



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

**Rediseño del proceso de planificación de abastecimiento de materias primas  
para Goodyear Colombia**

Sebastian Ordoñez Zamudio

Proyecto de grado entregado para obtener el título de  
**Magister en Ingeniería**

Dirigido por:  
Juan Guillermo Aristizábal, MBA

Pontificia Universidad Javeriana Cali Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Maestría en Ingeniería Industrial  
Santiago de Cali  
03 de junio de 2026

## **Resumen**

Este proyecto tuvo como propósito rediseñar el proceso de abastecimiento de materias primas en la planta de Goodyear Colombia. Se identificaron problemas derivados de múltiples factores que generaban costos excesivos y riesgos de interrupción de la actividad en la planta. La metodología consistió en la revisión de la literatura y en un análisis comparativo entre la estrategia de abastecimiento de la empresa y lo establecido en la literatura, así como con otras plantas de la región latinoamericana, con el fin de identificar brechas y proponer mejoras a dicha estrategia mediante la adopción de prácticas líderes en la planificación del abastecimiento. Asimismo, se validaron las mejoras propuestas y se definieron mecanismos de monitoreo y control mediante nuevas métricas, orientadas a mitigar los costos adicionales y los riesgos asociados a la interrupción de la actividad productiva.

**Palabras claves:** planificación de requerimientos de materiales (MRP), inventario administrado por el proveedor (VMI), gestión de inventarios, abastecimiento, prácticas líderes de planificación, explosión de materiales (BOM).

## **Abstract**

This project aimed to redesign the raw material supply process at the Goodyear Colombia plant. Problems derived from multiple factors that generated excessive costs and risks of operational disruption were identified. The methodology consisted of a literature review and a comparative analysis between the company's supply strategy and the approaches established in the literature, as well as with other plants in the Latin American region, to identify gaps and propose improvements through the adoption of leading practices in supply planning. Furthermore, the proposed improvements were validated, and monitoring and control mechanisms were defined using new performance metrics aimed at mitigating additional costs and risks associated with production interruptions.

**Key words:** Material Requirements Planning (MRP), Vendor Managed Inventory (VMI), inventory management, supply planning, best planning practices, Bill of Materials (BOM).

## Tabla de contenido

|    |                                                  |    |
|----|--------------------------------------------------|----|
| 1. | Lista de Tablas .....                            | iv |
| 2. | Lista de Figuras .....                           | iv |
| 1. | Capítulo 1: Introducción .....                   | 5  |
| 2. | Capítulo 2: Marco de referencia conceptual ..... | 17 |
| 3. | Capítulo 3: Metodología .....                    | 24 |
| 4. | Capítulo 4: Desarrollo del trabajo .....         | 28 |
| 5. | Capítulo 5: Conclusiones .....                   | 69 |
| 6. | Capítulo 6: Referencias Bibliográficas .....     | 72 |

## 1. Lista de Tablas

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Estimación de sobrecostos asociados al proceso de abastecimiento bajo el esquema actual (2023-2024)..... | 10 |
| Tabla 2. Nivel de servicio por categoría.....                                                                     | 34 |
| Tabla 3. Validación resultada de modelo AMPL en Excel.....                                                        | 54 |
| Tabla 4. Año 1.....                                                                                               | 60 |
| Tabla 5. Año 2.....                                                                                               | 61 |
| Tabla 6. Año 3 (Q1).....                                                                                          | 62 |
| Tabla 7. Comparación de los 3 periodos.....                                                                       | 63 |
| Tabla 8. Costo por kilo de caucho natural de Colombia vs Indonesia.....                                           | 66 |
| Tabla 9. Sobrecostos por compras urgentes.....                                                                    | 67 |

## 2. Lista de Figuras

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Flujo del proceso de planificación de abastecimiento.....      | 6  |
| Figura 2. Estructura organizacional de supply chain.....                 | 7  |
| Figura 3. Órdenes de compra con llegadas a tiempo vs atrasadas.....      | 11 |
| Figura 4. Órdenes de compra totales del 2022.....                        | 11 |
| Figura 5. Órdenes de compra con llegadas a tiempo vs atrasadas 2023..... | 12 |
| Figura 6. Órdenes de compra totales del 2023.....                        | 12 |
| Figura 7. Órdenes de compra con llegadas a tiempo vs atrasadas 2024..... | 13 |
| Figura 8. Órdenes de compra totales del 2024.....                        | 13 |
| Figura 9. Ocho razones de inventario.....                                | 38 |
| Figura 10. Parámetros recomendados.....                                  | 41 |
| Figura 11. Calendario de la planta.....                                  | 41 |
| Figura 12. Explosión de materiales.....                                  | 42 |
| Figura 13. Flujograma del proceso.....                                   | 43 |
| Figura 14. Simulación de materia prima en Excel.....                     | 45 |
| Figura 15. Simulación de materia prima en VMI.....                       | 46 |
| Figura 16. Archivo. <b>mod</b> .....                                     | 51 |
| Figura 17. Archivo. <b>dat</b> .....                                     | 52 |
| Figura 18. Archivo. <b>run</b> .....                                     | 53 |
| Figura 19. Resultados del modelo.....                                    | 53 |
| Figura 20. Costo por kilo caucho natural.....                            | 66 |
| Figura 21. Dashboard de indicadores.....                                 | 68 |

## **1. Capítulo 1: Introducción**

Contar con un excelente proceso de abastecimiento de materias primas es fundamental en la industria manufacturera. En el caso específico de Goodyear Colombia, una buena gestión del proceso de abastecimiento resultó clave para cumplir con la demanda del mercado y mantener el flujo de producción constante en la planta. Durante el periodo de estudio, Goodyear Colombia presentó diversas problemáticas asociadas con este proceso, dado a factores externos e internos, las cuales generaron sobre costos y riesgos de parada de planta.

El presente proyecto de grado se enfocó en el rediseño del proceso de planificación del abastecimiento de materias primas en Goodyear Colombia, para lo cual se realizó una revisión de la literatura y un benchmarking estructurado con las demás plantas de la región de Latinoamérica, en el contexto de la ejecución del proceso de abastecimiento. Dicho benchmarking se llevó a cabo mediante el análisis comparativo de métricas de desempeño, procedimientos operativos y herramientas de planeación utilizadas en cada planta, así como a través de entrevistas semiestructuradas con la gerente de supply chain de Latinoamérica y con los coordinadores de planeación de las plantas de Chile y Brasil.

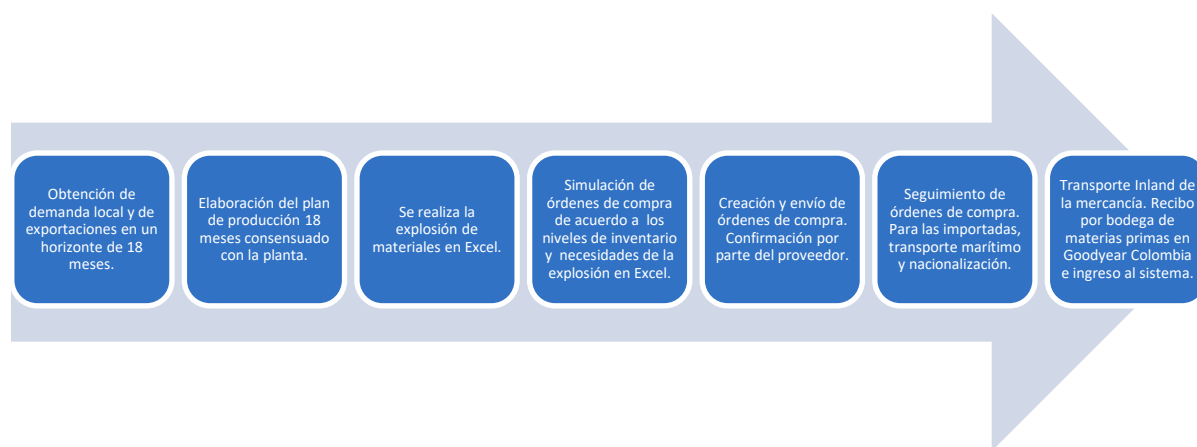
Adicionalmente, se realizó el análisis de datos históricos obtenidos del sistema SAP, junto con la evaluación comparativa de KPIs asociados al proceso de abastecimiento. A partir de esta información, se identificaron, analizaron y adaptaron las prácticas líderes de planeación de acuerdo con los requerimientos de la planta de Colombia. Asimismo, se validaron las ventajas de dichas prácticas y se crearon mecanismos de monitoreo y control sobre los sobre costos asociados al abastecimiento, con el fin de mejorar el proceso de planificación del abastecimiento, minimizando costos adicionales y riesgos de paradas de planta.

### **1.1. Planteamiento del problema**

Goodyear Tire & Rubber Company es una de las empresas más grandes de fabricación de neumáticos a nivel mundial; cuenta con alrededor de 71.000 empleados y fabrica sus productos en 55 plantas ubicadas en 22 países. Goodyear Colombia es la única planta productora de llantas en el

país; está ubicada en Yumbo y se especializa en la fabricación de llantas de camión. La planta tiene una capacidad de fabricación aproximada de 1.200 llantas por día, lo que representa cerca de 36.000 unidades mensuales. En este contexto, el proceso de planificación del abastecimiento es un factor clave para que el proceso de fabricación sea efectivo y continuo. La Figura 1 describe las etapas del proceso de planificación del abastecimiento.

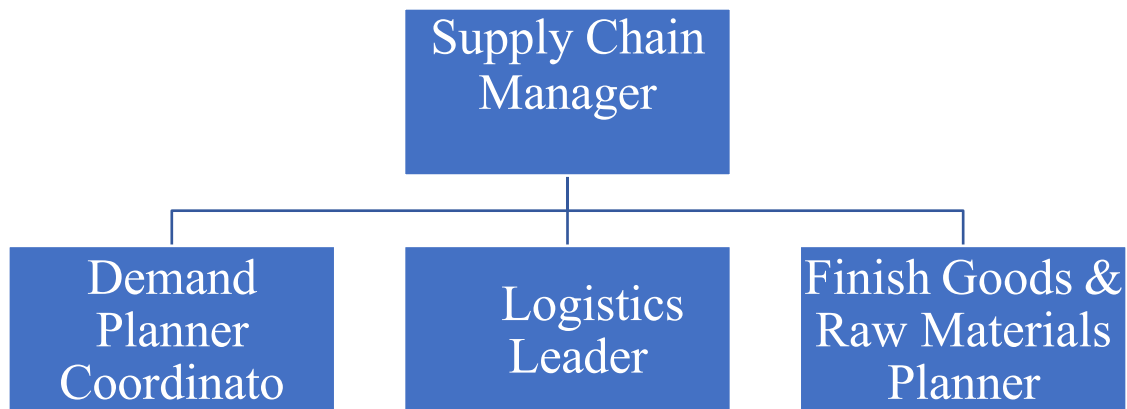
*Figura 1. Flujo del proceso de planificación de abastecimiento*



*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

El proceso de planificación del abastecimiento de Goodyear Colombia es dirigido por el área de supply chain, como se muestra en la Figura 2. Esta área está conformada por el gerente de supply chain, el coordinador de demanda y servicio al cliente, el líder de logística y el planeador de producto terminado y materias primas.

*Figura 2. Estructura organizacional de supply chain*



*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

La planificación del abastecimiento está a cargo del planeador de producto terminado y materias primas. A continuación, se explica el proceso que se observa en la Figura 1. Las definiciones de algunos conceptos se encuentran en el Capítulo 2, en la sección correspondiente al marco de referencia conceptual. La demanda de producto terminado para el mercado local y para exportaciones da inicio al proceso; dichas demandas se actualizan mensualmente en un horizonte de 18 meses. A través de un sistema denominado SPE, se crea el plan de producción M+1, teniendo en cuenta la demanda del mercado internacional, la cual se gestiona bajo pedido, la demanda del mercado local, los inventarios iniciales, los pedidos pendientes por falta de inventario, la restricción de moldes, los días de trabajo y las llantas producidas por día.

Una vez el área de supply chain crea el plan de producción, este se envía al área de control de producción para evaluar su viabilidad y confirmar la producción de todas las unidades. Posteriormente, control de producción entrega el plan de producción diario del mes. Con base en este plan, se confirma la demanda del mercado local y de exportaciones para el mes siguiente. Nuevamente, a través del sistema SPE, se crea el plan de producción mensual, con un horizonte de 18 meses, el cual es validado y confirmado por la planta.

Con base en el plan de producción con un horizonte de 18 meses, se lleva a cabo la explosión de materiales mediante herramientas de análisis en Excel, a partir de la cual se determinan los requerimientos de materias primas. Posteriormente, en una plantilla complementaria, se realiza la

simulación de los requerimientos de compra para la totalidad de las materias primas, considerando las políticas de inventario y los plazos de abastecimiento. A partir de dicha simulación, se procede a la creación y envío de las órdenes de compra en el sistema SAP, las cuales son confirmadas por los proveedores. Durante esta etapa, se realiza el seguimiento continuo de cada orden de compra para asegurar el cumplimiento de las fechas comprometidas. Dependiendo del Incoterm acordado, las materias primas importadas se recogen en la planta de origen, en el puerto de origen o en el puerto de destino; posteriormente, se ejecuta el proceso de nacionalización y el despacho desde el puerto hasta la planta. En el caso de las compras locales, el proveedor realiza la entrega directamente en la planta. Finalmente, el área de bodega efectúa el recibo físico de la mercancía y registra la información correspondiente en el sistema.

El proceso descrito anteriormente resulta sencillo a nivel teórico; sin embargo, en la práctica presenta múltiples inconvenientes. En Goodyear Colombia se evidencian actualmente diversos desafíos asociados al abastecimiento de materias primas, los cuales se originan principalmente en retrasos logísticos derivados de situaciones climatológicas, como las restricciones en el Canal de Panamá; conflictos sociopolíticos, como los ocurridos en el Mar Rojo; congestión en puertos; y una disminución en la confiabilidad de la programación de envíos en la ruta comercial Suramérica–Norteamérica. Adicionalmente, la existencia de pronósticos de demanda inexactos genera variaciones en la proporción de las referencias a producir y, en consecuencia, consumos de materias primas distintos a los planeados, lo que impacta negativamente los costos del proceso.

Las materias primas importadas se planifican con un nivel de inventario entre 45 y 60 días, considerando el stock disponible en bodega y los tiempos de tránsito asociados. No obstante, los tiempos de entrega de los proveedores y la duración del tránsito marítimo presentan variaciones significativas dependiendo del origen y del tipo de materia prima. En este contexto, el comportamiento de los tiempos de entrega es analizado estadísticamente a partir de datos históricos, con el fin de caracterizar su variabilidad, identificar patrones y evaluar su impacto en la planificación del abastecimiento.

Las materias primas provenientes del continente americano no representan mayores

inconvenientes, dado que el tránsito marítimo promedio es inferior a 30 días. Colombia cuenta con la ventaja logística de disponer de dos puertos principales, Cartagena y Buenaventura, lo que facilita la recepción de materiales. En contraste, las materias primas provenientes de Asia enfrentan desafíos logísticos significativos. Los tiempos de tránsito oscilan entre 30 y 60 días, por lo que cualquier retraso en el transporte marítimo puede afectar de manera crítica la continuidad de la operación de la planta. Adicionalmente, la frecuencia de zarpes suele ser semanal o quincenal, lo que implica que un retraso de un solo día puede traducirse en atrasos de entre 7 y 15 días. Factores como la congestión marítima, los conflictos sociopolíticos y las condiciones climáticas adversas intensifican aún más esta problemática.

Actualmente, como consecuencia de la alta variabilidad del mercado, se presentan fluctuaciones significativas en la demanda. El objetivo de la planta es mantener niveles adecuados de inventario de producto terminado que permitan atender tanto el mercado local como las exportaciones. En este contexto, la planta opera con un alto grado de flexibilidad, ajustando el plan de producción de acuerdo con las necesidades del mercado.

Si bien el plan de producción se elabora aproximadamente 15 días antes del inicio de cada mes y se proyecta con un horizonte de hasta 18 meses, los cambios repentinos en la demanda obligan a realizar ajustes frecuentes durante el mismo periodo de ejecución. El objetivo principal de estos ajustes es maximizar las ventas y evitar pérdidas asociadas a la falta de inventario. No obstante, esta dinámica genera variaciones significativas en el consumo de materias primas respecto a lo planificado, lo que se traduce en un consumo más acelerado o lento de las mismas, afectando la precisión del proceso de planificación del abastecimiento.

Para dar soporte a lo anterior, se implementan alternativas de abastecimiento no planificadas, como la compra de materias primas a otras plantas de Goodyear ubicadas en el continente americano, con el fin de cubrir requerimientos urgentes. Este tipo de abastecimiento implica un mayor costo frente al proveedor establecido, dado que el precio de transferencia incluye todos los gastos asociados hasta la planta que brinda el soporte y, adicionalmente, se deben asumir los costos logísticos necesarios para la importación a Colombia. Para cumplir con estos requerimientos urgentes, se emplean modalidades de transporte acelerado “expedite freight”, las cuales corresponden a fletes marítimos con tarifas significativamente más altas que aquellas negociadas previamente en las

licitaciones con las navieras. De manera adicional, se recurre al transporte aéreo como alternativa extrema, siendo esta la opción que genera el mayor sobrecosto para la operación.

En el año 2022 se registró un sobrecosto total de 426.000 USD, derivado de alternativas de abastecimiento no planificadas. De este valor, 285.000 USD correspondieron a la compra de materias primas a otras plantas de Goodyear, 125.000 USD a la utilización de transporte acelerado (expedite freight) y 16.000 USD al uso de transporte aéreo.

Con base en estos resultados, se realizó en su momento un ejercicio de estimación de sobrecostos para los años 2023 y 2024, considerando la inflación real y bajo el supuesto de la continuidad del proceso de abastecimiento vigente en ese periodo. Los resultados de dicha estimación se presentan en la Tabla 1, la cual permitió dimensionar el impacto económico esperado de mantener el esquema actual de planificación del abastecimiento y sirvió como insumo para justificar la necesidad de su rediseño.

