periodo.

$$X_{i1} = 0 \quad \forall i \text{ en productos}$$

Con esta restricción se hace que la cantidad a pedir en el primer periodo sea nula, ya que este es el periodo de Diciembre 2013.

$$X_{ik} \leq S_i \quad \forall i \text{ en productos } \wedge k \text{ en periodos}$$

Con esta restricción se busca que la cantidad pedida de cierto tipo de producto sea menor o igual a la cantidad óptima de pedido  $S_i$ .

Figura 11. Restricciones del modelo. Elaborado por Rodríguez, 2014.

Estos modelos de programación lineal tienen la ventaja de que pueden modificarse detalladamente de acuerdo con las diversas necesidades que pueden tener las empresas y por ende las restricciones del problema permiten generar esta diferenciación. Al mismo tiempo, pueden modelarse rápidamente para su ejecución posterior y comenzar a producir resultados de eficiencia en tiempos acotados. Este caso se centra rotundamente en la gestión de inventarios, la cual es imprescindible considerar para mantener alta rotación y evitar sobrestock.

Finalmente, en un último estudio analizado, se aplicó un modelo matemático de programación lineal en la empresa “Carrocerías M&L”, Ecuador, para la correcta gestión y compra de 147 insumos, buscando reducir costos de pedidos y minimizando el inventario. Para esto, el autor comenzó detallando los parámetros y variables de decisión a utilizar:

Índices	
$T$ Conjunto de períodos durante el horizonte de planificación ( $t = 1 \dots T$ )	
$I$ Conjunto de productos ( $i = 1 \dots I$ )	
$J$ Conjunto de productos padre en la lista de materiales ( $j = 1 \dots J$ )	
Variables de Decisión	Datos
$x_{it}$ Cantidad a producir del producto $i$ en el período $t$	$d_{it}$ Demanda del producto $i$ en el período $t$
$INVT_{it}$ Inventario del producto $i$ al final del período $t$	$\alpha_{ij}$ Cantidad requerida de $i$ para producir una unidad del producto $j$
Coefficientes de costo en la función objetivo	$TS_i$ Tiempo de suministro del producto $i$
$cp_i$ Costo de pedir una unidad del producto $i$	$INVT_{i0}$ Inventario del producto $i$ en el período
$H_i$ Costo de mantener inventario de una unidad del producto $i$	$E_i$ Exactitud de inventarios = inventario real / inventario teórico
	$M$ un valor muy grande

Figura 12. Parámetros y variables del modelo. Elaborado por Cáceres, 2014.

Luego, utilizando la tabla de la figura adjunta, prosiguió a modelar el problema de la siguiente manera:

$$\min Z = \sum_i^I \sum_t^T (T - t) * Cp_i x_{i,t} + E_i * H_i * INVT_{i,t} \quad (4.10)$$

Figura 13. Función objetivo del modelo. Elaborado por Cáceres, 2014.

El objetivo principal era “minimizar la cantidad de los productos a pedir en un determinado período de tiempo, así como minimizar los costos de pedir, y los costos de mantener inventario.” (Cáceres, 2014). Luego, las restricciones fueron definidas a continuación:

Sujeto a:

$$\sum_t^T x_{i,t-TS(i)} - dem_{i,t} + E_i * INVT_{i,0} + \sum_j^I req_{i,j} * x_{i,j} \geq 0 \quad (4.11)$$

$$x_{i,t} \geq w_{i,t} * LS_i \quad (4.12)$$

$$M * w_{i,t} \geq 0 \quad (4.13)$$

$$INV F_i = \sum_t^T x_{i,t} + INVT_{i,0} + \sum_j^I req_{i,j} * x_{i,j} - dem_{i,t} \quad (4.14)$$

$$INV F_i \geq \sum_t^T x_{i,t} * PSS \quad \forall i \neq 1 \quad (4.15)$$

Figura 14. Restricciones del modelo. Elaborado por Cáceres, 2014.

Se explica por el autor que la ecuación (4.11) se refiere a “ecuaciones de balance de inventarios, donde se tiene en cuenta que los materiales a ser pedidos más las existencias de inventarios deben ser iguales o superiores a la demanda.” Las ecuaciones (4.12) y (4.13) se refieren al cumplimiento del tamaño de lote mínimo y la eventualidad respectivamente, donde esta última indica que la cantidad de un pedido sea mayor o igual a cero. La ecuación (4.14) hace referencia a la cantidad de inventario al final de un período y finalmente la ecuación (4.15) se refiere al deseo de mantener un stock de seguridad definido por la empresa.

Se trata, al igual que el caso 2, de un modelo de programación lineal que se enfoca tanto en minimizar costos, como también en minimizar la cantidad de pedidos a realizar. De ser modelado desde una perspectiva diferente, se podría llegar a un problema que permita compras frecuentes y pequeñas para mantener bajos días de inventario y evitar un potencial vencimiento puesto que sería material nuevo llegando con la mayor frecuencia permitida por las restricciones del proyecto.

## 4. Solución

### a) Soluciones propuestas

A partir de los estudios presentados en el estado del arte, se desprenden tres distintos casos factibles de implementar dentro del contexto de la problemática en cuestión. La primera solución propuesta deriva del plan de optimización del proceso de compras de materiales de la empresa Embotelladora de Bebidas del Tolima S.A, en Colombia. Dicho plan buscó la diferenciación de distintas estrategias para atacar la problemática desde distintas aristas, donde cada estrategia implicaba un objetivo y un plan de acción, rediseñando y eficientizando el proceso tanto intrínseca como extrínsecamente. La solución conllevaría meses de implementación, implicaría altos costos en algunas estrategias (como mejorar la infraestructura física) y no se alinearía completamente con los objetivos de NotCo. En segundo lugar, se propone como solución aquella implementada en CS ELECTRONICS S.A.S, que considera la implementación de un modelo de programación lineal para optimizar la gestión de inventario, aumentando la rotación de activos y controlando los niveles de inventario. Se trata de una solución que considera todos los costos asociados a mantener inventario y colocar pedidos y por ende coinciden mayormente con lo que se desea lograr en el proceso de compras de NotCo. Por último, se propone la solución implementada en la empresa “Carrocerías M&L”, Ecuador, similar al caso 2 con la implementación de un modelo de programación lineal; buscando minimizar costos asociados a comprar y almacenar, manteniendo inventarios sanos y eficientes.