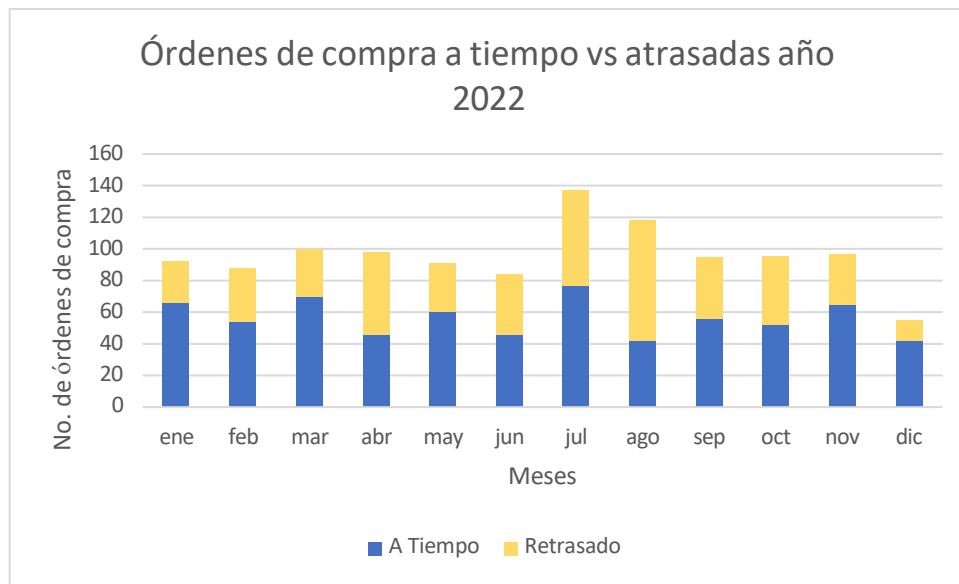
*Tabla 1. Estimación de sobrecostos asociados al proceso de abastecimiento bajo el esquema actual (2023-2024)*

|                      | <b>2022</b>       | <b>2023</b>       | <b>2024</b>       |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Inflación            | -                 | 9.3%              | 5.2%              |
| Compra Materia Prima | \$ 285,000        | \$ 311,448        | \$ 327,643        |
| Expedite Freight     | \$ 125,000        | \$ 136,600        | \$ 143,703        |
| Aéreo                | \$ 16,000         | \$ 17,485         | \$ 18,394         |
| <b>Total</b>         | <b>\$ 426,000</b> | <b>\$ 465,533</b> | <b>\$ 489,741</b> |

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

A continuación, se presentan las Figuras 3 a 8, en las cuales se analiza el comportamiento de las órdenes de compra en términos de cumplimiento de fechas de entrega y volumen total, para los años 2022, 2023 y 2024.

Figura 3. Órdenes de compra con llegadas a tiempo vs atrasadas



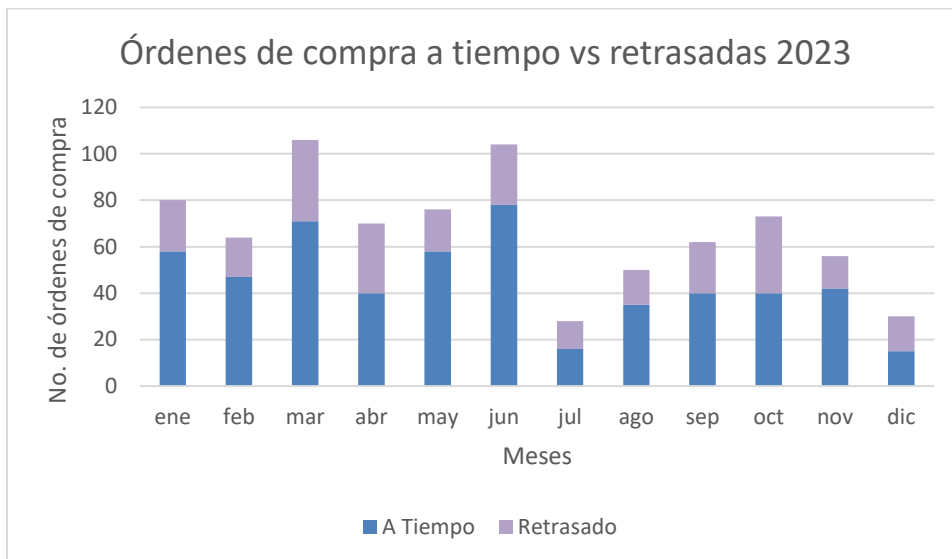
Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Figura 4. Órdenes de compra totales del 2022



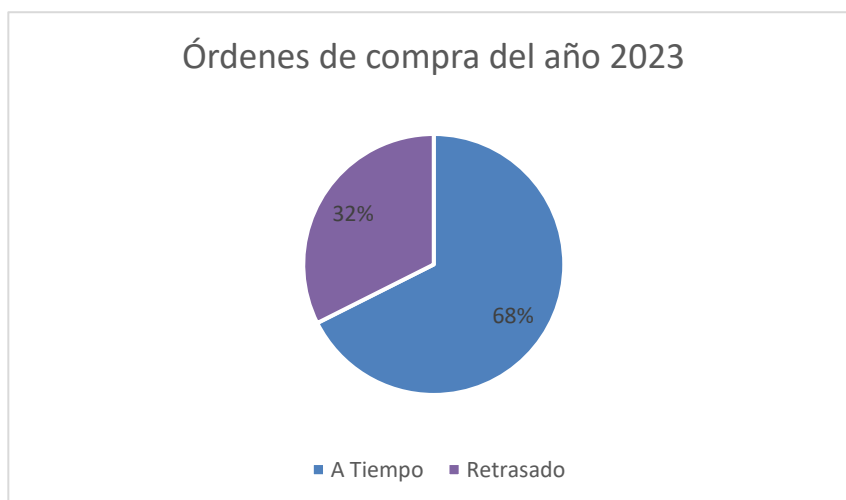
Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Figura 5. Órdenes de compra con llegadas a tiempo vs atrasadas 2023



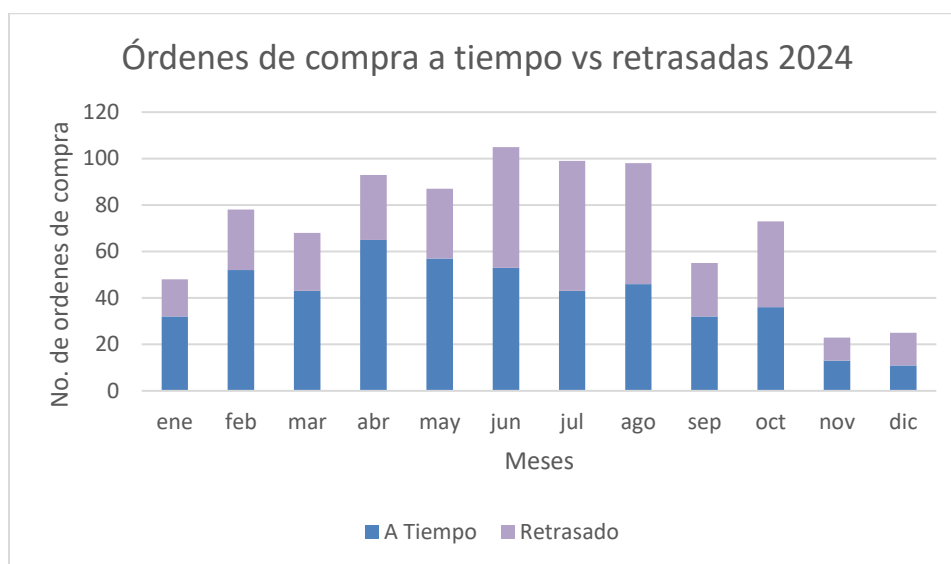
Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Figura 6. Órdenes de compra totales del 2023



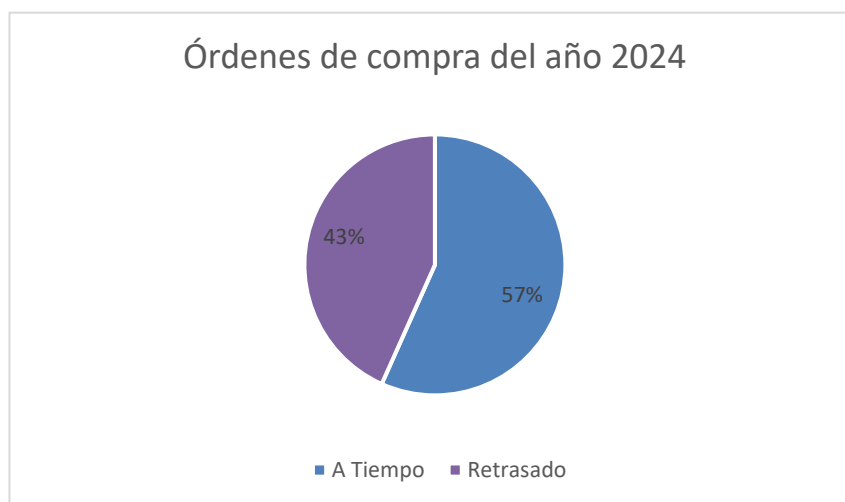
Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Figura 7. Órdenes de compra con llegadas a tiempo vs atrasadas 2024



Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Figura 8. Órdenes de compra totales del 2024



Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

A partir de la información presentada en las Figuras 3 a 8, se evidencia que la falta de un proceso de planificación de abastecimiento óptimo genera sobrecostos que impactan negativamente la operación y aumenta el riesgo de paradas de planta. En particular, la Figura 3 presenta la comparación entre órdenes de compra con llegadas a tiempo y atrasadas durante el año 2022, mientras que la Figura 4 muestra el total de órdenes de compra correspondientes a dicho año. De

manera similar, la Figura 5 y la Figura 6 ilustran este mismo comportamiento para el año 2023, evidenciando la persistencia de entregas fuera de la fecha comprometida en relación con el volumen total de órdenes generadas. Finalmente, la Figura 7 y la Figura 8 reflejan la situación observada durante el año 2024, confirmando que los atrasos en las entregas continúan siendo un factor recurrente. En conjunto, estos resultados permiten identificar deficiencias estructurales en la planificación del abastecimiento, lo que refuerza la necesidad de implementar mejoras orientadas a la reducción de sobrecostos y a la mitigación de riesgos operativos.

## **1.2. Pregunta de investigación**

¿Cómo rediseñar el proceso de planificación del abastecimiento de materias primas en Goodyear Colombia mediante la identificación y adaptación de prácticas líderes de planeación, evaluadas con base en criterios de desempeño como costos, confiabilidad en los tiempos de entrega y continuidad operativa, con el fin de reducir sobrecostos y riesgos de paradas en los procesos productivos?

## **1.3. Objetivo general**

Rediseñar el proceso de planificación del abastecimiento de materias primas de Goodyear Colombia mediante el análisis del proceso actual y la adaptación de prácticas líderes de planeación evaluadas bajo criterios de desempeño económico y operativo, con el fin de reducir sobrecostos y riesgos de paradas en los procesos productivos.

## **1.4. Objetivos específicos**

- Identificar prácticas líderes de planeación del abastecimiento, evaluadas bajo criterios de desempeño económico y operativo, que puedan aplicarse al proceso de planificación del abastecimiento, mediante la revisión de literatura y un benchmarking con otras plantas de Goodyear en la región de Sudamérica.
- Actualizar y estandarizar el proceso de planificación del abastecimiento de materias

primas en la planta de Goodyear Colombia, a partir de la adaptación de las prácticas líderes de planeación identificadas, mediante la definición de procesos y procedimientos y su socialización con las áreas involucradas.

- Validar el impacto de las prácticas líderes de planeación implementadas en los indicadores de desempeño del proceso de abastecimiento, mediante el uso de herramientas analíticas y/o de simulación.
- Definir mecanismos de monitoreo y control de los sobrecostos y de las paradas en los procesos productivos asociados a problemas de abastecimiento, mediante la implementación de un tablero de indicadores (dashboard) y/o reuniones periódicas de seguimiento.

### **1.5. Resultados esperados**

En este proyecto se espera obtener:

- Un listado de prácticas líderes de planeación del abastecimiento, evaluadas bajo criterios de desempeño económico y operativo.
- Prácticas líderes de planeación desarrolladas y adaptadas a las necesidades de la planta de Goodyear Colombia.
- Validación del impacto de las prácticas líderes de planeación implementadas mediante el uso de herramientas analíticas y/o de simulación.
- Definición de mecanismos de monitoreo y control a través de un dashboard y/o una hoja de vida de indicadores.

Este proyecto se presenta con el propósito de rediseñar el proceso de planificación del abastecimiento de materias primas en la planta de Goodyear Colombia, con el fin de reducir los sobrecostos y mitigar los riesgos operativos asociados a la disponibilidad de materias primas, incluyendo el riesgo de paradas de planta.

El área de supply chain se beneficiará mediante la mejora de sus indicadores de desempeño, la

reducción de costos logísticos y un mayor control sobre las órdenes de compra y los niveles de inventario de materias primas. Adicionalmente, se espera una disminución en la recurrencia de compras urgentes, fletes aéreos, expedite freight y adquisiciones de materias primas a mayor costo desde otras plantas, contribuyendo a un inventario más saludable y a la reducción del riesgo de vencimiento de materiales.

El área de control de producción se beneficiará a través de una mayor estabilidad en el plan de producción, reduciendo la frecuencia de ajustes derivados de la escasez de materias primas. De acuerdo con registros históricos de desempeño operativo e indicadores internos de la planta, la falta de disponibilidad oportuna de materias primas ha generado reprogramaciones del plan de producción y eventos de detención o desaceleración de procesos productivos, los cuales se traducen en tiempos improductivos asociados a cambios de moldes, desperdicio de compuestos, ajustes en formulaciones y afectación de los indicadores operativos de la planta, representando sobrecostos para el proceso productivo.

Finalmente, las áreas de finanzas y ventas se beneficiarán al contar con un producto terminado a menor costo, una mayor confiabilidad en el cumplimiento de pedidos y una mejora en el flujo de caja.

En conjunto, el proyecto contribuirá a la reducción de sobrecostos y a la mitigación de los riesgos asociados al abastecimiento de materias primas en la única planta de fabricación de llantas en Colombia.

## **2. Capítulo 2: Marco de referencia conceptual**

Este capítulo presenta el marco de referencia conceptual del estudio y se estructura en dos partes. En primer lugar, se desarrolla la revisión de la literatura, en la cual se analizan los principales enfoques y modelos de planificación del abastecimiento en entornos industriales, con el fin de fundamentar teóricamente la investigación. En segundo lugar, se presenta el marco teórico, donde se definen los conceptos clave utilizados en el contexto de Goodyear Colombia, facilitando la comprensión del sistema de abastecimiento analizado.

### **2.1. Revisión de la literatura**

Una buena gestión del inventario constituye uno de los elementos centrales dentro de la planificación de la cadena de suministro, esta permite equilibrar la disponibilidad de materiales necesarios para la producción, considerando los costos asociados al almacenamiento y al capital de trabajo invertido en inventarios (Silver et al., 2017). En muchos sectores manufactureros, las materias primas representan una proporción significativa del costo total de producción, por lo que la gestión del abastecimiento se convierte en un factor crítico para la competitividad de las organizaciones (Javadi et al., 2025). En este contexto, una planificación eficiente del abastecimiento permite garantizar la continuidad de los procesos productivos, evitar interrupciones en la producción y optimizar el uso del capital de trabajo (Simchi-Levi et al., 2008).

Desde el punto de vista teórico, las políticas de inventario buscan determinar cuánto y cuándo ordenar para satisfacer la demanda al menor costo posible, manteniendo al mismo tiempo un nivel de servicio adecuado (Silver et al., 2017). Los modelos clásicos establecen que las decisiones de reabastecimiento deben equilibrar los costos de mantenimiento de inventario, los costos de ordenar y el riesgo de desabastecimiento, siendo el punto de reorden uno de los elementos fundamentales para definir el momento en que se debe emitir una nueva orden de compra (Zipkin, 2000). En este sentido, la determinación adecuada de los niveles de inventario depende en gran medida del comportamiento estadístico de la demanda y de los tiempos de reposición (Silver et al., 2017).

Uno de los principales desafíos en la gestión de inventarios corresponde a la incertidumbre presente

en los sistemas logísticos, particularmente la variabilidad en la demanda y en los tiempos de entrega (Simchi-Levi et al., 2008). Esta variabilidad puede generar efectos significativos sobre los niveles de inventario requeridos y sobre los costos logísticos de las organizaciones, por lo tanto, los sistemas de inventario deben incorporar mecanismos que logren proteger la operación frente a estas fuentes de incertidumbre (Zipkin, 2000). El inventario de seguridad constituye uno de los instrumentos más utilizados para mitigar el riesgo de desabastecimiento y mejorar la robustez de las políticas de reabastecimiento (Silver et al., 2017).

Dentro de los modelos más estudiados en la literatura se encuentra la política de revisión continua, en la cual el sistema monitorea frecuentemente el nivel de inventario y emite una orden de compra cuando este alcanza un punto de reorden previamente definido (Silver et al., 2017). Este punto se calcula generalmente como la demanda esperada durante el tiempo de reposición más un inventario de seguridad destinado a cubrir la variabilidad del sistema (Silver et al., 2017; Zipkin, 2000). No obstante, cuando existen altos niveles de incertidumbre, estos modelos requieren ser ajustados para incorporar adecuadamente la variabilidad de la demanda y del lead time.

Además de la variabilidad en la demanda, la incertidumbre en los tiempos de entrega representa otro desafío importante en la planificación del abastecimiento (Simchi-Levi et al., 2008). En particular, las materias primas importadas pueden verse afectadas por factores externos como congestión portuaria, retrasos logísticos, condiciones climáticas adversas o conflictos geopolíticos (Christopher, 2016). En este contexto, una mayor variabilidad en el lead time incrementa tanto los costos de inventario como la probabilidad de desabastecimiento si no se incorporan mecanismos adecuados dentro de las políticas de inventario (Mohammed & Mandal, 2023). Asimismo, la incertidumbre en el suministro ha sido ampliamente analizada en la literatura, evidenciando que las empresas pueden beneficiarse de estrategias como la diversificación de proveedores o la asignación de pedidos entre múltiples fuentes para reducir el riesgo logístico (Namdar et al., 2018).

Dentro de las herramientas utilizadas para la planificación del abastecimiento en entornos industriales, el sistema de planificación de requerimientos de materiales (Material Requirements Planning – MRP) ha sido ampliamente utilizado (Orlicky, 1975). Este sistema permite calcular las necesidades de materias primas a partir del plan maestro de producción, las listas de materiales, los niveles de inventario y los tiempos de reposición, facilitando la coordinación entre las áreas de

producción, compras y logística (Simchi-Levi et al., 2008). Sin embargo, el enfoque tradicional del MRP presenta limitaciones en entornos inciertos, ya que utiliza parámetros determinísticos que pueden generar discrepancias frente al comportamiento real del sistema logístico (Orlicky, 1975). Estas limitaciones han sido ampliamente discutidas en la literatura, la cual propone la incorporación de modelos más avanzados que permitan capturar la variabilidad del sistema (Van Foreest & Kilic, 2023). La optimización de parámetros dentro del MRP ha sido abordada mediante modelos de programación entera mixta, los cuales han demostrado mejoras significativas en la reducción de inventarios, atrasos y variabilidad en la planificación (Milne et al., 2015).