### b) Solución escogida

Tomando en consideración las soluciones propuestas en el inciso anterior, se decidió por implementar un modelo de programación lineal capaz de optimizar la gestión de inventarios. Para esto, se tomaron en cuenta los siguientes criterios: flexibilidad de la solución, costo de implementación, tiempo requerido de implementación, comparación o similitud al contexto de NotCo y el impacto potencial, los cuales fueron representados por valores entre 1 al 5 para justificar la elección de la solución en la Tabla 3 adjunta. A diferencia de un diseño de plan

estratégico de optimización, un modelo de programación permite mayor flexibilidad, adaptándose a distintos escenarios y restricciones que podría presentar una empresa en particular. Además, se trata de una optimización directa al proceso de compras, sometiéndose de manera automática a las restricciones que se deseen, con bajos costos de implementación y bajos tiempos requeridos para dicha implementación.

<b>Tabla Solución Escogida</b>		<b>Casos Estado del Arte</b>		
		Caso 1	Caso 2	Caso 3
<b>Criterios</b>	Flexibilidad	3	4	4
	Costo Implementación	3	4	4
	Tiempo Implementación	2	4	4
	Comparable contexto NotCo	1	4	3
	Impacto Potencial	2	3	3
	Suma	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>18</b>
<i>*Entre mayor el valor, más favorable para el criterio. Ejemplo: Un menor costo es más favorable.</i>				

Tabla 3. Criterios de la solución escogida. Elaboración propia.

Como se observa de la Tabla 3, se decidió basarse principalmente en la solución propuesta en el segundo caso, que a pesar de asimilarse con el caso 3, esta era más aplicable y comparable con los objetivos y el contexto de NotCo, manteniendo alta rotación de materiales y bajos niveles de inventario para finalmente minimizar la cantidad de materia prima que vence. Dicho modelo sería aplicado en primera instancia para simular la programación de compras de manera óptima.

### c) Riesgos y Mitigaciones

Conjunto a la solución, se presentó una matriz de riesgo que proporciona distintos escenarios, tanto extrínsecos como intrínsecos a la implementación de la solución, otorgando distintas calificaciones de acuerdo con dos criterios: severidad y probabilidad. Es decir, qué tan severo sería el impacto del riesgo y qué tan probable es que suceda, con escala del 1 al 5, multiplicándose ambos criterios para finalmente obtener el grado de riesgo observado en la leyenda de la Tabla 4 adjunta.



<b>Matriz de Riesgo</b>		Severidad				
		Insignificante (1)	Menor (2)	Moderado (3)	Mayor (4)	Severo (5)
Probabilidad	Muy Probable (5)					
	Probable (4)				Inflación	
	Moderado (3)			Inventario descuadrado		
	Poco Probable (2)			Variaciones en la demanda proyectada	Proveedores sin stock	
	Improbable (1)			Incumplimientos de Lead Time	Lotes cerca de fecha de vencimiento	Incumplimientos de Calidad
Leyenda	Bajo Riesgo (1 - 6)	Medio Riesgo (7 - 12)	Alto Riesgo (13 - 25)			

Tabla 4. Matriz de Riesgo. Elaboración propia

Algunas posibles mitigaciones a los riesgos anteriormente señalados serían:

1. Inflación: Estrategias de negociación con proveedores para minimizar el impacto de la inflación. Afecta directamente a los costos de realizar y almacenar pedidos.
2. Inventario descuadrado: Alinear semanalmente el stock en las plantas con los representantes de cada una. Un inventario descuadrado implica compras a ciegas.
3. Variación en demanda proyectada: Mantener política de inventario estable para poder reaccionar a variaciones imprevistas y amortizar el impacto.
4. Proveedores sin stock: Enviar proyecciones actualizadas mensualmente a proveedores.
5. Incumplimientos de calidad: Tener un proceso riguroso de calidad antes de liberar las materias primas.
6. Incumplimientos Lead Time: Insistencias constantes para presionar a proveedores.
7. Lotes comprados cerca de vencer: Crear proceso de devolución de la materia prima en caso de ser necesario.

## 5. Evaluación Económica

Para la implementación efectiva del proyecto fue necesario evaluar la factibilidad económica en el contexto de la empresa y así tener una mejor noción del valor neto que aportaría dicha implementación. Por ende, se llevó a cabo una evaluación económica con los costos asociados a la incorporación de un modelo de programación lineal con su apropiada ejecución. En este caso, la modelación de un problema de programación lineal y su posterior ejecución en un lenguaje como Python, no considera costo alguno. Dicho esto, el único costo asociado a la implementación del proyecto fue la mano de obra del ingeniero que implementó dicho proyecto a lo largo de 5 meses, al cual se le consideró un sueldo promedio en Chile (en CLP) del año 2023 con mínimo 2 años de experiencia profesional ([www.talent.com](http://www.talent.com)).

Costos de Implementación

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Mano de Obra Líquido	810	Horas	\$ 9.000	\$ 7.290.000
Impuesto Renta	13	%	\$ 1.345	\$ 1.089.310

*Tabla 5. Costos de implementación. Elaboración propia.*

Se consideró en primer lugar el valor de la mano de obra líquida, es decir, sin considerar el impuesto a la renta. Por ende, en la Tabla 5 se observan ambos costos por separado, la renta líquida y el impuesto que debe pagar la empresa, juntos entregando el costo total bruto de implementar el proyecto.

Posteriormente, se realizó un flujo de caja (Tablas 6 y 7) tras la implementación del proyecto, considerando las reducciones en costos y el aumento en el margen operacional. Considerando una implementación a partir del mes de noviembre y proyectando resultados en los ahorros consecutivamente, se obtuvo un valor de VAN positivo que incluía un desarrollo hasta julio de 2024, rentabilizando positivamente el proyecto. El costo ahorrado por vencimientos fue calculado como aquel WO que se desea eliminar, considerando entonces el 23,8% del Write Off total anual de saborizantes, dividido equitativamente en los 9 meses posteriores a la implementación. Se utilizó una tasa de descuento del 15% anual y por ende 1,25% mensual.

Actividad / Mes	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Costo ahorrado Vencimiento	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667
Mano de Obra Líquida	\$ 1.458.000	\$ 1.458.000	\$ 1.458.000	\$ 1.458.000	\$ 1.458.000
UAI	\$ -1.458.000	\$ -1.458.000	\$ -1.458.000	\$ 5.840.667	\$ 5.840.667
Impuesto a la renta (13%)	\$ 217.862	\$ 217.862	\$ 217.862	\$ 217.862	\$ 217.862
UDI	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ 5.622.805	\$ 5.622.805
FC Operativo	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ 5.622.805	\$ 5.622.805
FC Capital	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ 5.622.805	\$ 5.622.805
FC Privado	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ -1.675.862	\$ 5.622.805	\$ 5.622.805
<b>VAN</b>	<b>\$51.430.384</b>				

Tabla 6. Flujo de Caja 2023. Elaboración propia. Filas explicadas en el Anexo G.

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667
\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667
\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667
\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667	\$ 7.298.667

Tabla 7. Flujo de Caja 2024. Elaboración propia.

## 6. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos específicos, se utilizó la metodología Six Sigma (DMAIC) durante la elaboración del proyecto. Esta es utilizada comúnmente en proyectos de mejoras de procesos sobre métricas como calidad, eficiencia y productividad para atacar un objetivo general y de este modo generar un impacto real. Se detalla a continuación:

1. Definir	Se definió la problemática como la excesiva generación de WO debido a lotes vencidos, específicamente saborizantes; conformando el 55% del WO anual hasta el momento y 42% considerando hasta diciembre.
2. Medir	Para enfrentar la problemática, se definieron métricas de desempeño ligadas directamente a la generación de WO. Ellas eran: <u>precisión</u> en la compra y los días de inventario de las materias primas.
3. Analizar	Se analizaron dichas medidas cuantitativa y cualitativamente y distintas maneras de cómo se han ido mejorando en la industria, con un estudio del estado del arte en la mejora de procesos de compra.
4. Mejorar	La mejora se dio directamente a través de la solución, un modelo de programación lineal, tomando parámetros del problema inicial y entregando programaciones óptimas de llegadas de material.
5. Controlar	Finalmente, una vez realizada la implementación, se mantuvo un control para determinar puntos de mejora y la capacidad de aplicar dicha solución para futuras compras de las demás materias primas.

Figura 15. Metodología Six Sigma (DMAIC). Elaboración propia.

Simultáneamente, para llevar a cabo la solución, se diseñó un plan de implementación basado en una propuesta de 5 etapas de desarrollo, secuenciada bajo el Anexo E.

1. Definición de las materias primas sometidas al modelamiento, clarificando parámetros como el lote mínimo, el Lead Time, inventario inicial, política de inventario, costos respectivos, vida útil y la demanda proyectada por semanas.
2. Obtención de la precisión de compra actual de cada una como métrica de comparación.
3. Formulación de parámetros, variables de decisión, restricciones y función objetivo de acuerdo con el contexto de la problemática.
4. Modelamiento del problema de programación y resuelto con lenguaje Python.
5. Evaluación del impacto y resultados obtenidos, midiendo potenciales mejoras.

## 7. Desarrollo del Proyecto

Dentro de la cuarta etapa de la metodología, se llevó a cabo el plan de implementación descrito anteriormente, en donde primero se definieron todos los parámetros a trabajar, tales como los tiempos de espera, lotes mínimos, inventarios iniciales, políticas de compra, costos, vida útil y demandas respectivas, detallados en el Anexo B. Estos datos fueron obtenidos directamente de los proveedores, del sistema SAP y del plan de producción, teniendo entonces información actualizada para la realización de la segunda etapa.

La precisión de compra fue obtenida en un principio para determinar qué tan precisas eran actualmente las cantidades adquiridas junto a sus fechas de llegada programadas, con el fin de mantener los vencimientos al mínimo. Una mejora en la precisión de la compra permitiría mantener los objetivos de producción acorde al plan y resultaría como una solución directa al porcentaje de Write Off generado por compras imprecisas o excesivas.

Una vez clarificada la situación actual del proceso MRP de los saborizantes, se prosiguió con la elaboración de la herramienta que iría a fortalecer esta precisión, entregando resultados tanto en los costos asociados de compra como resultados proyectados para minimizar futuros vencimientos. Como mencionado en el plan de implementación, se generó un modelo de programación lineal utilizando todos los parámetros en cuestión, disminuyendo costos y precisando la compra al máximo. El modelo se describe como sigue:

### 1. Conjuntos:

**K:** Semanas (para  $k = 1, 2, \dots, K$ )

**I:** Materias primas (para  $i = 1, 2, \dots, I$ )

### 2. Parámetros:

**$D_{ik}$ :** Demanda de la materia prima  $i$  en la semana  $k$ .

**$C_i$ :** Costo unitario de la materia prima  $i$ .

**$A_i$ :** Costo de almacenar materia prima  $i$ .

**Inv<sub>i, inicial</sub>**: Inventario inicial de la materia prima i.

**MOQ<sub>i</sub>**: Lote mínimo a comprar de la materia prima i.

**VU<sub>i</sub>**: Vida útil de la materia prima i.

**LT<sub>i</sub>**: Tiempo de entrega de la materia prima i.

**DOH<sub>i</sub>**: Días de inventario esperados para la materia prima i.

### 3. Variables:

**X<sub>ik</sub>**: Cantidad de materia prima i a pedir en la semana k.

**Y<sub>ik</sub>**: Inventario inicial de la materia prima i en la semana k.

**W**:  $\left\{ \begin{array}{l} 1: Si se realiza un pedido \\ 0: No se realiza un pedido \end{array} \right\}$

### 4. Función Objetivo:

$$MIN \sum_i^I \sum_k^K C_i * X_{ik} + \sum_i^I \sum_k^K A_i * W, \forall i \in k > 1$$