Además de las herramientas de planificación internas, la literatura ha resaltado la importancia de la coordinación entre los actores de la cadena de suministro (Simchi-Levi et al., 2008). En particular, el modelo de Vendor Managed Inventory (VMI) ha sido ampliamente estudiado como un mecanismo de colaboración entre proveedores y fabricantes (Lee et al., 2015). Este enfoque permite mejorar la coordinación, reducir los niveles de inventario y aumentar el nivel de servicio mediante el uso de información compartida. Uno de sus principales beneficios es la mitigación del efecto látigo (bullwhip effect), fenómeno en el cual pequeñas variaciones en la demanda generan grandes fluctuaciones en los pedidos a lo largo de la cadena (Lee et al., 2015). La visibilidad de la información permite reducir esta amplificación de la variabilidad y mejorar la estabilidad del sistema logístico (Simchi-Levi et al., 2008).

Por otra parte, enfoques como el Just in Time (JIT) buscan minimizar los niveles de inventario mediante entregas frecuentes de pequeñas cantidades de material (Christopher, 2016). Aunque este enfoque puede reducir significativamente los costos de inventario, también puede incrementar la vulnerabilidad del sistema ante interrupciones logísticas o variabilidad en los tiempos de entrega (Christopher, 2016). Frente a estas limitaciones, el abastecimiento estratégico ha emergido como una práctica clave, orientada a la selección y gestión de proveedores desde una perspectiva de largo plazo (Christopher, 2016). Estrategias como el multi-sourcing permiten reducir la dependencia de un único proveedor y mejorar la resiliencia del sistema frente a interrupciones en el suministro (Namdar et al., 2018).

Babai et al. (2020) analizan el impacto de la variabilidad simultánea en la demanda y en los tiempos de reposición sobre el desempeño de las políticas de inventario, evidenciando que los niveles de

inventario de seguridad deben ajustarse dinámicamente para evitar tanto quiebres como excesos de inventario. Silver et al. (2017) y Zipkin (2000) resaltan la importancia de incorporar modelos probabilísticos en la gestión de inventarios con el fin de capturar adecuadamente la variabilidad del sistema. Adicionalmente, estudios sobre demanda irregular, como los desarrollados por Prak et al. (2017) y Syntetos et al. (2016), demuestran que la selección adecuada del modelo de planificación puede generar mejoras significativas en la precisión de los niveles de inventario y en la reducción de costos logísticos.

En síntesis, la literatura revisada evidencia que la planificación eficiente del abastecimiento requiere integrar modelos de inventario que consideren explícitamente la variabilidad en la demanda y en los tiempos de entrega, herramientas tecnológicas como el MRP, así como estrategias de coordinación y abastecimiento que permitan mejorar la resiliencia de la cadena de suministro frente a la incertidumbre (Silver et al., 2017; Babai et al., 2020; Lee et al., 2015; Namdar et al., 2018).

A pesar de los avances en la literatura, muchos de los modelos de gestión de inventarios y planificación del abastecimiento han sido desarrollados bajo supuestos teóricos que no siempre se cumplen en entornos industriales reales. En la práctica, la variabilidad en la demanda, la incertidumbre en los tiempos de entrega y las restricciones operativas y logísticas limitan la aplicabilidad directa de estos enfoques.

Bajo estas condiciones, resulta relevante analizar en qué medida las prácticas utilizadas en la planta de Goodyear Colombia se alinean con los enfoques teóricos existentes y cómo pueden ser ajustadas para incorporar de manera más robusta la incertidumbre del sistema.

A partir de esta revisión, el presente estudio se enfoca en analizar e implementar prácticas de planificación del abastecimiento en la planta de Goodyear Colombia, integrando herramientas como el MRP, esquemas colaborativos como el Vendor Managed Inventory (VMI) y estrategias de abastecimiento alternativo. Asimismo, se evalúa cómo la implementación de estas prácticas permite mejorar la gestión de inventarios, reducir los costos asociados al abastecimiento y mitigar los riesgos derivados de la variabilidad en la demanda y en los tiempos de reposición.

De esta manera, el estudio no solo describe la práctica empresarial, sino que la contrasta con los enfoques teóricos existentes y propone mejoras fundamentadas en la literatura revisada.

## **2.2. Marco teórico**

A continuación, se presentan los principales conceptos utilizados en el desarrollo del presente estudio, definidos en el contexto operativo de Goodyear Colombia, con el fin de facilitar la comprensión de los términos técnicos empleados en la planificación del abastecimiento.

**Planificación de abastecimiento:** Es el proceso mediante el cual se realiza el aprovisionamiento de materias primas a la planta de producción. Comprende desde los requerimientos de demanda de producto terminado y el plan de producción, con un horizonte de 18 meses, hasta el cálculo de necesidades de materiales, la simulación, la creación y envío de órdenes de compra, el seguimiento del pedido, el tránsito marítimo, el transporte terrestre y, finalmente, el recibo e ingreso de la mercancía en la planta.

**Prácticas líderes de planeación:** Se refiere al conjunto de metodologías, herramientas y buenas prácticas utilizadas en los procesos de planificación del abastecimiento en la industria manufacturera.

**Commercial Tires:** Es la denominación que utiliza Goodyear para las llantas de camión. La planta de Colombia se especializa en este tipo de producto y cuenta con una capacidad de producción de 1.270 llantas por día, equivalente a aproximadamente 38.100 llantas mensuales.

**SAP:** Es un software de planificación de recursos empresariales (ERP) utilizado en Goodyear, en el cual se realiza la creación de órdenes de compra, el registro de ingreso de materias primas y la consulta de inventarios, parámetros de proveedores, entre otros.

**Supply Plan Engine (SPE):** Es un componente de SAP utilizado para la creación del plan de producción de la planta, considerando diferentes parámetros y restricciones. El sistema incorpora la capacidad productiva (días de trabajo y llantas por día), los moldes por referencia, el inventario

actual, la producción del mes en curso, el backorder, la demanda de exportación, la demanda local y el inventario de seguridad.

**M+1:** Hace referencia al mes siguiente al periodo en curso. Se utiliza como base para la creación del plan de producción del siguiente mes. Por ejemplo, si el mes actual es mayo, M+1 corresponde a junio.

**Make to Order (MTO):** Corresponde a la modalidad de producción bajo pedido. En el caso de Goodyear, los productos destinados al mercado de exportación se planifican bajo este esquema, por lo que el inventario de seguridad asociado es prácticamente nulo.

**Backorder:** Corresponde a las unidades pendientes por despachar del mes anterior, lo cual puede originarse por falta de inventario de producto terminado o por la no consecución de bookings para exportación. Generalmente, estas unidades se fabrican en la última semana del mes.

**Working days:** Se refiere a los días efectivos de trabajo en el mes. Este valor suele ser diferente a 30 días debido a factores como asambleas sindicales, días de convención, mantenimientos programados, entre otros.

**Tires per day:** Se refiere a la capacidad diaria de producción de la planta. Actualmente, la capacidad máxima es de 1.270 llantas por día, aunque este valor puede ajustarse según las necesidades operativas.

**Layout:** Es el plan de producción mensual detallado por SKU y por día, en el cual se especifican las referencias a producir, la cantidad de moldes utilizados, así como los tiempos de alistamiento y cambios de molde.

**Net Production:** Es el plan de producción de la planta con un horizonte de 18 meses, utilizado para proyectar la capacidad operativa y evaluar la necesidad de ajustes como contratación de personal o adquisición de nuevos moldes, según las proyecciones de demanda.

**Explosión de materiales:** Es el proceso mediante el cual se determinan las cantidades necesarias de materias primas para la fabricación de un producto, a partir de la lista de materiales (BOM).

**Vendor Managed Inventory (VMI):** Es un esquema en el cual el proveedor gestiona los niveles de inventario del cliente. En Goodyear, se utiliza como herramienta de simulación para los requerimientos de compra, considerando el inventario actual, el consumo proyectado y las órdenes en tránsito.

**Incoterms:** Son reglas internacionales que definen las responsabilidades y riesgos entre comprador y vendedor en operaciones de comercio internacional.

**Expedite freight:** Corresponde a tarifas spot ofrecidas por navieras y forwarders, determinadas por las condiciones del mercado y no incluidas dentro de las negociaciones del tender global.

### **3. Capítulo 3: Metodología**

La investigación se desarrolló en cuatro fases. En la primera fase, se analizaron prácticas de planificación del abastecimiento mediante revisión de literatura especializada y benchmarking con otras plantas de Goodyear en la región de Sudamérica, evaluadas bajo criterios de desempeño económico y operativo. En la segunda fase, dichas prácticas fueron adaptadas al proceso de planificación del abastecimiento de la planta de Goodyear Colombia, mediante la actualización y estandarización de procesos y procedimientos. En la tercera fase, se validaron los beneficios de las prácticas implementadas a través del análisis de indicadores de desempeño y el uso de herramientas analíticas y/o de simulación. Finalmente, en la cuarta fase, se definieron mecanismos de monitoreo y control orientados a la gestión de sobre costos y a la mitigación de riesgos operativos asociados al abastecimiento.

#### **3.1. Fase 1:**

En esta fase inicial, se realizó una revisión de literatura académica y técnica orientada a identificar enfoques, modelos y metodologías utilizadas en la planificación del abastecimiento de materias primas, especialmente aquellas que abordan problemáticas relacionadas con la variabilidad de la demanda, la incertidumbre en los tiempos de entrega y la gestión de inventarios bajo riesgo operativo.

Como primera actividad, se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura en bases de datos académicas y fuentes especializadas, con el propósito de analizar cómo la teoría y la práctica han propuesto soluciones para reducir sobre costos, mejorar la confiabilidad en el abastecimiento y mitigar riesgos de interrupciones productivas.

Como segunda actividad, se recopiló información acerca del proceso de abastecimiento en otras plantas de Goodyear en la región de Latinoamérica, mediante entrevistas semiestructuradas con la gerente de planeación de materias primas para Latinoamérica, el coordinador de planeación de materias primas de la planta de Brasil y el coordinador de planeación de materias primas de la

planta de Chile. Estas entrevistas permitieron identificar diferencias en los procesos, criterios de decisión y mecanismos de control implementados en cada planta.

Finalmente, se consultaron módulos y material técnico de la universidad corporativa de Goodyear, con el fin de complementar la información interna sobre estándares corporativos y lineamientos estratégicos en la planificación del abastecimiento.

### **3.2. Fase 2:**

Una vez identificadas las prácticas de planeación del abastecimiento en la fase anterior, se procedió a evaluar su aplicabilidad al contexto operativo de la planta de Goodyear Colombia. Esta adaptación se realizó considerando criterios como la estructura organizacional, las restricciones logísticas, los tiempos de entrega de proveedores, la variabilidad de la demanda y las políticas internas de inventario.

Posteriormente, se llevó a cabo una reunión virtual de trabajo en la cual se socializaron las prácticas propuestas con el gerente de supply chain de Colombia y el gerente regional de planeación de materias primas. En esta sesión se analizaron los ajustes necesarios para su implementación, se validó su viabilidad operativa y se definieron los cambios requeridos en el proceso actual.

Con base en los acuerdos alcanzados, se procedió a actualizar y estandarizar los procesos y procedimientos asociados a la planificación del abastecimiento, documentando los nuevos lineamientos y definiendo responsabilidades dentro del área de supply chain.

### **3.3. Fase 3:**

En esta fase se validaron los beneficios derivados de la implementación de las prácticas de planeación del abastecimiento adaptadas al proceso de la planta. Para ello, se realizaron análisis financieros orientados a cuantificar la variación en los sobrecostos asociados al abastecimiento, tales como compras urgentes, transporte aéreo y fletes acelerados.

Adicionalmente, se compararon los indicadores de desempeño del proceso propuesto frente a los del proceso actual, considerando métricas como cumplimiento de entregas, variabilidad en el consumo de materias primas y costos logísticos. Esta comparación permitió evaluar el impacto de las mejoras implementadas y determinar su contribución a la reducción de riesgos operativos y sobrecostos.

#### **3.4. Fase 4:**

En esta fase se diseñaron nuevas métricas orientadas al control de sobrecostos logísticos y a la gestión de riesgos asociados a posibles paradas de planta por problemas de abastecimiento. Como resultado, se definieron y consolidaron en un tablero de control (dashboard) tres indicadores clave: uso de expedite freight, transporte aéreo (air freight) y costos por demoras (demurrage), dado que estos representan los rubros con mayor impacto económico en el área de supply chain. El monitoreo periódico de estos indicadores permitió visualizar desviaciones frente a la planificación original y facilitar la toma de decisiones correctivas orientadas a la reducción de sobrecostos.

El proyecto tuvo como objetivo principal identificar y evaluar prácticas de planeación del abastecimiento que permitieran optimizar la planificación de materias primas. Esto implicó un análisis detallado de los procesos involucrados, incluyendo la elaboración de pronósticos de demanda, la definición del plan de producción del mes siguiente y del horizonte de 18 meses, la explosión de materiales, la simulación de requerimientos, la creación y envío de órdenes de compra, su seguimiento, el tránsito marítimo, los procesos de nacionalización y la entrega final de la materia prima a la planta de Goodyear Colombia. Se buscó comprender de manera integral cada etapa del proceso, los recursos requeridos y los desafíos asociados.

Posteriormente, se realizó una revisión de literatura especializada y un benchmarking con plantas filiales de Goodyear en la región de Sudamérica, con el propósito de analizar enfoques, metodologías y soluciones implementadas para mejorar la confiabilidad del abastecimiento y

reducir sobrecostos. Este análisis permitió identificar estrategias exitosas en otros contextos y evaluar su aplicabilidad en la planta de Goodyear Colombia.

Una vez identificadas las prácticas pertinentes, se procedió a su adaptación al contexto local. Este proceso implicó la actualización y estandarización de procesos y procedimientos existentes, así como su socialización con las áreas involucradas. La adaptación consideró factores específicos como la infraestructura logística, la variabilidad de la demanda, los tiempos de entrega de proveedores y las restricciones operativas de la planta.

Posteriormente, se validó el impacto de las prácticas implementadas mediante herramientas analíticas y/o de simulación, evaluando su efecto sobre los indicadores de desempeño del proceso de abastecimiento.

Finalmente, se diseñaron mecanismos de monitoreo y control orientados a la gestión de sobrecostos y a la mitigación de riesgos operativos asociados al abastecimiento de materias primas. Estos mecanismos incluyeron la implementación de un dashboard con indicadores clave y la definición de espacios periódicos de seguimiento, con el fin de garantizar una operación más estable y eficiente.

## **4. Capítulo 4: Desarrollo del trabajo**

### **4.1. Identificación y análisis de prácticas de planeación del abastecimiento:**

Con el propósito de identificar prácticas de planificación del abastecimiento que contribuyeran a mejorar la confiabilidad del proceso y reducir sobrecostos operativos, se realizó un benchmarking con plantas de referencia, complementado con una revisión de literatura especializada en gestión de inventarios bajo incertidumbre, reducción de la variabilidad en los tiempos de entrega y gestión del riesgo en la cadena de suministro.

Estos referentes teóricos permitieron establecer criterios de análisis para evaluar la pertinencia y aplicabilidad de las prácticas observadas. En este sentido, la selección de las prácticas se realizó con base en su impacto en indicadores de desempeño operativo y financiero, tales como la reducción de sobrecostos logísticos, la mejora en el nivel de servicio y la disminución de la variabilidad en el consumo de materias primas.

A partir de este análisis comparativo, se identificó un conjunto de prácticas relevantes para el contexto de la planta de Goodyear Colombia, orientadas a mejorar la eficiencia operativa, reducir costos logísticos y fortalecer la gestión del abastecimiento, las cuales se presentan a continuación.

- Modelo estructurado para la determinación de niveles de inventario

Las plantas analizadas emplean un enfoque basado en ocho factores clave para determinar niveles óptimos y estandarizados de inventario de materias primas. Este modelo permite descomponer el requerimiento total en componentes que reflejan tanto necesidades operativas como fuentes de variabilidad.

Los factores identificados son:

1. Tamaño del lote de fabricación
2. Ciclo de información
3. Tamaño del lote de envío
4. Intervalo de envío

5. Geografía
6. Variación en el suministro
7. Variación en el envío
8. Variación en la demanda

Este enfoque incorpora explícitamente la variabilidad en la demanda y en el suministro dentro del cálculo del inventario, alineándose con los modelos teóricos de inventario bajo incertidumbre y fortaleciendo la gestión del riesgo operativo.

- Generación automática de la explosión de materiales (BOM) en SAP

Otra práctica identificada fue la automatización de la explosión de materiales (Bill of Materials – BOM) directamente en SAP, a partir del plan de producción y de la especificación técnica de cada referencia.

Este mecanismo permite calcular de forma sistemática las necesidades de cada materia prima, reduciendo la dependencia de hojas de cálculo manuales y disminuyendo el riesgo de errores operativos. Asimismo, facilita la actualización oportuna de órdenes de compra ante cambios en el plan de producción.

- Estrategia de Vendor Managed Inventory (VMI)

Las plantas de Chile y Brasil implementan la estrategia de Vendor Managed Inventory (VMI) con proveedores estratégicos. El VMI es un modelo colaborativo de gestión de inventarios en el cual el proveedor asume la responsabilidad de monitorear los niveles de inventario del cliente y generar las reposiciones necesarias, con base en información compartida sobre consumos, inventarios disponibles y órdenes en tránsito (Lee et al., 2015).

Este modelo mejora la visibilidad de la cadena de suministro, reduce la variabilidad en el abastecimiento y disminuye el riesgo de ruptura de inventario, alineándose con enfoques de integración vertical y colaboración en cadenas de suministro descritos en la literatura especializada.

- Optimización de contenedores

Con el fin de reducir sobrecostos logísticos en situaciones de contingencia, se desarrolló un modelo de optimización de contenedores orientado a mejorar la utilización del espacio y la eficiencia en el transporte de materias primas.

Este modelo permite definir combinaciones óptimas de carga considerando restricciones de coberturas de inventario y capacidad del contenedor, lo cual contribuye a minimizar el número de envíos requeridos y reducir costos asociados a fletes extraordinarios. La optimización del transporte se alinea con enfoques de eficiencia logística que destacan la importancia de mejorar la utilización de recursos para reducir costos en la cadena de suministro.

- Proveedores alternos

Como parte de la estrategia de reducción de riesgos en el abastecimiento, se llevó a cabo la identificación y homologación de proveedores alternativos locales para materias primas críticas. Esta práctica permite disminuir la dependencia de proveedores internacionales, reducir los tiempos de entrega y mejorar la capacidad de respuesta ante interrupciones en el suministro.

El uso de múltiples fuentes de abastecimiento ha sido ampliamente recomendado en la literatura como una estrategia para mejorar la resiliencia de la cadena de suministro y mitigar riesgos asociados a la variabilidad en los tiempos de entrega.