### 5. Restricciones:

**Y<sub>i,1</sub>** = Inv<sub>i, inicial</sub> → Restricción inventario inicial semana 1.

**Y<sub>ik</sub>** = Y<sub>ik-1</sub> + X<sub>ik</sub> - D<sub>ik</sub> → Restricción inventario inicial semana k.

**D<sub>ik</sub>** ≤ Y<sub>ik-1</sub> + X<sub>ik</sub> → Restricción satisfacción de la demanda/consumo de materiales.

**Y<sub>ik</sub>** = Y<sub>i(k-1)</sub> + X<sub>i(k-LT<sub>i</sub>)</sub> - D<sub>ik</sub> → Restricción satisfacción del tiempo de entrega (LT)

**X<sub>ik</sub>** ≥ MOQ<sub>i</sub> → Restricción satisfacción del lote mínimo (MOQ).

**Y<sub>ik</sub>** = VU<sub>i</sub> \* DOH<sub>i</sub> → Restricción que considera vida útil de la materia prima i.

Y<sub>i(k-1)</sub> + X<sub>i(k-LT<sub>i</sub>)</sub> + X<sub>ik</sub> ≥ 40 \* D<sub>ik</sub> → Restricción cumplimiento política DOH.

**X<sub>ik</sub>, Y<sub>ik</sub>** ≥ 0 → Restricción de No Negatividad.

Se diseñó el modelo para cumplir con las necesidades que requería el contexto del problema, así como también las necesidades básicas exigidas por un modelo MRP (Material Requirement Planning), tales como la satisfacción de la demanda, condiciones de inventario inicial, etcétera. Adentrando en el modelo, en primer lugar, se definieron dos conjuntos asociados a las materias primas y a las distintas semanas a planificar, reflejando los meses de noviembre y diciembre del presente año.

Luego se definió una serie de parámetros cumpliendo como entradas (Anexo B) para la ejecución del modelo para cada distinta materia prima considerando también en algunos casos las semanas en cuestión, como sucedió con la demanda.

Posteriormente se definieron tres distintas variables para así determinar cuándo y cuánto comprar, los niveles de inventario durante el transcurso del tiempo y la cantidad de compras que se tuvieron que realizar para satisfacer el modelo.

Con esta información antes señalada, se definió la función objetivo con el fin de minimizar tanto los costos asociados al almacenamiento como a la adquisición directa de insumos, parámetros ligados a la reducción de inventario y por ende vencimientos.

Finalmente, con las restricciones implementadas se pudo refinar y precisar el modelo, adecuándolo al contexto de la empresa y aportando al cumplimiento de los distintos objetivos específicos. Estos componentes fueron sometidos a un modelamiento en el lenguaje de programación *Python* y su posterior ejecución mediante la plataforma web Google Colaboratory.

## 8. Resultados

Siguiendo el último paso tanto de la metodología como del plan de implementación, tras el desarrollo del modelo de programación lineal en el proceso de compras de los saborizantes, se obtuvo una solución óptima para los parámetros y semanas en curso. Como mencionado anteriormente, se analizó una serie de saborizantes y su plan de compras para los últimos dos meses del año, pudiendo compararse directamente con el plan de compras que existía anterior a dicha implementación.

	Precisión con Solución	Precisión sin Solución
Promedio	41,02%	35,2%

Tabla 8. Promedio de precisiones. Elaboración propia.

En primer lugar, como primera medida de desempeño del modelo de programación lineal, se había obtenido una precisión en la compra de saborizantes de un 35,2% para los meses de noviembre y diciembre 2023, haciendo uso de la ecuación señalada anteriormente. Una precisión explicada por una gestión manual y humana en la planificación de requerimiento de materias primas propensa a errores y excesos innecesarios en la operación. Tras una implementación y simulación del modelo de programación lineal en el proceso adquisitivo, se logró aumentar la cifra en un 5,8%, reflejándose entonces una precisión final del 41%.

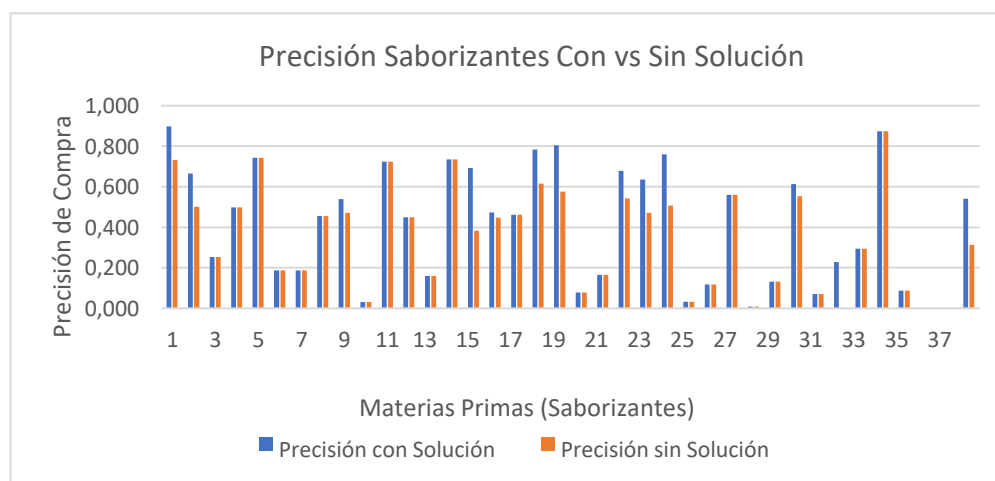


Figura 16. Gráfica Precisión Saborizantes Con vs Sin Solución. Elaboración propia.



En la Figura 16, se observa el comportamiento de dicha medida de desempeño en las 38 materias primas analizadas, comparando de manera directa el impacto de la solución. En ningún caso la implementación implicó una baja en la precisión, más bien sucedió lo contrario. Si bien 38 materias primas fueron estudiadas, no todas requerían llegadas por tener inventario inicial suficiente para consumir y, por ende, como muestra la Figura 17, se visualizó un aumento de precisión en todas aquellas materias primas originalmente con llegadas programadas. Esto significó que el modelo de programación permitió una mejora inmediata al momento de programar las llegadas de saborizantes con los parámetros a disposición.

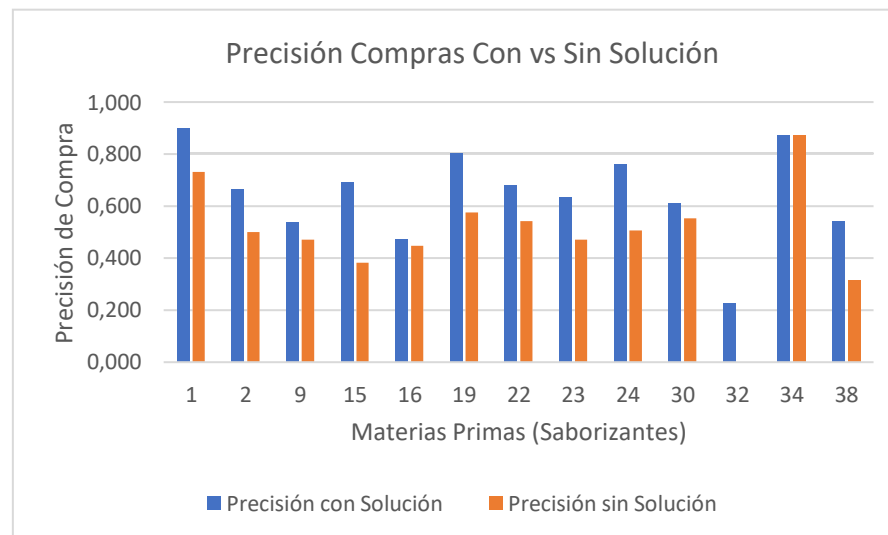


Figura 17. Gráfica Compras Programadas Con vs Sin Solución. Elaboración propia.

Por otro lado, se realizó un análisis de la implementación con respecto al impacto en DOH de estos saborizantes. Como fue señalado anteriormente, no todos los saborizantes fueron afectados por la solución debido a que no había necesidad de compra y los DOH originalmente en algunas materias ya eran bastante elevados. Cuando hay altos días de inventario, se debe esperar a que estos bajen hasta el punto de necesitar colocar una nueva orden de compra y poder entonces controlar apropiadamente los inventarios.

Materia Prima	Promedio DOH Con Solución	Promedio DOH Sin Solución	¿Mejóro?
1	42	71	Sí
2	84	140	Sí
9	63	72	Sí
14	53	53	NO
15	30	60	Sí
16	48	56	Sí
18	57	78	Sí
19	45	76	Sí
22	46	50	Sí
23	28	64	Sí
24	45	79	Sí
30	39	48	Sí
32	329	329	NO
34	41	49	Sí
38	62	119	Sí
<b>PROMEDIO</b>	<b>67</b>	<b>90</b>	<b>-33%</b>

Tabla 9. Días de Inventario por Saborizante afectado tras implementación. Elaboración propia.

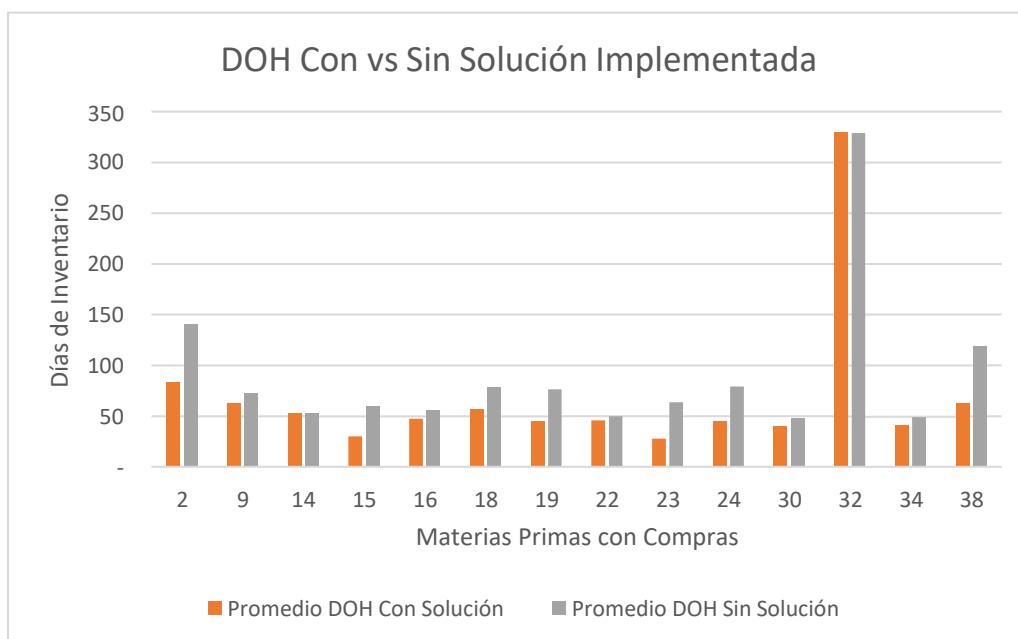


Figura 18. Gráfica DOH Con vs Sin Implementación de solución. Elaboración Propia.

Observando la Tabla 9 y la Figura 18, se evidenció una baja de un 33% en los DOH a causa de una compra más precisa otorgada mediante el modelo de programación lineal ejecutado. Una baja considerable en esta métrica implica una gestión de inventario más apropiada y menos propensa a causar vencimientos de lotes. Entre más bajos los DOH más probable es que se consuma el stock vigente justamente antes de que este venza.

La cantidad por comprar se programó para que el inventario sea mínimo dentro de los parámetros señalados y de modo que este se consuma totalmente antes de un futuro vencimiento. Si bien los vencimientos pueden ser ocasionados por una multitud de razones, la imprecisión, que puede no ser tan frecuente como alguna de las otras causales, tiene un impacto igual de real y que puede acumularse si es que no se implementa un control adecuado. Dicha solución elimina por completo vencimientos ocasionados por compras imprecisas y posibles errores humanos que pueden considerarse como sistemáticos debido a la restricción implementada, proyectando entonces el WO para saborizantes como nulo.