- Análisis financiero

Con el objetivo de evaluar el impacto de las prácticas implementadas, se realizó un análisis financiero basado en indicadores clave de desempeño, tales como el nivel de inventario, los días de inventario, el costo por kilogramo de materia prima y los sobrecostos logísticos.

Los resultados evidencian una mejora significativa en la eficiencia del sistema, reflejada en la reducción del capital de trabajo invertido en inventarios y en la disminución de costos asociados al abastecimiento.

Estos resultados son consistentes con lo planteado en la literatura, donde se establece que una adecuada gestión de inventarios y una mejor coordinación en la cadena de suministro contribuyen a optimizar el uso del capital y mejorar el desempeño financiero de las organizaciones.

Para precisar el alcance del análisis, se define una práctica líder de planeación del abastecimiento como toda metodología, herramienta o esquema de gestión que, habiendo sido implementado en entornos industriales comparables, demuestra un impacto positivo y medible en al menos uno de los siguientes criterios de desempeño: reducción de sobrecostos logísticos, mejora en el nivel de servicio y confiabilidad de entregas, optimización de los niveles de inventario y capital de trabajo, o reducción del riesgo de interrupción productiva por desabastecimiento.

Cada práctica fue evaluada considerando su fundamento teórico, sus supuestos de aplicación y los requisitos para su implementación. El modelo de las ocho razones de inventario se fundamenta en los modelos de revisión continua bajo incertidumbre (Silver et al., 2017; Zipkin, 2000) y requiere datos históricos de consumo y lead time de al menos doce meses por material. El MRP en SAP se basa en el enfoque clásico de planificación de requerimientos de materiales (Orlicky, 1975; Milne et al., 2015) y opera bajo el supuesto de que la BOM está actualizada y el plan de producción validado.

La simulación mediante VMI toma como referencia los esquemas colaborativos proveedor-cliente documentados por Lee et al. (2015) y asume que los datos de inventario y órdenes en tránsito se actualizan diariamente en SAP. El modelo de optimización de contenedores se apoya en la programación entera mixta (Morillo & Gatica, 2022) y requiere consumos proyectados confiables para los materiales críticos. Finalmente, la homologación de proveedores alternos se sustenta en las estrategias de multi-sourcing y resiliencia descritas por Namdar et al. (2018) y su aplicabilidad depende de la existencia de proveedores locales con capacidad técnica certificable.

La validación de cada práctica se realizó mediante la comparación de indicadores de desempeño antes y después de su implementación, utilizando los DSI, el valor del inventario en USD, el costo promedio por kilogramo y los sobrecostos por compras urgentes, reportados en la Sección 4.7. De esta manera, la selección de las prácticas no se basó únicamente en su uso en otras plantas de Goodyear, sino en su alineación con la literatura especializada y en su capacidad demostrable de generar mejoras medibles en el contexto operativo de la planta de Colombia.

## 4.2. Ocho razones de inventario

Para garantizar un control efectivo del inventario de materias primas, la política de inventario debe fundamentarse en un análisis estructurado que incorpore las variables que afectan el suministro y la variabilidad del proceso. En la planta de Goodyear Colombia, se había establecido como lineamiento general que las materias primas importadas debían mantenerse en un rango de 45 a 60 días de inventario, mientras que las materias primas locales no debían superar los 30 días. Sin embargo, este criterio se aplicaba de manera homogénea, sin diferenciar las fuentes específicas de variabilidad que inciden en cada material.

A partir del benchmarking realizado en las plantas de Chile y Brasil, se identificó un modelo estructurado de determinación de inventarios denominado internamente como el modelo de las “ocho razones de inventario” (Goodyear, 2017). Este modelo establece que el nivel óptimo de inventario debe calcularse considerando de manera independiente los factores que explican la necesidad de mantener existencias, en lugar de aplicar un número fijo de días de cobertura.

La metodología descompone el inventario total requerido en ocho factores clave que influyen en la gestión de abastecimiento:

1. **Tamaño del lote de fabricación:** Cantidad mínima de producción requerida por el proveedor en cada orden de compra.
2. **Ciclo de información:** Determina si la compra es local o una importación, afectando los tiempos y procesos logísticos.
3. **Tamaño del lote de envío:** Cantidad mínima de material que el proveedor despacha en cada embarque.
4. **Intervalo de envío:** Frecuencia con la que se realizan los despachos de materia prima.
5. **Geografía:** Ubicación del proveedor y su impacto en los tiempos de entrega y costos logísticos.
6. **Variación en el suministro:** Desviaciones en los tiempos de entrega debido a problemas con el proveedor o retrasos en la cadena de suministro.
7. **Variación en el envío:** Fluctuaciones en la frecuencia de los despachos, considerando factores como congestión portuaria, disponibilidad de transporte o demoras en aduanas.

8. **Variación en la demanda:** Cambios en el consumo de materia prima debido a variaciones en la producción o en la demanda del mercado.

Este enfoque permitió cuantificar de manera diferenciada cada componente del inventario y determinar, para cada materia prima, los niveles de inventario mínimo, máximo y el punto de reposición, incorporando tanto el inventario disponible en planta como el inventario en tránsito. De esta forma, el cálculo del inventario dejó de basarse en rangos generales de cobertura y pasó a fundamentarse en variables operativas y logísticas específicas de cada material.

Para su aplicación en la planta de Goodyear Colombia, la metodología se implementó mediante una plantilla estandarizada en Microsoft Excel, desarrollada y utilizada previamente en otras plantas de la región. Esta herramienta facilitó la aplicación sistemática del modelo para cada materia prima y aseguró consistencia en la definición de los niveles de inventario.

El proceso de implementación de esta metodología se desarrolló a través de los siguientes pasos:

### **1. Organización de los Datos**

Inicialmente, se listaron todas las materias primas y se clasificaron según su origen, diferenciando entre proveedores locales e importados. Adicionalmente, se aplicó la clasificación ABC, la cual segmenta los materiales de acuerdo con su importancia relativa en función del costo y el consumo anual.

Las categorías se definieron de la siguiente manera:

- **Categoría A:** Materiales de alto costo y consumo frecuente.
- **Categoría B:** Materiales de costo y consumo intermedio.
- **Categoría C:** Materiales de bajo costo y menor consumo.

Esta segmentación permitió priorizar la gestión de inventarios según el impacto financiero y operativo de cada materia prima, alineándose con los principios clásicos de control de inventarios (Flores & Whybark, 1986).

## 2. Análisis del Consumo Histórico

Posteriormente, se extrajo la información del consumo correspondiente a los últimos 12 meses, a partir de los registros del sistema SAP. Con base en estos datos, se calcularon dos métricas clave para cada materia prima:

- Consumo promedio mensual y diario de cada materia prima.
- Desviación estándar del consumo anual, la cual mide la variabilidad en la demanda y permite estimar la incertidumbre en el consumo futuro.

Este análisis facilitó la determinación del stock de seguridad requerido para mitigar fluctuaciones en la demanda y reducir el riesgo de ruptura de inventario.

## 3. Determinación del Nivel de Servicio

El nivel de servicio se definió como la probabilidad de no incurrir en quiebres de inventario durante el tiempo de reposición. En la Tabla 2, se observan los niveles de servicio por categoría, los niveles se establecieron en función de la clasificación ABC y del origen del material, considerando su impacto financiero y el riesgo logístico asociado.

*Tabla 2. Nivel de servicio por categoría*

| Categoría | Importados | Locales |
|-----------|------------|---------|
| A         | 80%        | 90%     |
| B         | 75%        | 85%     |
| C         | 70%        | 80%     |

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

## 4. Definición de Parámetros de Abastecimiento

Posteriormente, se definieron los parámetros operativos necesarios para caracterizar el proceso de reposición de cada materia prima. Estos incluyeron:

- **Tiempo de tránsito:** Duración estimada del transporte de la materia prima desde el proveedor hasta la planta.
- **Frecuencia de embarques:** Intervalo con el que se realizan los despachos del material.
- **Tipo de carga:** Determina si el material se transporta en contenedores completos (*full container load*) o en carga suelta (*less than container load*), lo que impacta en los costos y tiempos logísticos.

## 5. Cálculo del stock de seguridad:

El stock de seguridad se determinó utilizando el modelo clásico de revisión continua, ampliamente documentado en la literatura de gestión de inventarios (Silver et al., 2017).

Bajo el supuesto de que la demanda sigue una distribución normal y considerando variabilidad tanto en la demanda como en el tiempo de reposición, el stock de seguridad se calculó mediante la siguiente expresión:

*Ecuación Número 1. Stock de seguridad*

$$SS = Z \cdot \sqrt{L\sigma_D^2 + \bar{D}^2\sigma_L^2}$$

Donde:

- **SS:** stock de seguridad
- **Z:** factor asociado al nivel de servicio
- **$\sigma_D$ :** desviación estándar de la demanda
- **L:** tiempo promedio de reposición
- **D:** demanda promedio
- **$\sigma_L$ :** desviación estándar del tiempo de entrega

Esta formulación permitió incorporar explícitamente la variabilidad del consumo y del suministro en la determinación del inventario de respaldo.

## 6. Cálculo del stock máximo:

El stock máximo representa el nivel superior de inventario permitido con el fin de evitar excesos que generen costos innecesarios de almacenamiento, manteniendo al mismo tiempo la disponibilidad de materiales para la operación. Este nivel se calcula considerando el consumo esperado durante el intervalo de abastecimiento y el stock de seguridad previamente definido. En términos operativos, este valor puede ser ajustado a múltiplos del tamaño mínimo de lote exigido por el proveedor, con el fin de asegurar la viabilidad logística del abastecimiento. Esta formulación representa una adaptación del modelo de revisión continua a condiciones reales de operación (Silver et al., 2017).

*Ecuación Número 2. Stock máximo*

$$SM = D \cdot T + SS$$

Donde:

- **SM:** stock máximo
- **D:** consumo promedio diario
- **T:** intervalo de envío
- **SS:** stock de seguridad

## 7. Conversión a Días de Inventario:

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados y su comparación con los lineamientos históricos de la planta, los niveles de inventario se expresaron en días de cobertura. Este indicador relaciona el inventario disponible con el consumo promedio diario y es ampliamente utilizado en la literatura para la gestión y evaluación del desempeño de inventarios (Silver et al., 2017; Simchi-Levi et al., 2008).

*Ecuación Número 3. Días de inventario*

$$\text{Días de Inventario} = \frac{\text{Stock}}{\text{Consumo Promedio Diario}}$$

Esta conversión permitió evaluar los nuevos niveles frente a los rangos previamente establecidos para materiales importados y locales.

### **Beneficios de la implementación**

La aplicación de la metodología descrita permitió estructurar la política de inventarios bajo un enfoque cuantitativo y estandarizado, incorporando explícitamente la variabilidad en la demanda y en el abastecimiento. A diferencia del esquema previo, basado en rangos generales de cobertura, el nuevo modelo definió parámetros específicos para cada materia prima en función de su comportamiento estadístico y sus condiciones logísticas.

Entre los principales impactos identificados se encuentran:

- **Optimización de los niveles de inventario:** La definición estructurada de stock de seguridad y niveles máximos permitió establecer cantidades adecuadas de inventario, reduciendo simultáneamente el riesgo de quiebres y la acumulación excesiva de stock, en línea con lo reportado en la literatura de gestión de inventarios (Prak et al., 2017).
- **Reducción de costos:** La mejora en la precisión de los niveles de inventario contribuyó a minimizar costos de almacenamiento, disminuir la necesidad de pedidos urgentes con sobrecostos logísticos y favorecer un uso más eficiente del capital de trabajo (Silver et al., 2017; Simchi-Levi et al., 2008).
- **Prevención de interrupciones en la producción:** Al considerar explícitamente la variabilidad en la demanda y en los tiempos de suministro, el modelo fortaleció la capacidad de respuesta ante incertidumbre, reduciendo la probabilidad de paradas de planta asociadas a faltantes de materia prima.
- **Mayor precisión en la planificación:** La metodología se fundamentó en datos históricos y en un análisis estructurado de los factores que afectan el inventario, promoviendo decisiones basadas en evidencia y mayor consistencia en la planeación (Syntetos et al., 2016).

En conjunto, la metodología de las ocho razones proporcionó un enfoque integral para la gestión de inventarios, asegurando la disponibilidad de materias primas sin incurrir en costos innecesarios. Su implementación en la planta de Goodyear Colombia contribuyó a mejorar la eficiencia del abastecimiento y fortalecer la planificación de la cadena de suministro.

A continuación, en la Figura 9, se presenta un ejemplo de los parámetros configurados en el sistema, en los cuales se incorporaron los factores definidos en el modelo.

*Figura 9. Ocho razones de inventario*

| Code :                      | NIMBO         | Location : | Colombia                                                                                                                                       | Supplier :   | GOCPL (100%) |
|-----------------------------|---------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Variable                    | Value         | Units      | Comments                                                                                                                                       | Contribution |              |
| Geography                   | 52,0          | DAY        | Standard transportation time from supply source to Goodyear Plant. (Distance from plant to supply source/500 mile DOT drive per day standard.) | Max :        | 0            |
| Transportation Variation    | 0,0           | DAY        | Variation in transit time (based on geography) between supplier and plant.                                                                     | Min :        | 0            |
| Delivery Interval           | 7,0           | DAY        | Average time between deliveries to the plant.                                                                                                  | Max :        | 26.831       |
| Delivery Interval Variation | 0,0           | DAY        | Variation between deliveries to the plant.                                                                                                     | Min :        | 0            |
| Demand                      | 3833          | KG         | Average daily usage over specified period of time.                                                                                             |              |              |
| Demand Variation            | 854           | KG         | Maximum point of cumulative variation between daily usage and average usage.                                                                   | Min :        | 854          |
| Information Cycle           | 14            | DAY        | Time between demand and goods issue at the supplier.                                                                                           | Max :        | 53.662       |
| Supply Variation            | 0             | DAY        | Variation in time between when material needed to ship and when it did ship.                                                                   | Min :        | 0            |
| Supplier Lot Size           | 20160         | KG         | Smallest lot size that a supplier can provide.                                                                                                 | Max :        | 0            |
| Shipping Lot Size           | 20160         | KG         | Smallest economic quantity that can be shipped or received.                                                                                    | Max :        | 0            |
| Processing Time             | 0             | HRS        | Additional processing time before material can be delivered to production.                                                                     | Min :        | 0            |
| Tank Minimum                | 0             | KG         | Minimum desired tank or silo inventory.                                                                                                        | Min :        | 0            |
| Number of Tanks             | 1             |            | Number of tanks or silos available.                                                                                                            |              |              |
| Excess/Other Factors        | 0             | KG         | Inventory carried for other reasons (comfort factor)                                                                                           | Min :        | 0            |
|                             |               |            |                                                                                                                                                |              | Calculate    |
| Min                         | 40            | KG         | Current Minimum :                                                                                                                              | 40 DAY       |              |
|                             | Infinity days |            |                                                                                                                                                |              |              |
| Max                         | 50            | KG         | Current Maximum :                                                                                                                              | 50 DAY       |              |
|                             | Infinity days |            |                                                                                                                                                |              |              |
| Demonstrated Inventory      |               | KG         | Average plant inventory over the last 30 days. (Does not include on-site.)                                                                     |              |              |
|                             | Infinity days |            |                                                                                                                                                |              |              |
| Expected Inventory          | 30            | KG         | 60% of Max                                                                                                                                     |              |              |
|                             | 30,0 days     |            |                                                                                                                                                |              |              |

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

### 4.3. MRP en SAP

El Material Requirements Planning (MRP) es un sistema de planificación de requerimientos de materiales que permite gestionar la producción y los inventarios de manera integrada, a partir del plan maestro de producción, la lista de materiales (BOM) y los niveles de inventario disponibles (Malindžáková et al., 2022). Como resultado, el sistema genera órdenes de compra, órdenes de producción y reportes de planificación.

Goodyear Colombia cuenta con el ERP SAP; sin embargo, el módulo de MRP no se encontraba implementado en la planta al momento del desarrollo del proyecto. En consecuencia, la generación de necesidades de materias primas y la posterior creación de órdenes de compra se realizaban de manera manual.

El procedimiento vigente consistía en descargar individualmente, a través de la transacción CS11 de SAP, las especificaciones técnicas (BOM) de cada código de producto terminado. La planta cuenta con aproximadamente 45 códigos activos, por lo que la descarga y consolidación de esta información implicaba un proceso repetitivo y dependiente del usuario.

Posteriormente, la información de consumo por materia prima se consolidaba en una hoja de cálculo, donde se integraba el plan de producción proyectado a 18 meses. A partir de esta integración, se calculaban los requerimientos mensuales de cada materia prima multiplicando el volumen proyectado de producción por los consumos unitarios definidos en cada fórmula.

Adicionalmente, se incorporaba el porcentaje de desperdicio estimado por la planta, con el fin de obtener el requerimiento neto ajustado para cada material en el horizonte de planificación. La construcción completa de esta matriz requería aproximadamente 45 minutos y estaba sujeta a riesgo de errores manuales.

Este procedimiento, aunque funcional, presentaba limitaciones importantes:

- Dependencia de múltiples archivos externos.
- Procesos repetitivos no automatizados.

- Mayor probabilidad de errores en la consolidación de información.
- Ausencia de integración directa con parámetros maestros de planificación.

A partir del benchmarking realizado con otras plantas de la región, se identificó que la planta de Chile utilizaba el módulo MRP de SAP para realizar la explosión automática de materiales. Con base en esta práctica, se desarrolló la configuración del modelo de planeación de materias primas en SAP para la planta de Colombia.

El proceso consistió en:

1. Habilitar el modelo de planeación en el sistema SAP, parametrizando la planta y el tipo de proceso productivo.
2. Cargar el plan de producción correspondiente al horizonte de planificación, incluyendo la programación diaria del mes en curso y la proyección mensual de los siguientes 17 meses.
3. Parametrizar el porcentaje de desperdicio (6%) dentro del sistema.
4. Ejecutar el proceso de MRP para generar automáticamente la explosión de materiales.

Previo a la implementación, se realizó un trabajo conjunto con el equipo de calidad para verificar que todas las especificaciones técnicas (BOM) estuvieran actualizadas y correctamente asociadas a cada código de producto terminado. Asimismo, se revisó y ajustó el máster data de materiales, incluyendo parámetros como grupo de compra, lote mínimo, stock de seguridad y demás campos requeridos por el sistema para un funcionamiento adecuado del MRP.

Adicionalmente, se extendieron los códigos de materias primas con los parámetros recomendados por las plantas de referencia, garantizando coherencia en la configuración y evitando inconsistencias durante la ejecución del proceso. En la Figura 10 se observan los parámetros recomendados.