## 9. Conclusión

En resumen, los resultados de este trabajo demostraron que el Write Off, a pesar de ser un tema importante que tratar dentro de la empresa y que es ocasionado por una multitud de factores, puede ser enfrentado minimizando el error humano y la gestión imprecisa que puede ocasionarse en un contexto desafiante, incierto y en constante variación como lo es la planificación de requerimiento de materiales junto con todas las entradas que esta abarca.

Con respecto a las medidas de desempeño planteadas en un principio, se obtuvo que tanto la precisión de compra, los días de inventario y los costos de almacenamiento reflejaron mejoras tras la implementación del modelo de programación lineal. Se evidenció una mejora de un 5,8% en la precisión y una baja del 33% en los días de inventario promedio en saborizantes.

Por otro lado, la medición directa del Write Off, al ser una medida de lotes vencidos, se dificultó puesto que en algunos casos debe poder transcurrir un tiempo prolongado para finalmente observar el impacto que tuvo una imprecisa gestión de compra de saborizantes, por ejemplo. No obstante, desde un principio se segregó el problema para enfrentarse directamente al factor humano y paralelamente se diseñó el modelo para que ninguna cantidad comprada permanezca más tiempo que su vida útil en inventario. Por lo tanto, se puede asumir que se erradica por completo el vencimiento ocasionado por gestiones imprecisas y por ende el WO asociado a esta causa se ve disminuido en las mismas proporciones planteadas en el objetivo general.

a. Discusión

i. Futuros impactos

Se espera que el modelo de programación se utilice al momento de planificar la compra de todo tipo de materia prima, no solo saborizantes. Además, que sea utilizada especialmente en aquellas materias primas que históricamente han sufrido imprecisiones. Se desea que los vencimientos que puedan controlarse por el equipo efectivamente lo sean y que no vuelvan a generarse casos en donde se generó WO por compras excesivas y error humano.

ii. Posibles mejoras y dificultades

Para mejorar el proyecto se propone la realización de un análisis causal más exhaustivo, a través de un respaldo estadístico con el objetivo de encontrar anomalías con mayor claridad y así exponer mayor efectividad al momento de la implementación. Además, se sugiere mejorar la eficiencia en la gestión del tiempo, ya que la medición directa del WO se ve obstaculizada en situaciones de limitación temporal.

La mayor dificultad del proyecto fue la medición del objetivo principal debido al hecho de que se trataba de una problemática compleja y con una multitud de factores tanto intrínsecos como extrínsecos a la operación. Por esto mismo, se vio la necesidad de establecer relaciones firmes entre las medidas de desempeño y el Write Off, teniendo que proyectar casos futuros en base a estas mismas.

## 10. Referencias

- González, D. (2022, 14 septiembre). *Conoce los 7 riesgos que más impactan en las áreas de compras - América Retail*. América Retail.  
<https://www.america-retail.com/peru/conoce-los-7-riesgos-que-mas-impactan-en-las-areas-de-compras/>
- R. Suárez, J. Cárdenas, L. Torres (2021). *Optimización del proceso de requerimiento de materias primas para la empresa Embotelladora de Bebidas del Tolima S.A.*  
<https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/11021/SaurezRaul2021.pdf?sequence=1>
- D. Cáceres, J. Reyes, M. García, C. Sánchez (septiembre, 2015). *Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimientos de Materiales*.  
[file:///C:/Users/Pascal%20Strongman/Downloads/Modelo de Programacion Lineal para Plane.pdf](file:///C:/Users/Pascal%20Strongman/Downloads/Modelo%20de%20Programacion%20Lineal%20para%20Plane.pdf)
- M. Valencia, L. Niño, A. Peña, N. Sepúlveda (2010). *Modelos de Optimización para la Minimización de Desperdicios Industriales: Una Aplicación*.  
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/7103/MODELOS%20DE%20OPTIMIZACION%20PARA%20LA%20MINIMIZACION%20DE%20DESPERDICIOS%20INDUSTRIALES.pdf>
- Eduardo Cáceres (agosto, 2014). *Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimientos de Material en "Carrocerías M&L"*.  
[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8109/1/Tesis\\_t927id.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8109/1/Tesis_t927id.pdf)
- TheNotCompany. (s. f.). *Sobre nosotros*. Chile. <https://notco.com/cl/sobre/sobre-nosotros>.

- José Rodríguez (2014). *Propuesta de Estandarización de la Gestión de Inventarios Mediante un Modelo de Programación Lineal de acuerdo a la Planeación de la Demanda para la Empresa CS ELECTRONICS S.A.S.*  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16555/RodriguezLizarazoJoseRomulo2014.pdf?sequence=3>
- *Salario para ingeniero civil industrial en Chile - salario medio.* (s. f.). Talent.com.  
<https://cl.talent.com/salary?job=ingeniero+civil+industrial#:~:text=El%20salario%20ingeniero%20civil%20industrial,m%C3%A1s%20experimentados%20perciben%20hasta%20%2426.400.>
- Carlos Hidalgo (2019). *Sistema de Programación Lineal: Un Apoyo a la Producción de la Pequeña Agricultura.*  
[https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/17032/a125515\\_Hidalgo\\_C\\_Sistema\\_de\\_programacion\\_lineal\\_un\\_2019.pdf?sequence=1](https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/17032/a125515_Hidalgo_C_Sistema_de_programacion_lineal_un_2019.pdf?sequence=1)
- Lidia López (2021). *Introducción a la Programación Dinámica.*  
[https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/28920/L%C3%B3pez\\_Fern%C3%A1ndez\\_Lidia.pdf?sequence=1#:~:text=La%20programaci%C3%B3n%20din%C3%A1mica%20es%20un,para%20el%20proble%2D%20ma%20original.](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/28920/L%C3%B3pez_Fern%C3%A1ndez_Lidia.pdf?sequence=1#:~:text=La%20programaci%C3%B3n%20din%C3%A1mica%20es%20un,para%20el%20proble%2D%20ma%20original.)
- Diario Financiero (2023, 26 mayo). *NotCo es reconocida entre las compañías más innovadoras del mundo por Fast Company.* <https://www.df.cl/empresas/empresas-y-startups/notco-es-reconocida-entre-las-companias-mas-innovadoras-del-mundo-por>
- Rodríguez, D. P. (2022, 30 agosto). *Giuseppe, el chef de la inteligencia artificial vegano que entra al mercado nacional.* Diario La República.  
<https://www.larepublica.co/ocio/giuseppe-el-chef-de-inteligencia-artificial-vegano-que-entra-al-mercado-gastronomico-3436526>