Figura 10. Parámetros recomendados

### Material Master – Planning Specific (Desired) – For each Material Type

**MRP 1 Data:**  
Lot Size (Always EX = Lot-for-lot order quantity)  
Minimum Lot Size (Always zero)  
Maximum Lot Size (Always zero)

**MRP 2 Data:**  
Planned Deliv. Time (Always 0 days)  
GR Processing Time (Always 0 days)

**MRP 3 Data:**  
Availability Check (Always 01)

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Adicionalmente, se utilizaba una plantilla independiente con el calendario operativo de la planta, que se visualiza en la Figura 11, en la cual se registraban los días laborables y no laborables, incluyendo paradas programadas, periodos de vacaciones, domingos, festivos y turnos de arranque o parada de producción.

Figura 11. Calendario de la planta

| Plant | L505 - Planta Cali PBU |       |       | Commercial     |       |       | Work Center Group |       |       | CALI-COMM |     |       |
|-------|------------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-----------|-----|-------|
|       | Type                   | Day   | Units | Type           | Day   | Units | Type              | Day   | Units | Type      | Day | Units |
| 1     | NIL Holiday            | 0.000 |       | Ramp-Down 11pr | 0.000 |       | Ramp-Down 11pr    | 0.000 |       |           |     |       |
| 2     |                        | 0.000 |       | Day Out        | 0.000 |       | Day Out           | 0.000 |       |           |     |       |
| 3     |                        | 0.000 |       | Ramp-Up 7pm    | 0.000 |       | Ramp-Up 7pm       | 0.000 |       |           |     |       |
| 4     | Ramp-Down 11pr         | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 5     | Day Out                | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 6     | NIL Holiday            | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 7     |                        | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 8     |                        | 0.000 |       | Ramp-Down 11pr | 0.000 |       | Ramp-Down 11pr    | 0.000 |       |           |     |       |
| 9     |                        | 0.000 |       | Day Out        | 0.000 |       | Day Out           | 0.000 |       |           |     |       |
| 10    |                        | 0.000 |       | Ramp-Up 7pm    | 0.000 |       | Ramp-Up 7pm       | 0.000 |       |           |     |       |
| 11    | Ramp-Up 11pm           | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 12    | Day Out                | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 13    | Ramp-Up 7pm            | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 14    |                        | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 15    |                        | 0.000 |       | Ramp-Down 11pr | 0.000 |       | Ramp-Down 11pr    | 0.000 |       |           |     |       |
| 16    |                        | 0.000 |       | Day Out        | 0.000 |       | Day Out           | 0.000 |       |           |     |       |
| 17    |                        | 0.000 |       | Ramp-Up 7pm    | 0.000 |       | Ramp-Up 7pm       | 0.000 |       |           |     |       |
| 18    | Ramp-Up 11pm           | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 19    | Day Out                | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 20    | Ramp-Up 7pm            | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |
| 21    |                        | 0.000 |       |                | 0.000 |       |                   | 0.000 |       |           |     |       |

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Una vez completadas las plantillas con el plan de producción y los parámetros definidos, estas se cargaron al sistema y se ejecutó el proceso de planificación. Previo a su ejecución, se validó que no existieran registros duplicados ni inconsistencias en la información.

La explosión de materiales se ejecutó en aproximadamente 60 segundos y generó automáticamente los requerimientos proyectados para cada materia prima en el horizonte de planificación. Los resultados quedaron disponibles para descarga en el sistema y fueron enviados por correo electrónico para su validación, de la manera que los proyecta la Figura 12.

*Figura 12. Explosión de materiales*

| Plant | Material    | Material Descr     | UoM | Material Type D | 01.04.2026  | 02.05.2026  | 01.06.2026  | 01.07.2026  | 01.08.2026  | Grand Total |
|-------|-------------|--------------------|-----|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| L505  | NOLO        | NOLO - Natural Rul | KG  | POLY-Polymer    | 233239.431  | 250163.653  | 242180.704  | 294316.753  | 221814.42   | 4199428.254 |
| L505  | NOVOLO      | TECHNICALLY SF     | KG  | POLY-Polymer    | 114474.929  | 133322.239  | 117427.993  | 142253.66   | 109179.34   | 1984760.235 |
| L505  | RFCH        | 0.072 HT BEADW     | KG  | WIRE-Wire (Bead | 53663.486   | 63053.443   | 56860.07    | 71060.971   | 51462.965   | 1043417.985 |
| L505  | NIMBO       | NATURAL RUBBER     | KG  | POLY-Polymer    | 43268.575   | 51198.346   | 45409.333   | 56652.416   | 43271.737   | 965477.344  |
| L505  | CODE799     | CARBON BLACK       | KG  | FILL-Filler     | 45006.225   | 55004.993   | 49352.359   | 59589.487   | 44899.705   | 885822.023  |
| L505  | RFFN        | 4+3X.35 UT RMT     | KG  | WIRE-Wire (Bead | 53198.706   | 57849.847   | 54898.549   | 66323.412   | 47520.591   | 861210.383  |
| L505  | CODE1083    | BLACK              | KG  | FILL-Filler     | 45038.428   | 58019.892   | 52052.258   | 54016.301   | 60002.32    | 850633.523  |
| L505  | CODE630     | CARBON BLACK       | KG  | FILL-Filler     | 41655.805   | 48120.48    | 44191.042   | 54237.973   | 40912.638   | 792171.01   |
| L505  | RFUG        | STEEL CORD 1X      | KG  | WIRE-Wire (Bead | 50326.799   | 51895.622   | 52537.129   | 63107.725   | 44988.141   | 789275.72   |
| L505  | RIONIC      | BROMINATED IIR     | KG  | POLY-Polymer    | 38167.222   | 46001.408   | 40166.613   | 50420.513   | 37895.747   | 752622.468  |
| L505  | CODE1171    | SILICA GEL         | KG  | FILL-Filler     | 39000.987   | 43474.94    | 40787.085   | 50305.885   | 37476.895   | 727162.813  |
| L505  | BUD1207     | PBD NA             | KG  | POLY-Polymer    | 32526.88    | 45608.026   | 35477.151   | 44398.497   | 37437.283   | 679605.179  |
| L505  | CODE405     | BLACK              | KG  | FILL-Filler     | 41397.673   | 39482.468   | 30422.287   | 52557.854   | 25322.271   | 619814.617  |
| L505  | CODE228     | CARBON BLACK       | KG  | FILL-Filler     | 33281.516   | 36085.619   | 33531.754   | 41798.568   | 32124.664   | 619306.737  |
| L505  | RFUS        | 3+2X.35 SUPER T    | KG  | WIRE-Wire (Bead | 21341.187   | 27399.464   | 23420.439   | 29287.198   | 25017.987   | 510197.433  |
|       | Grand Total |                    |     |                 | 1099614.218 | 1282946.083 | 1146800.597 | 1424550.109 | 1084504.041 | 20641573.52 |

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

Con el fin de garantizar la confiabilidad del proceso, los requerimientos obtenidos mediante el MRP se contrastaron con los cálculos manuales previamente realizados a partir del BOM, lo que evidenció consistencia en los resultados.

El MRP permitió obtener proyecciones de consumo diario alineadas con la programación real de producción. A diferencia del esquema anterior, en el que los consumos se estimaban a partir de promedios mensuales consolidados en hojas de cálculo, el sistema determinó los requerimientos en función de la producción diaria y por turno. Esto permitió identificar con mayor precisión hasta qué fecha y turno alcanzaba cada materia prima.

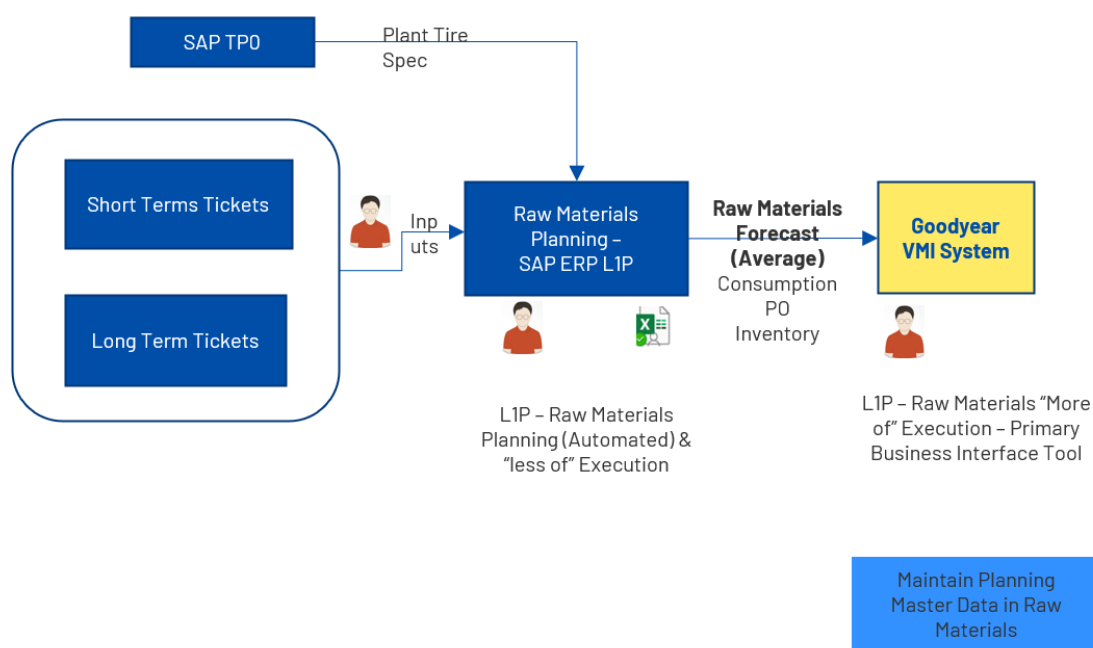
Esta mejora en la precisión de los consumos tuvo implicaciones directas en la política de inventarios. Al contar con datos de consumo diario más consistentes, fue posible calcular el inventario de seguridad mediante el modelo probabilístico y compararlo con la política histórica basada en rangos generales de cobertura en días (45–60 días para materiales importados y 30 días

para materiales locales). La comparación evidenció diferencias entre los niveles estadísticamente requeridos y los rangos fijos utilizados por la empresa, identificando casos de exceso de inventario y otros niveles de coberturas bajas.

Adicionalmente, la implementación del MRP redujo el tiempo total de procesamiento de aproximadamente cuatro horas a un máximo de quince minutos y disminuyó la probabilidad de errores asociados al manejo manual de archivos. La actualización automática de las especificaciones técnicas cuando el área de calidad modificaba una fórmula eliminó intervenciones manuales y posibles inconsistencias en los consumos.

Asimismo, la mayor capacidad de reacción ante materiales críticos permitió anticipar decisiones relacionadas con vencimientos, riesgos de desabastecimiento y ajustes en órdenes de compra, lo que contribuyó tanto a la continuidad operativa como a una gestión más eficiente del capital de trabajo. Finalmente, la integración con el sistema VMI facilitó la gestión de inventarios con proveedores y aseguró mayor trazabilidad y agilidad en el análisis. La Figura 13 presenta el flujograma general del proceso implementado, evidenciando la integración entre el sistema SAP, el módulo de planificación de requerimientos de materiales (MRP) y el sistema VMI.

*Figura 13. Flujograma del proceso*



*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

#### **4.4. Vendor Managed Inventory**

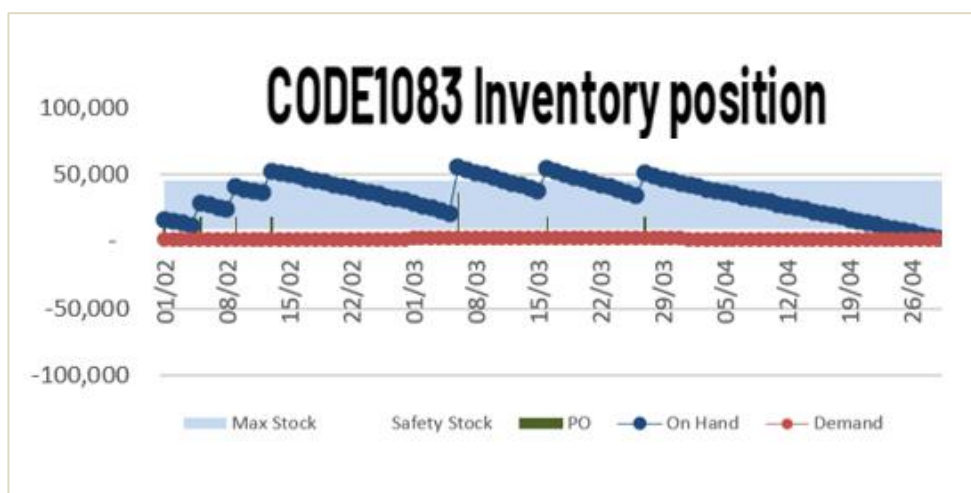
Antes de la implementación del sistema VMI, la colocación de órdenes de compra de materias primas se gestionaba mediante una simulación desarrollada en una plantilla de Excel. A través de este método se determinaba el momento adecuado para generar la orden, la cantidad a solicitar y la fecha estimada de llegada a la planta.

Inicialmente, se actualizaba la información correspondiente al inventario disponible, las órdenes en tránsito y el consumo mensual promedio de cada materia prima. Los datos de inventario y órdenes abiertas, junto con sus fechas previstas de entrega, se obtenían del sistema SAP, mientras que el consumo mensual se determinaba a partir de la explosión de materiales descrita en la sección anterior.

Una vez consolidada la información, la plantilla permitía simular el comportamiento proyectado del inventario para cada material, con el fin de definir cuántas órdenes de compra debían generarse y en qué fechas, considerando el tamaño de lote o la cantidad mínima de compra establecida por el proveedor.

En la Figura 14 se presenta el resultado de la simulación para el material CODE1083. La línea azul oscura representa el inventario proyectado a lo largo del horizonte de análisis, evidenciando que cada vez que una orden de compra llega a la planta el nivel de inventario aumenta y posteriormente disminuye conforme se registra el consumo del material. La franja azul clara indica el nivel de stock máximo, equivalente a 60 días de inventario según la política vigente. La línea roja representa el consumo proyectado del material a lo largo del tiempo. El nivel cero se considera el límite inferior del modelo y representa un quiebre de inventario; cuando la proyección de inventario alcanza este nivel, se interpreta como un riesgo de desabastecimiento y potencial parada de planta.

Figura 14. Simulación de materia prima en Excel



Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

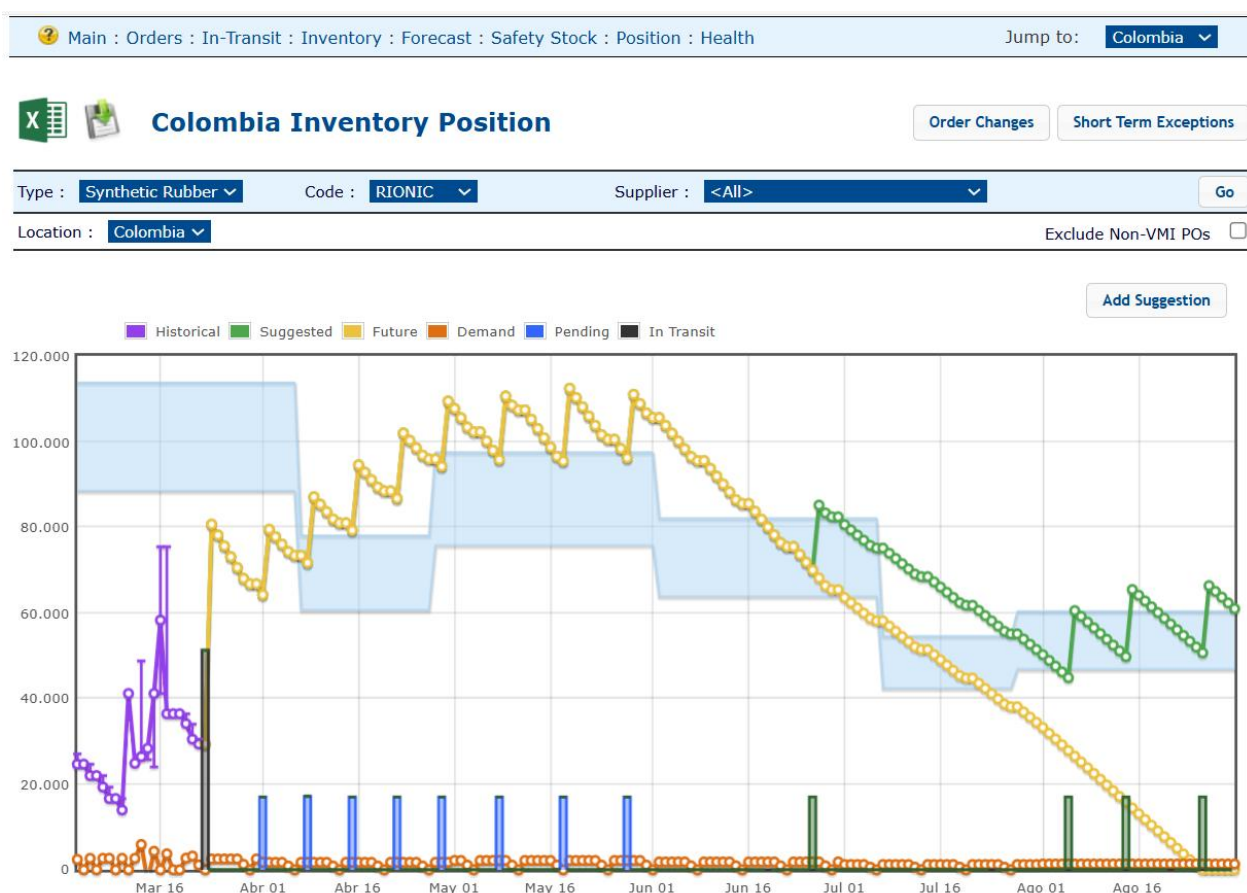
Aunque este método permitió obtener la información necesaria para la generación de órdenes de compra, presentó diversas limitaciones. En primer lugar, se trató de un proceso altamente manual, tanto en la actualización de datos como en la ejecución de la simulación, lo que implicó un alto consumo de tiempo y una mayor probabilidad de errores derivados de la manipulación manual de la información. Asimismo, la herramienta carecía de integración automática con SAP, dificultando la actualización en tiempo real del inventario y de las órdenes abiertas.

Adicionalmente, la capacidad analítica del modelo era limitada, ya que no permitía evaluar múltiples escenarios ni ajustar dinámicamente las decisiones de compra ante cambios en el entorno, como retrasos logísticos o variaciones en el consumo. Como consecuencia, este enfoque podía derivar en exceso de inventario, quiebres o sobrecostos asociados a compras urgentes, lo que evidenció la necesidad de una solución más robusta y automatizada.