## 11. Anexos

### A. Listado de saborizantes:

Lista de saborizantes que fueron utilizados en el análisis junto con su descripción respectiva. Cabe destacar que estas fueron las 38 materias primas analizadas, pero no todas fueron sometidas a la necesidad de realizar o modificar una compra puesto que ya contaban con altos días de inventario. La gestión y el control de inventario junto con el proceso MRP en este caso sólo se pudo llevar a cabo en aquellas materias primas que requerían un plan de compras para no quebrar la producción. El modelo, entonces, permitió llevar a cabo la compra de manera precisa.

Materia Prima	Descripción Materia Prima
1	SABORIZANTE CREMA AMERICANA C24541-00
2	SABORIZANTE CREMA NAT C14798-00
3	SABORIZANTE MANTEQUILLA NAT M72027-00
4	SABORIZANTE VAINILLA NAT V-98117-00
5	SALSA SABOR CHOCOLATE FND-BC-7183701-B20
6	AROMA CARAMELO JG-866-946-2
7	AROMA CREMA DE LECHE CH-452-087-4
8	SABORIZANTE COOKIES CREAM NAT C75313-00
9	ESENCIA AR NI QUEIJO CREMOSO LQD 20KG 20
10	SABORIZANTE EVODRY 2.0 AN LIMA O 796036
11	SABORIZANTE COCO E20176923
12	SABORIZANTE COCO NATURAL C07375-00
13	SABOR PARRILLA TNC 0117-000110701
14	BEEF STEWED FLAVOR 513288 CB
15	UMAMI BOOSTER FLAVOR 555567 5CB
16	SABOR HAMBURGUESA GRILL SP H07473-26
17	SABORIZANTE GRILL G74363-04
18	SABOR HAMBURGUESA H08300-26
19	SABOR AMERICANO S12844-26
20	Sabor Cheffs Grill (YU-157-883-3) x15KG
21	HERBS FLAVOR 050022 368CB



22	PROTEIN MASKING FLAVOR 439485
23	AROMA YEMA DE HUEVO OG-530-992-6 (GIV)
24	SABOR HUMO MP-1641
25	ANNATO 15%
26	QUESO KT-340-977-7
27	SABOR PICAÑA
28	CHEDDAR FLAVOR XW-373-158-9
29	CHEDDAR IA-782-777-4
30	SABOR POLLO G
31	AGLUTINANTE XY-007-241-9
32	MASKER VQ-485-664-7
33	SABORIZANTE VAINILLA E23009057
34	AROMA MOZZARELLA FLAVOR FX-590-865-9
35	AROMA AJO Y CEBOLLA LT-869-379-9
36	VAINILLA F10N186
37	SOYMASKING F24J210
38	SABORIZANTE CARNE Picanha NATURAL

B. Tabla con los parámetros respectivos de cada saborizante:

Cabe destacar que la unidad de medida del lote mínimo (MOQ) y el inventario inicial (INV\_inicial) son los Kilogramos, del tiempo de entrega (LT), los días de inventario (DOH) y la vida útil son las semanas y finalmente ambos costos se encuentran en pesos chilenos (CLP).

Materia Prima	COSTO ALMACÉN	PRECIO	MOQ	LT	VIDA ÚTIL	INV_inicial	DOH
1	\$ 281	\$ 30.255	10	3	43	12	6
2	\$ 281	\$ 18.903	10	3	52	5	6
3	\$ 281	\$ 19.493	20	3	52	15	6
4	\$ 281	\$ 44.659	20	3	43	46	6
5	\$ 281	\$ 3.203	100	8	52	1338	6
6	\$ 281	\$ 81.449	15	10	52	15	6
7	\$ 281	\$ 57.050	30	10	52	43	6
8	\$ 281	\$ 23.329	20	3	43	59	6
9	\$ 281	\$ 12.095	40	20	52	30	6
10	\$ 281	\$ 70.610	25	10	13	18	6
11	\$ 281	\$ 18.985	20	8	52	11	6
12	\$ 281	\$ 31.957	20	3	52	13	6
13	\$ 281	\$ 30.296	19	15	103	2587	6
14	\$ 281	\$ 35.210	200	22	52	1123	6
15	\$ 281	\$ 25.706	200	22	52	525	6
16	\$ 281	\$ 17.544	20	4	52	878	6
17	\$ 281	\$ 59.367	20	3	103	260	6
18	\$ 281	\$ 12.823	20	5	52	654	6



C. Tabla de demandas proyectadas por materia prima y por semanas

Adjunto se encuentra la tabla con la demanda proyectada para cada uno de los saborizantes analizados, donde además cabe destacar que se utilizaron las proyecciones de los meses de noviembre, diciembre y enero (por ejemplo, “D\_1” se refiere a las demandas la primera semana del mes de noviembre) y de esta manera poder programar completamente las llegadas que se irían a necesitar para los meses de noviembre y diciembre. Es decir, muchas de las llegadas programadas para diciembre se deben a consumos realizados en el mes de enero y por eso la necesidad de incluir meses posteriores. Cada fila hace referencia a una materia prima en el mismo orden que se presenta en el Anexo A y B.