A partir del benchmarking realizado, se identificó que la planta de Chile utilizaba un sistema integrado con SAP para la simulación de órdenes de compra. Este sistema, denominado VMI, obtenía diariamente el inventario actualizado, descontaba el consumo real y consideraba las órdenes abiertas o en tránsito.

En la Figura 15 se presenta la interfaz del sistema VMI implementado. Visualmente, el sistema muestra el comportamiento histórico del inventario mediante una línea morada, la proyección del inventario considerando las órdenes abiertas mediante una línea amarilla, la simulación de las órdenes sugeridas por el sistema mediante una línea verde y el consumo diario de la planta mediante una línea naranja. Adicionalmente, el área sombreada representa los rangos mínimo y máximo de inventario definidos para el material.

*Figura 15. Simulación de materia prima en VMI*



*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

VMI permitía configurar parámetros clave como el stock de seguridad y los niveles mínimo y máximo de inventario en días, así como actualizar las fechas estimadas de llegada con base en la información proporcionada por los proveedores. El sistema generaba automáticamente sugerencias

de órdenes de compra con el objetivo de mantener los niveles de inventario dentro de los rangos establecidos.

Aunque VMI se encontraba habilitado para la planta de Colombia, no había sido configurado para su utilización. En consecuencia, se ajustaron los parámetros necesarios para su implementación, definiendo los días de inventario y el stock de seguridad con base en el modelo de las ocho razones. El sistema extrajo automáticamente desde SAP información clave, como inventario disponible, órdenes abiertas o en tránsito, consumos históricos y requerimientos futuros derivados de la explosión de materiales (Goodyear, 2017).

La implementación de VMI representó una mejora significativa frente al esquema anterior. Permitió automatizar el proceso de planificación, reducir el tiempo de simulación, disminuir la probabilidad de errores humanos y mejorar la capacidad de análisis y proyección. Asimismo, fortaleció la integración con SAP y facilitó una gestión más estratégica y oportuna del abastecimiento.

Es importante señalar que el sistema VMI opera bajo ciertos supuestos que determinan la validez de sus resultados. Se asume que los datos de inventario disponible y órdenes en tránsito registrados en SAP son confiables y están actualizados diariamente, y que los parámetros de stock mínimo y máximo configurados en el sistema se actualizan cuando se presentan cambios significativos en los lead times o en la variabilidad de la demanda. Adicionalmente, el sistema genera sugerencias de compra, pero la decisión final recae en el planeador, quien valida la propuesta considerando factores contextuales no capturados por el modelo, como alertas de proveedores o cambios de corto plazo en el plan de producción. Estas condiciones son consistentes con lo reportado en la literatura, que señala que los sistemas VMI requieren una actualización periódica de parámetros y una validación humana para mantener su efectividad en entornos con alta variabilidad logística (Lee et al., 2015).

#### 4.5. Optimización de contenedor en plan de contingencia

Ante un plan de contingencia, Goodyear Colombia tenía la posibilidad de adquirir materias primas en plantas de la región, como Brasil, Chile, Perú e incluso algunas plantas de Norteamérica. Históricamente, cuando se presentaban situaciones de abastecimiento crítico, la práctica habitual consistía en comprar únicamente la materia prima faltante y transportarla mediante carga suelta. Sin embargo, este tipo de transporte presentaba dos desventajas principales: un mayor costo de flete y tiempos de tránsito más prolongados, ya que el envío debía esperar a que se consolidara suficiente carga para completar el embarque.

Con el objetivo de reducir estos sobrecostos y mejorar la eficiencia logística, se desarrolló un modelo de optimización en AMPL que permitió aprovechar de manera más eficiente el espacio disponible en un contenedor. El modelo consideró principalmente las materias primas identificadas como críticas o con baja cobertura de inventario, e incluyó adicionalmente otros materiales cuya cobertura se encontraba por debajo de niveles deseables, aunque aún no hubieran sido clasificados formalmente como críticos.

El objetivo del modelo fue minimizar el número de contenedores necesarios para transportar estas materias primas desde las plantas vecinas, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento de restricciones relacionadas con la capacidad de los contenedores, los niveles mínimos de inventario requeridos y el balance entre los distintos materiales transportados. A continuación, se presenta la formulación matemática del modelo desarrollado (Morillo & Gatica, 2022).

##### Conjuntos

El modelo considera los siguientes conjuntos:

- $J \rightarrow$  Conjuntos de materias primas que pueden ser transportadas en el contenedor.
- $K \rightarrow$  Conjuntos de contenedores potenciales que pueden ser utilizados para el transporte.

En el modelo se considera un número máximo de contenedores posibles, lo cual permite al modelo seleccionar únicamente aquellos que sean necesarios para satisfacer las restricciones establecidas.

##### Parámetros

Los parámetros utilizados en el modelo son los siguientes:

- $W \rightarrow$  Capacidad máxima de un contenedor, expresada en kilogramos.
- $w_j \rightarrow$  Peso por unidad de la materia prima  $j$ , expresada en kilogramos.
- $C_j \rightarrow$  Consumo mensual de la materia prima  $j$ , expresada en kilogramos.
- $IL_j \rightarrow$  Nivel de inventario disponible en la planta para la materia prima  $j$ , expresada en kilogramos.
- $M \rightarrow$  Factor mínimo de llenado para un contenedor.
- **Delta ( $\delta$ )**  $\rightarrow$  Diferencia máxima permitida entre coberturas.

Estos parámetros permiten representar las condiciones operativas del sistema logístico y los requerimientos mínimos de inventario necesarios para garantizar la continuidad de la producción.

### Variables de Decisión

El modelo incluye las siguientes variables de decisión:

- $y_{j,k} \in \mathbb{Z}^+ \rightarrow$  Número de bultos de 50 kg de la materia prima  $j$  transportada en el contenedor  $k$ .
- $z_k \rightarrow$  Variable binaria que indica si el contenedor  $k$  es utilizado o no.
  - $z_k = 1 \rightarrow$  Si el contenedor  $k$  es utilizado.
  - $z_k = 0 \rightarrow$  En caso contrario.
- $cov^{min}_{\geq 0} \rightarrow$  Cobertura mínima entre todas las materias primas.
- $cov^{max}_{\geq 0} \rightarrow$  Cobertura máxima entre todas las materias primas.

Estas variables permiten determinar tanto la cantidad de bultos de cada materia prima transportada como el número total de contenedores necesarios para el envío.

### Función Objetivo

El objetivo del modelo es minimizar el número de contenedores utilizados para transportar las materias primas requeridas. Matemáticamente, esto se expresa como:

$$\min \sum_{k \in K} z_k$$

### Restricciones:

### Restricción de capacidad máxima del contenedor

Esta restricción garantiza que la carga total transportada en cada contenedor no exceda su capacidad máxima. El peso total del material cargado se calcula multiplicando el número de paquetes de cada materia prima por su peso unitario (1 kg) y por el tamaño del paquete (50 kg). La variable binaria  $z_k$  permite activar o desactivar el uso de cada contenedor.

$$\sum_{j \in J} w_j \cdot 50 \cdot y_{j,k} \leq W z_k \quad \forall k \in K$$

### Restricción de llenado mínimo del contenedor

Esta restricción asegura que los contenedores utilizados mantengan un nivel mínimo de ocupación, evitando el envío de contenedores con baja utilización.

$$\sum_{j \in J} w_j \cdot 50 \cdot y_{j,k} \geq MW z_k \quad \forall k \in K$$

### Restricción de inventario mínimo

Esta restricción garantiza que, después de recibir las materias primas transportadas, el inventario disponible en planta sea suficiente para cubrir al menos tres meses de consumo.

$$IL_j + \sum_{k \in K} 50 y_{j,k} \geq 3C_j \quad \forall j \in J$$

### Restricción de balances de coberturas

La cobertura de inventario de cada materia prima se define como:

$$\text{Cobertura}_j = \frac{IL_j + \sum_{k \in K} 50 y_{j,k}}{C_j}$$

Para evitar desbalances significativos entre materias primas, se introducen las siguientes restricciones.

### Definición de cobertura mínima

Esta restricción define la cobertura mínima entre todas las materias primas consideradas en el

modelo.

$$cov^{min} \leq \frac{IL_j + \sum_{k \in K} 50 y_{j,k}}{C_j} \quad \forall j \in J$$

### Definición de cobertura máxima

Esta restricción define la cobertura mínima entre todas las materias primas consideradas en el modelo.

$$cov^{max} \geq \frac{IL_j + \sum_{k \in K} 50 y_{j,k}}{C_j} \quad \forall j \in J$$

### Balance de coberturas

Limita la diferencia entre la mayor y la menor cobertura de inventario. Su objetivo es evitar que el modelo genere soluciones donde algunas materias primas presenten niveles excesivos de inventario mientras otras se mantienen cercanas al nivel mínimo requerido.

$$cov^{max} - cov^{min} \leq \delta$$

A continuación, las Figuras 16 a 19 presentan el modelo en AMPL para una situación en la que se identificaron seis materias primas en baja cobertura.

Figura 16. Archivo.mod

```

# contenedor.mod
#
# CONJUNTOS
#
set J:= 1..6;          # Materias primas
set K:= 1..10;         # Contenedores posibles

#
# PARAMETROS
#
param W;               # Capacidad máxima del contenedor (kg)
param w {J};           # Peso por unidad de materia prima j
param C {J};           # Consumo mensual de la materia prima j
param IL {J};          # Inventario actual
param M;               # Factor mínimo de llenado del contenedor
param delta;           # Diferencia máxima permitida entre coberturas

#
# VARIABLES
#
var y {J,K} integer >= 0; # Número de paquetes de 50 kg
var z {K} binary;         # 1 si el contenedor k se utiliza

# Variables para balance de cobertura
var cov_min >= 0;
var cov_max >= 0;

#
# FUNCION OBJETIVO
#
minimize total_containers:
    sum {k in K} z[k];

```

```

#-----
# RESTRICCIONES
#-----

# Capacidad máxima del contenedor
subject to capacity_max {k in K}:
    sum {j in J} w[j] * 50 * y[j,k] <= W * z[k];

# Llenado mínimo del contenedor
subject to capacity_min {k in K}:
    sum {j in J} w[j] * 50 * y[j,k] >= M * W * z[k];

# Inventario mínimo requerido (3 meses)
subject to inventory_requirement {j in J}:
    IL[j] + sum {k in K} 50 * y[j,k] >= 3 * C[j];

#-----
# BALANCE DE COBERTURAS
#-----

subject to coverage_min {j in J}:
    cov_min <= (IL[j] + sum {k in K} 50 * y[j,k]) / C[j];

subject to coverage_max {j in J}:
    cov_max >= (IL[j] + sum {k in K} 50 * y[j,k]) / C[j];

subject to coverage_balance:
    cov_max - cov_min <= delta;

```

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

**Figura 17. Archivo.dat**

```

#-----
# PARAMETROS
#-----

# Capacidad del contenedor (kg)
param W := 20000;

# Peso por unidad de cada materia prima
param w :=
1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1
;

# Consumo mensual (kg/mes)
param C :=
1 600
2 5500
3 800
4 750
5 4000
6 200
;

# Inventario actual (kg)
param IL :=
1 200
2 3000
3 500
4 150
5 2000
6 50
;

# Factor mínimo de llenado del contenedor
param M := 0.95;

# Diferencia máxima entre coberturas (meses)
param delta := 1;

```

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

Figura 18. Archivo.run

```

contenedor.mod  contendor.run  contenedor.dat
reset;
model contenedor.mod;
data contenedor.dat;
option solver cplex;
solve;
display z; # Mostrar contenedores usados
display y; # Mostrar paquetes de 50 kg
display {j in J, k in K} 50*y[j,k]; # Mostrar kilos reales enviados
display cov_min, cov_max; # Mostrar coberturas

```

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Figura 19. Resultados del modelo

```

Console
AMPL
ampl: include 'C:\Users\sebas\OneDrive\Escritorio\Sebastian Ordoñez\Maestria e
CPLEX 22.1.2:          CPLEX 22.1.2: optimal solution; objective 2
104 simplex iterations
z [*] :=
1 0
2 1
3 0
4 0
5 0
6 0
7 1
8 0
9 0
10 0
;

y [*,*] (tr)
: 1 2 3 4 5 6 :=
1 0 0 0 0 0 0
2 44 314 0 0 11 11
3 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0
7 0 0 54 57 269 0
8 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0
;

50*y[j,k] [*,*] (tr)
: 1 2 3 4 5 6 :=
1 0 0 0 0 0 0
2 2200 15700 0 0 550 550
3 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0
7 0 0 2700 2850 13450 0
8 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0
;

cov_min = 3
cov_max = 4
ampl:

```

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

El modelo generó la solución óptima de traer 2 contenedores, con la cantidad de materia prima en bultos y en kilos, se calcula la cobertura del inventario local más lo que se va a traer de estos contenedores y el resultado da en promedio una cobertura de 3.7 meses. En la Tabla 3 se validaron los resultados del modelo en Excel.

Tabla 3. Validación resultada de modelo AMPL en Excel

| Código          | Consumo promedio mensual | Inventario | Cob inicial | Resultado + Inv | Cob final | Resultado AMPL |
|-----------------|--------------------------|------------|-------------|-----------------|-----------|----------------|
| Materia prima 1 | 600                      | 200        | 0,33        | 2400            | 4,0       | 2200           |
| Materia prima 2 | 5500                     | 3000       | 0,55        | 18700           | 3,4       | 15700          |
| Materia prima 3 | 800                      | 500        | 0,63        | 3200            | 4,0       | 2700           |
| Materia prima 4 | 750                      | 150        | 0,20        | 3000            | 4,0       | 2850           |
| Materia prima 5 | 4000                     | 2000       | 0,50        | 16000           | 4,0       | 14000          |
| Materia prima 6 | 200                      | 50         | 0,25        | 600             | 3,0       | 550            |

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

La formulación del modelo desarrollado en este proyecto constituye una adaptación al contexto de contingencias logísticas en la industria manufacturera colombiana. A diferencia de los modelos de optimización de carga estándar, el modelo incorpora una restricción de balance de coberturas entre materiales, parametrizada mediante el factor  $\delta$ , que evita que la solución óptima priorice unos materiales sobre otros únicamente con base en su peso o volumen. Esta restricción responde a una necesidad operativa real: en situaciones de contingencia, es igualmente crítico asegurar una cobertura mínima para todos los materiales involucrados. La formulación fue construida a partir de los principios de programación entera mixta descritos por Morillo & Gatica (2022) y adaptada a las restricciones específicas del proceso de abastecimiento de Goodyear Colombia, incluyendo el límite de llenado mínimo del contenedor y el requerimiento de cobertura mínima de tres meses por material.

#### 4.6. Búsqueda de proveedores alternos locales

Otra práctica relevante dentro de la planeación del abastecimiento es la búsqueda activa de proveedores locales que permitan sustituir total o parcialmente las materias primas importadas.

Esta estrategia ofrece ventajas logísticas y financieras importantes, ya que contar con proveedores nacionales reduce significativamente los tiempos de respuesta ante requerimientos de inventario (Golini & Kalchschmidt, 2011).

En el caso de Goodyear Colombia, el desarrollo de proveedores locales permite disminuir el nivel de inventario necesario en planta, debido a que el tiempo de tránsito desde el proveedor hasta la planta es considerablemente menor en comparación con una importación marítima. Este menor tiempo de entrega impacta directamente en los cálculos de stock de seguridad y en los días de inventario requeridos, reduciendo así el capital de trabajo invertido en inventarios.

No obstante, la sustitución de materias primas importadas por proveedores locales requiere un análisis económico detallado para evaluar si el costo por kilogramo del proveedor nacional es competitivo frente a la alternativa importada. En general, suele asumirse que la materia prima importada puede ser más económica debido a economías de escala o condiciones de producción en el país de origen. Sin embargo, factores como costos logísticos, tasas de cambio, aranceles y tiempos de entrega pueden modificar significativamente esta comparación.

En términos generales, el desarrollo de proveedores locales puede presentarse bajo dos escenarios. El primero ocurre cuando la materia prima es fabricada localmente, caso en el cual su precio debería ser igual o inferior al del producto importado. El segundo escenario se presenta cuando el proveedor local actúa como distribuidor de un fabricante extranjero. En este caso, el precio puede ser ligeramente superior, pero este sobre costo puede compensarse con la reducción de días de inventario, la mejora en el nivel de servicio y la disponibilidad inmediata del producto.

Como resultado de un trabajo conjunto con el área de compras y de un ejercicio de benchmarking con otras plantas de la región, se identificaron dos casos exitosos de desarrollo de proveedores locales, los cuales se describen a continuación.

### **Caso 1:** Sustitución parcial de caucho natural importado por proveedor local

El caucho natural constituía la principal materia prima utilizada en la fabricación de llantas, representando aproximadamente el 30% del valor total de las materias primas consumidas mensualmente. El inventario disponible en planta, sumado al material en tránsito, ascendía a cerca de 2 millones de USD, lo que convertía a esta materia prima en un componente crítico dentro de la gestión del abastecimiento.

En ese momento, Goodyear Colombia importaba caucho natural desde Indonesia a través de su filial Goodyear Oriente. El tiempo de tránsito marítimo entre Indonesia y Colombia oscilaba entre 30 y 45 días. De acuerdo con la metodología de las ocho razones de inventario descrita anteriormente, esta condición obligaba a mantener niveles de inventario cercanos a 60 días de cobertura con el fin de mitigar el riesgo de desabastecimiento asociado a retrasos logísticos o variaciones en el suministro.

En el marco de la búsqueda de alternativas locales, se identificó un proveedor colombiano ubicado en el departamento del Meta, a aproximadamente tres días de transporte terrestre hasta la planta de Goodyear. El benchmarking realizado con otras plantas de la región evidenció que la planta de Goodyear en México ya utilizaba este proveedor, lo que respaldó su potencial implementación en Colombia.

Posteriormente se llevó a cabo el proceso de homologación del proveedor, el cual incluyó validaciones SARLAFT, pruebas de laboratorio y ensayos de calidad durante un periodo de seis meses. Una vez completadas estas etapas, el proveedor fue aprobado para su uso en la operación. Aunque no reemplazó el 100% del caucho natural importado, se logró sustituir aproximadamente el 50% de la demanda.

Desde el punto de vista económico, el caucho importado desde Indonesia presentaba un costo promedio cercano a 10 centavos de dólar por kilogramo superior al material producido localmente. Adicionalmente, la incorporación del proveedor local permitió reducir de manera significativa los

niveles de inventario requeridos. Mientras que el abastecimiento desde Indonesia exigía mantener aproximadamente 60 días de cobertura debido al largo tiempo de tránsito, el suministro local permitió operar con cerca de 20 días de inventario.

En este contexto, resultó relevante analizar si las políticas de inventario asociadas a cada alternativa eran apropiadas en función de sus tiempos de reposición. En el caso del caucho natural importado, el tiempo de tránsito marítimo de hasta 45 días, sumado a la incertidumbre logística propia del transporte internacional, justificaba mantener niveles de inventario elevados para proteger la operación frente a posibles retrasos. En contraste, el proveedor local presentaba un tiempo de entrega cercano a tres días y una menor variabilidad en el suministro, lo que permitió operar con niveles de inventario considerablemente menores sin incrementar el riesgo de desabastecimiento.

Como resultado de esta sustitución parcial del abastecimiento, la política de inventario se redujo de aproximadamente 60 días a cerca de 20 días de cobertura. Esta reducción permitió liberar alrededor de 1 millón de USD en capital de trabajo, generando una mejora significativa en el flujo de caja de la operación y reduciendo la exposición financiera asociada a la acumulación de inventarios, al tiempo que se mantuvo la seguridad del suministro.

Este caso evidenció cómo el desarrollo de proveedores locales no solo redujo los tiempos de abastecimiento, sino que también permitió optimizar las políticas de inventario y mejorar la eficiencia financiera de la operación.

## **Caso 2:** Sustitución de importación directa de químicos por distribución local

Otro caso relevante fue la identificación de un distribuidor local de una empresa fabricante asiática que producía seis tipos de químicos utilizados en el proceso productivo de Goodyear. Tradicionalmente, estos productos se importaban directamente desde China, con un tiempo de tránsito marítimo aproximado de 30 días.

Debido a que estos químicos se importaban en contenedores completos de aproximadamente 20 toneladas, era necesario ajustar las cantidades de cada producto en función de los consumos proyectados. Este esquema obligaba a realizar pedidos en proporciones que no siempre coincidían con las necesidades reales de producción, lo que generaba inventarios excedentes en algunos de los químicos. En determinadas ocasiones, esta situación derivaba en vencimientos de producto debido a que no se lograban consumir dentro de su vida útil.

Durante el proceso de búsqueda de proveedores alternativos se identificó un distribuidor local que comercializaba los mismos productos del fabricante asiático. La principal ventaja de este proveedor radicaba en la posibilidad de abastecer cantidades más ajustadas a los niveles reales de consumo, eliminando la necesidad de importar contenedores completos y permitiendo realizar pedidos más frecuentes y flexibles.

Desde el punto de vista económico, el precio por kilogramo ofrecido por el distribuidor local era aproximadamente un 15% superior al precio de la importación directa. No obstante, un análisis integral del costo total de abastecimiento evidenció que esta diferencia de precio se compensaba con otros beneficios operativos y financieros.

En primer lugar, la compra a través del distribuidor local permitió reducir significativamente los niveles de inventario requeridos, ya que el tiempo de entrega era considerablemente menor al del transporte marítimo internacional. Esto redujo el capital de trabajo invertido en inventarios y mejoró el flujo de caja de la operación.

En segundo lugar, la posibilidad de realizar pedidos en cantidades más pequeñas disminuyó el riesgo de acumulación de inventarios excedentes y, en consecuencia, redujo la probabilidad de vencimiento de productos químicos con vida útil limitada.

Finalmente, este esquema también mitigó los riesgos de desabastecimiento asociados a retrasos en embarques internacionales, congestión portuaria o variaciones en los tiempos de tránsito. Al contar

con un proveedor local con disponibilidad inmediata, la operación ganó mayor flexibilidad y capacidad de respuesta ante cambios en la demanda o en el plan de producción.

En conjunto, los casos presentados evidenciaron cómo el desarrollo de proveedores locales puede convertirse en una estrategia efectiva para fortalecer la planeación del abastecimiento. Más allá del análisis del precio unitario de las materias primas, resultó fundamental evaluar el costo total del abastecimiento, considerando variables como los tiempos de entrega, los niveles de inventario requeridos, el capital de trabajo invertido, el riesgo de vencimiento de materiales y la flexibilidad operativa ante cambios en la demanda.

En el caso del caucho natural, la incorporación de un proveedor nacional permitió reducir significativamente los días de inventario y liberar capital de trabajo. Por su parte, en el caso de los químicos, la compra a través de un distribuidor local permitió ajustar los volúmenes de compra a las necesidades reales de consumo y reducir el riesgo de inventarios excedentes. Estos resultados demostraron que la diversificación de proveedores y la incorporación de fuentes de abastecimiento locales no solo contribuyen a mejorar la resiliencia de la cadena de suministro, sino que también generan beneficios financieros y operativos para la organización.

#### **4.7. Análisis financieros**

Con el fin de garantizar la transparencia del análisis, se describe brevemente la metodología de estimación utilizada. La liberación de capital de trabajo se calculó como la diferencia entre el inventario total valorizado promedio del Año 1 (2023) y el del Año 3 (Q1 2025), donde el inventario total corresponde a la suma del inventario en mano más el inventario en tránsito, valorados al costo promedio por kilogramo de cada periodo extraído del sistema SAP. Los días de inventario (DSI) se calcularon mensualmente como el cociente entre el inventario total en kilogramos y el consumo diario promedio del periodo, obtenido a partir de los días hábiles registrados en el calendario operativo de la planta. El costo promedio por kilogramo corresponde al promedio ponderado del costo unitario de todas las materias primas, ponderado por el consumo en kilogramos, convertido a dólares con la tasa de cambio promedio del periodo reportada por el Banco de la República de

Colombia. Los sobre costos por compras urgentes se registraron directamente desde las órdenes de compra clasificadas como inter-planta, expedite y aéreo en SAP, reflejando el costo adicional sobre el precio base negociado con cada proveedor.

En esta sección se presentan los análisis financieros correspondientes al comportamiento del inventario de materias primas durante los años 2023, 2024 y el primer trimestre de 2025. El objetivo es evidenciar los impactos económicos derivados de la implementación de prácticas líderes de planeación en la planta de Goodyear Colombia. Para facilitar la lectura, nos referiremos al año 2023 como Año 1, al 2024 como Año 2, y al primer trimestre de 2025 como Año 3.

En las Tablas 4 a 6 se muestra como fue el comportamiento de las materias primas a lo largo de dos años y tres meses, los indicadores considerados en este análisis incluyen: El consumo mensual en kilogramos, inventario en mano, inventario en tránsito, inventario total, para todos en kilos y en USD, los días de cobertura (DSI) y el costo promedio por kilo.

*Tabla 4. Año 1*

| CONSUMPTION |    |           |          |             | INVENTORY KG |           |             |     | SUPPLY    | INVENTORY USD |              |               |          |  |
|-------------|----|-----------|----------|-------------|--------------|-----------|-------------|-----|-----------|---------------|--------------|---------------|----------|--|
| MONTH       | WD | RM CONS.  | RM SALES | TOTAL CONS. | OH           | TRANSIT   | ENDING INV. | DSI | RM ENTRY  | OH            | TRANSIT      | ENDING INV.   | COST/ KG |  |
| JAN         | 29 | 2,120,077 | -        | 2,120,077   | 2,800,718    | 599,661   | 3,400,379   | 47  | 1,468,858 | \$ 7,401,188  | \$ 1,336,917 | \$ 8,738,106  | \$ 2.6   |  |
| FEB         | 28 | 2,019,924 | -        | 2,019,924   | 2,072,512    | 1,112,362 | 3,184,874   | 44  | 1,297,112 | \$ 5,854,679  | \$ 3,698,551 | \$ 9,553,230  | \$ 3.0   |  |
| MAR         | 31 | 2,239,271 | -        | 2,239,271   | 2,265,902    | 512,751   | 2,778,653   | 40  | 2,468,220 | \$ 6,749,501  | \$ 887,561   | \$ 7,637,062  | \$ 2.7   |  |
| APR         | 25 | 1,727,997 | -        | 1,727,997   | 2,338,401    | 967,265   | 3,305,666   | 46  | 1,779,710 | \$ 5,779,831  | \$ 2,368,796 | \$ 8,148,626  | \$ 2.5   |  |
| MAY         | 30 | 2,128,605 | -        | 2,128,605   | 2,120,474    | 700,060   | 2,820,534   | 39  | 1,905,057 | \$ 5,987,258  | \$ 2,257,341 | \$ 8,244,599  | \$ 2.9   |  |
| JUN         | 29 | 2,084,515 | -        | 2,084,515   | 2,018,596    | 1,195,743 | 3,214,339   | 44  | 2,030,792 | \$ 5,291,280  | \$ 2,943,598 | \$ 8,234,877  | \$ 2.6   |  |
| JUL         | 30 | 2,170,196 | -        | 2,170,196   | 1,945,284    | 1,507,800 | 3,453,084   | 51  | 2,306,974 | \$ 4,915,956  | \$ 3,776,453 | \$ 8,692,409  | \$ 2.5   |  |
| AUG         | 31 | 2,102,678 | -        | 2,102,678   | 2,340,295    | 1,635,525 | 3,975,820   | 58  | 2,501,311 | \$ 6,231,589  | \$ 4,284,008 | \$ 10,515,597 | \$ 2.6   |  |
| SEP         | 29 | 1,976,540 | -        | 1,976,540   | 2,722,597    | 1,739,864 | 4,462,461   | 60  | 2,386,736 | \$ 7,457,941  | \$ 4,430,602 | \$ 11,888,544 | \$ 2.7   |  |
| OCT         | 30 | 2,230,783 | -        | 2,230,783   | 2,867,493    | 1,823,419 | 4,690,912   | 72  | 2,381,449 | \$ 7,434,048  | \$ 4,932,017 | \$ 12,366,066 | \$ 2.6   |  |
| NOV         | 30 | 1,963,280 | -        | 1,963,280   | 3,033,154    | 1,544,351 | 4,577,505   | 65  | 2,141,658 | \$ 8,118,727  | \$ 3,786,503 | \$ 11,905,230 | \$ 2.6   |  |
| DEC         | 22 | 1,552,413 | -        | 1,552,413   | 4,058,069    | 434,013   | 4,492,081   | 63  | 2,575,548 | \$ 10,815,264 | \$ 1,231,257 | \$ 12,046,520 | \$ 2.7   |  |

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

Los datos por resaltar en el año 1 son los siguientes:

- Consumo mensual promedio: 2.026.356 kg
- Inventario en mano promedio: 2.548.624 kg
  - Inicio: 2.800.718 kg
  - Cierre: 4.058.069 kg
- Inventario en tránsito promedio: 1.147.000 kg
  - Inicio: 599.661 kg
  - Cierre: 434.103 kg

- Inventario total promedio: 3.696.359 kg
- Días de cobertura promedio: 52 días

En términos financieros:

- Inventario en mano promedio: 6.836.438 USD
- Inventario en tránsito promedio: 2.994.467 USD
- Inventario total promedio: 9.830.906 USD
- Inicio del año: 8.738.106 USD
- Cierre del año: 12.046.520 USD

Tabla 5. Año 2

| CONSUMPTION |    |           |         |             | INVENTORY KG |           |             |     | SUPPLY    | INVENTORY USD |              |               |          |  |
|-------------|----|-----------|---------|-------------|--------------|-----------|-------------|-----|-----------|---------------|--------------|---------------|----------|--|
| MONTH       | WD | RM CONS.  | RMSALES | TOTAL CONS. | OH           | TRANSIT   | ENDING INV. | DSI | RMENTRY   | OH            | TRANSIT      | ENDING INV.   | COST/ KG |  |
| JAN         | 29 | 2,094,724 | -       | 2,094,724   | 3,230,597    | 479,851   | 3,710,448   | 52  | 1,212,061 | \$ 9,047,137  | \$ 1,435,119 | \$ 10,482,256 | \$ 2.8   |  |
| FEB         | 28 | 2,002,383 | -       | 2,002,383   | 2,476,301    | 385,510   | 2,861,811   | 41  | 1,253,359 | \$ 6,822,558  | \$ 1,034,942 | \$ 7,857,500  | \$ 2.7   |  |
| MAR         | 31 | 2,133,302 | -       | 2,133,302   | 2,263,900    | 333,837   | 2,597,737   | 38  | 1,863,664 | \$ 6,207,870  | \$ 960,466   | \$ 7,168,336  | \$ 2.8   |  |
| APR         | 24 | 1,612,292 | -       | 1,612,292   | 1,881,351    | 543,914   | 2,425,265   | 36  | 1,292,786 | \$ 5,111,155  | \$ 1,466,096 | \$ 6,577,251  | \$ 2.7   |  |
| MAY         | 30 | 2,032,677 | -       | 2,032,677   | 2,731,667    | 1,149,835 | 3,881,502   | 61  | 2,930,436 | \$ 7,192,754  | \$ 3,102,968 | \$ 10,295,722 | \$ 2.7   |  |
| JUN         | 30 | 1,886,973 | -       | 1,886,973   | 2,944,817    | 365,974   | 3,310,791   | 25  | 2,162,394 | \$ 7,682,505  | \$ 1,004,179 | \$ 8,686,684  | \$ 2.6   |  |
| JUL         | 3  | 418,310   | -       | 418,310     | 3,224,643    | 225,764   | 3,450,407   | 64  | 751,536   | \$ 8,874,937  | \$ 622,723   | \$ 9,497,660  | \$ 2.8   |  |
| AUG         | 31 | 1,654,825 | -       | 1,654,825   | 2,405,787    | 224,227   | 2,630,013   | 46  | 860,099   | \$ 6,460,337  | \$ 715,109   | \$ 7,175,447  | \$ 2.7   |  |
| SEP         | 27 | 1,535,212 | -       | 1,535,212   | 1,765,909    | 605,830   | 2,371,739   | 45  | 897,669   | \$ 4,579,375  | \$ 1,328,366 | \$ 5,907,742  | \$ 2.5   |  |
| OCT         | 23 | 1,201,396 | -       | 1,201,396   | 1,891,661    | 605,126   | 2,496,788   | 46  | 1,297,206 | \$ 4,513,734  | \$ 1,335,604 | \$ 5,849,338  | \$ 2.3   |  |
| NOV         | 22 | 1,182,616 | -       | 1,182,616   | 2,101,826    | 318,351   | 2,420,177   | 52  | 1,436,924 | \$ 4,870,231  | \$ 786,996   | \$ 5,657,226  | \$ 2.3   |  |
| DEC         | 19 | 898,666   | -       | 898,666     | 1,927,434    | 339,382   | 2,266,816   | 36  | 794,520   | \$ 4,738,666  | \$ 825,867   | \$ 5,564,533  | \$ 2.5   |  |

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

En el año 2:

- Consumo mensual promedio: 1.554.448 kg
- Inventario en mano promedio: 2.403.824 kg
  - Inicio: 3.230.597 kg
  - Cierre: 1.927.434 kg
- Inventario en tránsito promedio: 464.800 kg
  - Inicio: 479.851 kg
  - Cierre: 339.382 kg
- Inventario total promedio: 2.868.624 kg
- Días de cobertura promedio: 45 días

En términos financieros:

- Inventario en mano promedio: 6.341.772 USD

- Inventario en tránsito promedio: 1.218.203 USD
- Inventario total promedio: 7.559.974 USD
- Inicio del año: 10.482.256 USD
- Cierre del año: 5.564.533 USD

*Tabla 6. Año 3 (Q1)*

| CONSUMPTION |    |           |         |             | INVENTORY KG |         |             |     | SUPPLY    | INVENTORY USD |         |             | COST/ KG |
|-------------|----|-----------|---------|-------------|--------------|---------|-------------|-----|-----------|---------------|---------|-------------|----------|
| MONTH       | WD | RMCONS.   | RMSALES | TOTAL CONS. | OH           | TRANSIT | ENDING INV. | DSI | RMENTRY   | OH            | TRANSIT | ENDING INV. |          |
| JAN         | 21 | 1,320,111 | -       | 1,320,111   | 1,544,059    | 201,169 | 1,745,228   | 31  | 945,567   | 3,692,631     | 520,672 | 4,213,303   | \$ 2.4   |
| FEB         | 24 | 1,334,291 | -       | 1,334,291   | 1,811,396    | 202,139 | 2,013,535   | 32  | 1,590,105 | 4,174,013     | 464,946 | 4,638,959   | \$ 2.3   |
| MAR         | 21 | 1,318,060 | -       | 1,318,060   | 1,495,606    | 249,123 | 1,744,729   | 32  | 1,033,545 | 3,443,604     | 600,039 | 4,043,643   | \$ 2.3   |

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

En el primer trimestre del tercer año:

- Consumo mensual promedio: 1.324.154 kg
- Inventario en mano promedio: 1.617.020 kg
  - Inicio: 1.544.059 kg
  - Cierre: 1.495.606 kg
- Inventario en tránsito promedio: 217.477 kg
  - Inicio: 201.169 kg
  - Cierre: 249.123 kg
- Inventario total promedio: 1.834.497 kg
- Días de cobertura promedio: 32 días

En términos financieros:

- Inventario en mano promedio: 3.770.083 USD
- Inventario en tránsito promedio: 528.552 USD
- Inventario total promedio: 4.298.635 USD
- Inicio del trimestre: 4.213.303 USD
- Cierre del trimestre: 4.043.643 USD

*Tabla 7. Comparación de los 3 periodos*

| Indicador                               | Año 1 - 2023 | Año 2 - 2024 | Año 3 - 2025 Q1 |
|-----------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| Consumo promedio mensual (Kg)           | 2,026,356    | 1,554,448    | 1,324,154       |
| Inventario en mano promedio (Kg)        | 2,548,624    | 2,403,824    | 1,617,020       |
| Inventario en tránsito promedio (Kg)    | 1,147,000    | 464,800      | 217,477         |
| Inventario total promedio (Kg)          | 3,696,359    | 2,868,624    | 1,834,497       |
| Días de cobertura promedio (DSI)        | 52           | 45           | 32              |
| Valor promedio inventario en mano (USD) | \$ 6,836,438 | \$ 6,341,772 | \$ 3,770,083    |
| Valor promedio en tránsito (USD)        | \$ 2,994,467 | \$ 1,218,203 | \$ 528,552      |
| Valor promedio total inventario (USD)   | \$ 9,830,906 | \$ 7,559,974 | \$ 4,298,635    |
| Costo promedio por kilo (USD/Kg)        | \$ 2.7       | \$ 2.6       | \$ 2.3          |

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

Como se observa en la Tabla 7, el conjunto de prácticas de planeación implementadas contribuyó significativamente a mejorar la gestión del inventario de materias primas.

### **1. Optimización del Inventario Total (Kg)**

El inventario total promedio, entendido como la suma del inventario en mano en planta y el inventario en tránsito, se redujo de 3.696.359 kg en 2023 a 2.868.624 kg en 2024, y posteriormente a 1.834.497 kg en el primer trimestre de 2025, lo que representó una disminución aproximada del 50%. Este resultado reflejó una mejora significativa en los mecanismos de planificación del abastecimiento implementados en la planta de Goodyear Colombia.