[illegible]

7	0	0	9	1	0	0	0	0	30	0	0
169	0	0	0	107	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	0	2	0	0	0	0	0	248	0	0
62	136	0	0	261	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0
2	1	1	1	1	0	0	2	1	0	1	0
2	0	0	2	4	0	0	0	0	5	0	0
11	11	11	4	11	0	5	27	0	0	0	2
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	245	0	0
305	0	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0

#### D. Output del modelo de programación lineal

A continuación, se observan las llegadas que fueron programadas mediante la incorporación de un modelo de programación lineal. Se observan 8 semanas (los meses de noviembre y diciembre) y las 38 distintas materias primas que fueron utilizadas durante el transcurso del proyecto. Cabe destacar que, para la modelación en Python, no se incorporó la restricción del tiempo de entrega (o Lead Time) debido principalmente al hecho de que algunos tiempos de entrega son varias semanas o hasta meses. Esto limitaba entonces una programación simulada de llegadas para los meses de noviembre y diciembre del presente año. Por lo tanto, se concluye que el modelo optimiza apropiadamente, pero para planificar entregas de meses determinados (como lo fue en el proyecto), se debe hacer uso del modelo con meses de anticipación para considerar los mayores tiempos de entrega que presentan los saborizantes.

Materia Prima	LLEGADA S1	LLEGADA S2	LLEGADA S3	LLEGADA S4	LLEGADA S5	LLEGADA S6	LLEGADA S7	LLEGADA S8
1	0	0	10	0	0	0	0	0
2	0	0	10	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0

6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	40	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	400	0	0	0	0
16	0	0	0	0	900	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	20	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	100	0
23	0	0	300	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	70	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	510	0	0	210	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	30	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	40	0	0	0	0	20	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	300	0	0	0	0	0	0

### E. Carta Gantt

La planificación observada a continuación hace referencia a aquella que fue utilizada durante todo el proyecto de acuerdo con la metodología Six Sigma (DMAIC). Se definieron 5 principales etapas de desarrollo a lo largo de 4 meses desde que se comenzó definiendo el problema hasta la implementación y su control respectivo. Cada mes fue separado y planificado por quincenas. Cabe destacar que la cuarta etapa de la metodología vio involucrado el plan de implementación con 5 etapas específicas para finalmente coincidir la última con el control del proyecto una vez implementada la solución.

<u>Tareas</u>		<b>MESES</b>							
		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
<b>METODOLOGÍA</b>		1ra Quin.	2da Quin.	1ra Quin.	2da Quin.	1ra Quin.	2da Quin.	1ra Quin.	2da Quin.
1. Definición del Problema									
2. Medición del Problema									
3. Análisis del Problema									
4. Mejora (implementación)									
a.	Definición								
b.	Obtención								
c.	Formulación								
d.	Modelamiento								
e.	Evaluación								
5. Control del proyecto									

## F. Código Python ejecutado en Google Colaboratory

```
!pip install pulp

import pandas as pd
from pulp import *

df_parametros = pd.read_excel('Libro10.xlsx', sheet_name='Parametros')

print(df_parametros.columns)

#conjuntos
materias_primas = df_parametros['Materia Prima'].unique()

#parámetros
D = {(i, k): df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i,
f'D_{k}'].values[0]
      for i in materias_primas for k in range(1, 9)}
C = {i: df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i, 'COSTO
UNITARIO'].values[0] for i in materias_primas}
A = {i: df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i, 'COSTO
ALMACENAMIENTO'].values[0] for i in materias_primas}
Inv_inicial = {i: df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i,
'INV_inicial'].values[0] for i in materias_primas}
MOQ = {i: df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i,
'MOQ'].values[0] for i in materias_primas}
VU = {i: df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i, 'VIDA
ÚTIL'].values[0] for i in materias_primas}
LT = {i: df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i,
'LT'].values[0] for i in materias_primas}
DOH = {i: df_parametros.loc[df_parametros['Materia Prima'] == i,
'DOH'].values[0] for i in materias_primas}

#variables
X = LpVariable.dicts("X", (materias_primas, range(1, 9)), lowBound=0,
cat="Continuous")
Y = LpVariable.dicts("Y", (materias_primas, range(1, 9)), lowBound=0,
cat="Continuous")
W = LpVariable.dicts("W", range(1, 9), cat="Binary")
```



```
#se crea el problema de optimización
prob = LpProblem("Modelo_PL", LpMinimize)

#función objetivo
prob += lpSum(C[i] * X[i][k] + A[i] * W[k] for i in materias_primas
for k in range(1, 9))

#restricciones
for i in materias_primas:
    for k in range(1, 9):
        if (i, k) in D:

            try:

                prob += Y[i][1] == Inv_inicial[i] #satisfacción inventario
inicial
                prob += Y[i][k - 1] + X[i][k] - D[i, k] == Y[i][k]
#satisfacción inventario final
                prob += Y[i][k - 1] + X[i][k] >= D[i, k] #satisfacción
demanda
                prob += X[i][k] >= MOQ[i] #satisfacción lote mínimo
                prob += Y[i][k] == VU[i] * DOH[i] #satisfacción vida útil
                prob += Y[i][k - 1] + X[i][k - LT[i]] + X[i][k] >= 40 *
D[(i, k)] #satisfacción días de inventario
                prob += X[i][k] >= 0 #satisfacción no negatividad
                prob += Y[i][k] >= 0 #satisfacción no negatividad

            except KeyError as e:
                print(f"Error en ({i}, {k}): {e}")

prob.solve() #solucionamos el problema de optimización

print("Estado:", LpStatus[prob.status])
print("Costo total:", value(prob.objective))

for i in materias_primas:
    for k in range(1, 9):
        print(f"X_{i}_{k} = {value(X[i][k])}")
```

### G. Flujo de Caja

Como se puede observar en las Tablas 6 y 7 adjuntas en el cuerpo del informe, en primer lugar, se consideró como ingreso al flujo los ahorros proyectados en los costos de vencimientos tras la implementación de la solución. Luego, la única salida de dinero en el flujo se asoció a la mano de obra líquida junto a su impuesto a la renta respectivo. Finalmente, con ambos flujos definidos, se obtuvieron las utilidades después de los impuestos, el flujo de caja operativo, de capital y privado, con los cuales, junto a la tasa de descuento, se obtuvo el VAN final observado en la Tabla 6.