La implementación del módulo MRP en SAP, junto con la utilización de la herramienta de simulación VMI, permitió una mayor alineación entre el consumo histórico, el pronóstico de demanda y las decisiones de compra. Esta integración facilitó la simulación de diferentes escenarios de abastecimiento y permitió tomar decisiones más oportunas para evitar sobreabastecimientos, así como responder de manera más eficiente a variaciones en la demanda.

Adicionalmente, el fortalecimiento de la relación con los proveedores, mediante reuniones periódicas y un enfoque colaborativo en la planificación del suministro, permitió reducir los tamaños de lote e implementar entregas más frecuentes, ajustadas a las necesidades operativas de la planta.

Otro factor relevante fue la reducción en los tiempos de tránsito de ciertas materias primas. Un ejemplo representativo fue la sustitución parcial del proveedor de caucho natural ubicado en Indonesia por un proveedor localizado en Colombia, lo que permitió disminuir significativamente los tiempos de entrega y optimizar los niveles de inventario requeridos.

Es importante destacar que esta reducción en los niveles de inventario no comprometió el nivel de servicio ni generó interrupciones en el proceso productivo, lo que evidenció una mejora en la eficiencia del proceso de planificación del abastecimiento y en la gestión del inventario de materias primas.

## **2. Mejora en los Días de Inventario (DSI)**

Los DSI o días de inventario son un indicador que refleja el número de días que la planta puede operar con su inventario disponible. Estos se redujeron de manera sostenida: de 52 días en 2023 a 45 días en 2024, y finalmente a 32 días en el primer trimestre de 2025. Esta mejora del 38% representó un aumento en la eficiencia del abastecimiento y trajo múltiples beneficios, entre ellos un nivel de ocupación de la bodega por debajo de su capacidad, un menor riesgo de vencimiento de materias primas y un mayor flujo de caja, el cual se profundiza en la siguiente sección.

## **3. Impacto Financiero: Valor Total del Inventario (USD)**

El inventario valorizado en dólares evidenció una mejora significativa durante el periodo analizado. En 2023, el valor total mensual promedio fue de USD 9.830.906, disminuyendo a USD 7.559.974 en 2024, y alcanzando USD 4.298.635 en el primer trimestre de 2025. Esto representó una reducción aproximada del 56%, equivalente a una liberación de USD 5.532.271 en capital de trabajo.

Esta mejora en el proceso de abastecimiento tuvo un impacto positivo directo sobre el flujo de caja de la operación, ya que permitió disminuir el capital invertido en inventarios y optimizar la utilización de los recursos financieros de la compañía.

La liberación de capital de trabajo permitió reasignar recursos hacia áreas estratégicas de la

operación, tales como proyectos de inversión en activos (Capex), campañas de mercadeo y ventas orientadas al crecimiento del mercado, y la amortización de obligaciones financieras con la casa matriz y entidades bancarias. Como resultado, estas mejoras contribuyeron a una reducción en el costo por llanta producida, fortaleciendo la competitividad de la planta de Goodyear Colombia dentro del mercado.

A nivel desagregado, la homologación del proveedor local de caucho natural representó la mayor contribución individual, con una liberación aproximada de un millón de dólares en capital de trabajo derivada de la reducción de los días de inventario de 60 a 20 días para este material, complementada por un ahorro de aproximadamente USD 0.07 por kilogramo frente al proveedor de Indonesia. La implementación del MRP y del VMI contribuyó a identificar y eliminar excesos de inventario generados por la diferencia entre la cobertura estadísticamente requerida por material y la política histórica de rangos fijos, permitiendo ajustes más precisos en las órdenes de compra.

El modelo de las ocho razones estandarizó los parámetros de inventario para más de treinta materias primas, sustituyendo criterios generales por parámetros basados en el comportamiento estadístico de cada material. El modelo de optimización de contenedores redujo los costos de flete en situaciones de contingencia al consolidar materiales críticos en contenedores completos, evitando el transporte en carga suelta. Finalmente, la homologación del distribuidor local de químicos eliminó el riesgo de vencimiento de materiales y permitió ajustar los volúmenes de compra a las necesidades reales de consumo. Los valores deben interpretarse como estimaciones, dado que el impacto individual de cada práctica no es completamente aislable del efecto conjunto del sistema integrado de planeación implementado.

#### **4. Disminución del Costo por Kilogramo**

El costo promedio por kilogramo de materia prima presentó una disminución progresiva durante el período evaluado, pasando de USD 2.70 en 2023 a USD 2.60 en 2024, y finalmente a USD 2.30 en el primer trimestre de 2025. Esta evolución representó una reducción acumulada aproximada del 15% al comparar el valor inicial con el registrado al cierre del período.

Uno de los factores clave que explicó esta mejora en los costos fue la sustitución parcial del caucho natural importado desde Indonesia (identificado como “NOVOLO”) por caucho natural de origen

colombiano (denominado “NOLO”). Esta decisión estratégica dentro del proceso de abastecimiento tuvo un impacto directo en la estructura de costos, generando una reducción de aproximadamente USD 0.07 por kilogramo entre 2023 y 2024, lo que representó prácticamente la totalidad del ahorro registrado en ese período.

Adicionalmente, este cambio explicó aproximadamente el 18% de la reducción total del costo por kilogramo observada entre 2023 y el primer trimestre de 2025. Este resultado evidenció la efectividad de la implementación de una práctica líder de planeación, específicamente una estrategia de abastecimiento local, que no solo contribuyó a la disminución de costos, sino también a la reducción de los tiempos de entrega, a una mayor estabilidad en el suministro y a una menor exposición a variaciones en la tasa de cambio

La Figura 20 presenta la comparación del costo por kilogramo del caucho natural importado desde Indonesia frente al caucho natural de origen colombiano, según los precios registrados en el sistema SAP. Con base en estos datos se construyó la Tabla 8, en la cual se presentan los valores expresados en pesos colombianos (COP) y en dólares estadounidenses (USD), permitiendo cuantificar con mayor precisión el impacto financiero de la sustitución parcial del proveedor internacional por un proveedor local.

Figura 20. Costo por kilo caucho natural

|                    |               |                           |          |                                      |                |   |             |      |           |            |     |     |   |                       |      |  |  |
|--------------------|---------------|---------------------------|----------|--------------------------------------|----------------|---|-------------|------|-----------|------------|-----|-----|---|-----------------------|------|--|--|
| Plant              |               | L505                      |          |                                      |                |   |             |      |           |            |     |     |   |                       |      |  |  |
| Period             |               | 001.2024                  |          |                                      |                |   |             |      |           |            |     |     |   |                       |      |  |  |
| Currency/Valuation |               | COP Company code currency |          |                                      |                |   |             |      |           |            |     |     |   |                       |      |  |  |
| Material Group     | Material Type | ValCl                     | Material | Material Description                 | Valuation Type | ⌘ | Total stock | Unit | Std price | PerUnitPr. | Per | Pr. | ⌘ | Total Inventory Value | Crcy |  |  |
| POLY               | POLY          | 3401                      | NOLO     | NOLO - Natural Rubber (Grade 20)     |                |   | 142.158,086 | KG   | 649.459   | 651.487    | 100 | V   |   | 926.140.748           | COP  |  |  |
| POLY               |               | 3401                      | NOVOLO   | TECHNICALLY SPECIFIED NATURAL RUBBER |                |   | 72.605,571  | KG   | 691.570   | 679.303    | 100 | V   |   | 493.211.654           | COP  |  |  |
|                    |               |                           |          |                                      |                |   | 214.763,657 | KG   |           |            |     |     |   | 1.419.352.402         | COP  |  |  |

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Tabla 8. Costo por kilo de caucho natural de Colombia vs Indonesia

| Material | Costo x KG / COP | Costo x KG / USD |
|----------|------------------|------------------|
| NOLO     | \$ 6.514,87      | \$ 1,67          |
| NOVOLO   | \$ 6.793,03      | \$ 1,74          |

Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear

Por otra parte, la consolidación de compras mediante una mejor utilización del espacio en los contenedores, optimizada a través del modelo AMPL, junto con mejoras en los procesos logísticos y la reducción de sobre costos derivados de compras urgentes desde otras plantas, contribuyeron significativamente a la disminución del costo por kilo, fortaleciendo la estructura de costos de producción y elevando la competitividad del negocio.

## 5. Variación de los expedite freight y air freight

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales problemas identificados fue la alta frecuencia de compras urgentes de materias primas, lo que generaba costos extraordinarios asociados a fletes urgentes y transporte aéreo.

En 2022, estos sobre costos ascendieron a USD 426.000, de los cuales USD 285.000 correspondieron a transferencias de materia prima desde otras plantas de Goodyear, USD 125.000 a fletes urgentes (expedite freight) y USD 16.000 al uso de transporte aéreo (air freight).

En los años siguientes, esta situación mostró una mejora considerable como resultado de la implementación de prácticas más estructuradas de planificación del abastecimiento, lo que permitió reducir la necesidad de compras urgentes y optimizar la coordinación logística con los proveedores.

La Tabla 9 presenta la evolución de los costos asociados a expedite freight y air freight durante el periodo analizado. Este análisis evidenció que, gracias a la implementación de prácticas líderes de planeación, se logró una reducción significativa en las compras urgentes y en los costos asociados a este tipo de transporte.

*Tabla 9. Sobre costos por compras urgentes*

| <b>Año</b> | <b>Compra otra planta</b> | <b>Expedite Freight</b> | <b>Aéreo</b> | <b>Total Sobre costos</b> |
|------------|---------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|
| 2022       | \$ 285                    | \$ 125                  | \$ 16        | \$ 426                    |
| 2023       | \$ 233                    | \$ 102                  | \$ 13        | \$ 349                    |
| 2024       | \$ 180                    | \$ 79                   | \$ 10        | \$ 268                    |
| 2025       | \$ 25                     | \$ 11                   | \$ 1         | \$ 38                     |

*Unidades en miles de dólares.*

*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

No obstante, factores logísticos externos, como demoras en tránsito internacional o variaciones en disponibilidad de transporte siguen representando un reto, lo que impide eliminar por completo estos gastos.

La Figura 21 presenta el dashboard de indicadores diseñado como parte de los mecanismos de monitoreo y control propuestos en este proyecto. En este panel se observan los principales indicadores asociados a sobrecostos logísticos, tales como el gasto por compras urgentes a otras plantas de Goodyear, los costos de fletes alternativos (expedite freight) y el uso de transporte aéreo (air freight).

El análisis de estos indicadores a lo largo del tiempo evidenció una mejora significativa como resultado de la implementación de las prácticas de planeación desarrolladas en este proyecto, reflejándose en una reducción progresiva de los costos asociados a compras urgentes y soluciones logísticas extraordinarias.

*Figura 21. Dashboard de indicadores*



*Fuente: elaboración propia basada en datos internos de Goodyear*

## **5. Capítulo 5: Conclusiones**

En conclusión, el presente proyecto logró cumplir su objetivo general, al rediseñar el proceso de planificación del abastecimiento de materias primas en la planta de Goodyear Colombia mediante la integración de prácticas de planeación, herramientas analíticas y estrategias de abastecimiento. Este rediseño permitió mejorar significativamente la eficiencia operativa y financiera del sistema, evidenciado en la reducción de sobrecostos logísticos, la optimización de los niveles de inventario, la liberación de capital de trabajo y la disminución del riesgo de interrupciones en la producción por desabastecimiento.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio trascendió la descripción de prácticas empresariales, al incorporar fundamentos teóricos de la literatura en gestión de inventarios y planificación del abastecimiento, particularmente en lo relacionado con la variabilidad de la demanda y los tiempos de entrega. En este sentido, se integraron conceptos como políticas de inventario bajo incertidumbre, stock de seguridad, modelos de revisión continua y estrategias de abastecimiento colaborativo, lo cual permitió contrastar la práctica empresarial con los enfoques teóricos existentes y adaptarlos al contexto operativo de la planta.

A partir de la revisión de la literatura y del benchmarking con otras plantas de Goodyear en Latinoamérica, se identificaron e implementaron diversas prácticas clave, entre las que se destacan: la estructuración de las ocho razones de inventario, la implementación del MRP y la simulación mediante VMI en SAP, el desarrollo de un modelo de optimización de contenedores para escenarios de contingencia y la búsqueda de proveedores alternativos locales. Estas prácticas fueron adaptadas a las condiciones específicas de la operación, permitiendo la estandarización de procesos y una mayor alineación entre las áreas de supply chain, producción y finanzas.

Cada vez que se iniciaba una nueva práctica de planeación se hizo una reunión de socialización y puesta en marcha de esta, con el gerente de supply chain y las áreas interesadas, con el fin de garantizar compromiso organizacional.

Los resultados obtenidos evidencian un impacto significativo en los principales indicadores del

sistema. Entre 2023 y el primer trimestre de 2025, el inventario total se redujo en un 50%, los días de inventario disminuyeron de 52 a 32 días, el valor del inventario se redujo en un 56% y el costo promedio por kilogramo de materia prima disminuyó en un 15%. En términos financieros, estas mejoras representaron la liberación de aproximadamente 5,5 millones de dólares en capital de trabajo, contribuyendo directamente al fortalecimiento del flujo de caja de la operación.

Las ocho razones de inventario permitieron una planificación más precisa y alineada con la operación, al incorporar tanto restricciones logísticas como la variabilidad de la demanda y de los tiempos de reposición, la implementación del MRP y la simulación de VMI, permitió que el proceso de planeación fuera más eficiente y se lograra tomar decisiones de una manera más ágil, liberando capital por inventario en exceso y disminución de sobrecostos logísticos dado a fletes extraordinarios y aéreos, la homologación de proveedores alternos permitió flexibilidad en el abastecimiento, reducción de tiempos y costos. Estos ahorros permitieron mejorar el flujo de caja de la compañía, reasignar recursos estratégicos y reducir deuda financiera. Además, se llevó a cabo la implementación del modelo de optimización de contenedores, lo cual es muy importante para reducir sobrecostos en situaciones de emergencia las cuales la planta no está exenta.

Estos resultados son consistentes con lo planteado en la literatura, la cual establece que la integración de herramientas de planificación como el MRP, el uso de modelos colaborativos como el VMI y la diversificación de proveedores permiten reducir la variabilidad del sistema, mejorar la coordinación en la cadena de suministro y optimizar los niveles de inventario. Asimismo, el estudio evidencia que la incorporación de proveedores locales y la reducción de los tiempos de entrega tienen un impacto directo en la disminución de los niveles de inventario requeridos.

Las prácticas anteriores, se alinean con la ODS 9 de la agenda 2030 para el desarrollo de America Latina y el Caribe el cual hace énfasis en industria, innovación e infraestructura. Ya que se mejoró el proceso de abastecimiento a través de innovación de procesos, búsqueda de proveedores locales y liberación de capital de trabajo, esto contribuyó al generar un valor agregado manufacturero (indicador 9.2.1 de la Agenda) y fortalecimiento del empleo en el sector industrial (indicador 9.2.2 de la Agenda), lo cual, finalmente impacta positivamente la productividad y el desarrollo económico sostenible, siendo este el objetivo general de la Agenda.

Adicionalmente, se desarrollaron mecanismos de monitoreo y control mediante la implementación de tableros de indicadores y reuniones periódicas entre las áreas clave, lo cual permitió fortalecer la disciplina operativa, mejorar la toma de decisiones y asegurar la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo.

Desde una perspectiva estratégica, el proyecto contribuyó al fortalecimiento del abastecimiento como una función clave dentro de la organización, permitiendo la transición de un enfoque reactivo hacia uno más analítico y proactivo, soportado en datos y herramientas de planificación.

Finalmente, este estudio aporta evidencia empírica sobre la aplicación de modelos y prácticas de planificación del abastecimiento en un entorno industrial real, demostrando que la adaptación de enfoques teóricos a condiciones operativas específicas permite generar beneficios tangibles tanto en términos operativos como financieros.

## 6. Capítulo 6: Referencias Bibliográficas

Babai, M. Z., Dai, Y., Li, Q., Syntetos, A., & Wang, X. (2022). Forecasting of lead-time demand variance: Implications for safety stock calculations. *European Journal of Operational Research*, 296(3), 846–861. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.04.017>

Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson.

Flores, B. E., & Whybark, D. C. (1986). Multiple criteria ABC analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 6(3), 38–46. <https://doi.org/10.1108/eb054765>

Goodyear. (2017). *VMI user's guide* [Documento interno no publicado].

Golini, R., & Kalchschmidt, M. (2011). Moderating the impact of global sourcing on inventories through supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.06.011>

Javadi, S. M., Sadjadi, S. J., Teimoury, E., & Makui, A. (2025). Material requirements planning with a novel lot sizing method and a new algorithm for production scheduling. *Scientific Reports*, 15, 27637. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13197-8>

Lee, J.-Y., Paik, S.-K., & Cho, R. K. (2015). Vendor-managed inventory: A literature review on theoretical and empirical studies and future research directions. *International Journal of Advanced Operations Management*, 7(3), 199–224. <https://doi.org/10.1504/IJAOM.2015.074209>

Malindžáková, M., Garaj, P., Trpčevská, J., & Malindžák, D. (2022). Setting MRP parameters and optimizing the production planning process. *Processes*, 10(4), 690. <https://doi.org/10.3390/pr10040690>

Milne, A., Mahapatra, S., & Wang, H. (2015). *Optimizing planned lead times in material requirements planning systems*. *International Journal of Production Economics*, 169, 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.013>

Mohammed, I. A., & Mandal, J. (2023). The impact of lead time variability on supply chain management. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(2), 41–55. <https://doi.org/10.47604/ijscm.3075>

Morillo, D., & Gatica, G. (2022). *Aprende modelando: Programación lineal entera-mixta. Guía de aprendizaje desde el problema a la solución con AMPL*.

Namdar, J., Li, X., Sawhney, R., & Pradhan, N. (2018). Supply chain resilience for single and multiple sourcing in the presence of disruption risks. *International Journal of Production Research*, 56(6), 2339–2360. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1370149>

Orlicky, J. (1975). *Material requirements planning: The new way of life in production and inventory management*. McGraw-Hill.

Prak, D., Teunter, R. H., & Syntetos, A. A. (2017). *On the calculation of safety stocks when demand is forecasted*. *European Journal of Operational Research*, 256(2), 454–461. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.035>

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and production management in supply chains* (4th ed.). CRC Press.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2008). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Syntetos, A. A., Babai, M. Z., Boylan, J. E., Kolassa, S., & Nikolopoulos, K. (2016). Supply chain forecasting: Theory, practice, their gap and the future. *European Journal of Operational*

*Research*, 252(1), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.11.010>

Van Foreest, N. D. (2023, December 16). An intuitive approach to inventory control with optimal stopping. *European Journal of Operational Research*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221723004204>

Zipkin, P. H. (2000). *Foundations of inventory management*. McGraw-Hill.