

UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial

“Algoritmo de ponderación, priorización y secuencia en base a la metodología de mínimos y máximos para la creación de planimetría de inventarios en una empresa retail comercializadora de motocicletas”

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Industrial

Autora:

Karla Michelle Serrano Cordero

CI: 0105247514

Correo: carla_141514@hotmail.com

Tutor:

James Marlon Arias Cisneros

CI: 010240714-5

Cuenca, Ecuador

16-noviembre-2022

Resumen: En el sector *retail*, la asignación de inventario implica un desafío dinámico pues, se requiere adoptar políticas que consideren la demanda fluctuante del mercado y la variabilidad en el comportamiento del consumidor, según su ubicación geográfica. Una distribución de inventarios inapropiada trasciende directamente en los niveles de venta, en los costos por mantener niveles de inventario elevados, y los costos logísticos de transferencias entre almacenes debido a la disponibilidad incompleta de productos. En el presente trabajo de investigación se desarrolla un modelo algorítmico que calcula el mejor surtido para cada almacén de una empresa *retail* del sector de motocicletas. La solución propuesta se basa en métodos de priorización y ponderación de variables históricas externas, internas y variables de mercadeo, de manera que permita obtener el conjunto ideal de productos. El modelo se desarrolló en el lenguaje de programación Visual Basic por su flexibilidad en la parametrización de variables combinada con la implementación sencilla y la interactividad con bases de datos. Los resultados demuestran que los indicadores de rotación de inventario incrementaron significativamente a partir de la aplicación del modelo, lo cual demuestra que una correcta asignación de inventario puede aumentar los beneficios del minorista. La fortaleza del sistema planteado es que permite la parametrización de variables de entrada acorde a las necesidades comerciales del dueño de *retail*; pues una de las principales limitaciones de la literatura existente es que descuida las reglas de comercialización y no atiende la importancia estratégica del producto.

Palabras clave: Retail. Planimetría. Priorización. Planificación de inventarios.

Abstract: In the retail sector, inventory allocation implies a dynamic challenge since it is necessary to adopt policies that consider the market fluctuating demand and the consumer behavior variability, depending on their geographical location. An inappropriate inventory distribution directly transcends sales levels, the cost of maintaining high inventory levels, and the transfer logistics cost of between stores due to the incomplete availability of products. In this research work an algorithmic model that calculates the best assortment for each store of a retail company in the motorcycle sector is developed. The proposed solution is based on prioritization methods and weighting of external and internal historical variables and marketing variables in order to obtain the ideal set of products. The model has been developed in Visual Basic programming language for its flexibility in variable parameterization combined with easy implementation and interactivity with databases. The results show that inventory turnover indicator increase significantly from the application of the model, which shows that a correct inventory allocation can increase the profits of the retailer. The strength of the proposed system is that it allows the parameterization of input variables according to the commercial needs of the retail owner; because one of the main limitations of the existing literature is that it neglects marketing rules and does not address the strategic importance of the product.

Keywords: Retail. Planimetry. Prioritization. Inventory Planning.

Índice de Trabajo

1. Introducción	7
1.1. <i>Caso de Estudio</i>	10
2. Materiales y métodos	12
2.1. <i>Descripción del modelo</i>	13
2.2. <i>Recolección y tratamiento de datos</i>	14
2.3. <i>Formulación del modelo</i>	14
2.3.1. <i>Capacidad de almacén (Espacio)</i>	14
2.3.2. <i>Categorización de productos</i>	16
2.3.3. <i>Capacidad de categoría (Espacio)</i>	17
2.3.4. <i>Asignación de productos por categoría (Asignación)</i>	19
2.4. <i>Restricciones de asignación</i>	23
3. Resultados	24
3.1. <i>Algoritmo de asignación</i>	24
3.2. <i>Validación</i>	24
3.2.1. <i>Discusión</i>	29
4. Conclusiones	30
Referencias Bibliográficas	31
ANEXOS	34

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Karla Michelle Serrano Cordero en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Algoritmo de ponderación, priorización y secuencia en base a la metodología de mínimos y máximos para la creación de planimetría de inventarios en una empresa retail comercializadora de motocicletas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de noviembre de 2022



Karla Michelle Serrano Cordero

0105247514

Cláusula de Propiedad Intelectual

Karla Michelle Serrano Cordero, autor/a del trabajo de titulación "Algoritmo de ponderación, priorización y secuencia en base a la metodología de mínimos y máximos para la creación de planimetría de inventarios en una empresa retail comercializadora de motocicletas" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 16 de noviembre de 2022



Karla Michelle Serrano Cordero

0105247514

1. Introducción

La gestión de inventarios en empresas *retail* con ubicaciones múltiples conduce a un problema dinámico pues se deben adoptar políticas de inventario que realmente funcionen en las diferentes tiendas que forman parte de una cadena *retail*. Por lo general, la mayoría de los modelos de inventario consideran y suponen una sola distribución de probabilidad de demanda para todos los almacenes de la cadena, lo cual puede afectar el análisis pues existe gran variabilidad entre cada almacén. Entonces, la demanda de artículos en una empresa *retail* se comporta de manera significativamente diferente por factores económicos, sociales, diferencias culturales, e incluso el formato de almacén puede dificultar el análisis y las decisiones de reposición en cada punto *retail* (Agrawal & Smith, 2013).

Cuando la política de reposición y distribución es inapropiada, trasciende directamente en los niveles de venta, incrementan los costos de llevar el exceso de inventario, los costos por ventas perdidas debido a la falta de cierta marca o modelo presente en la tienda y costos por transferencias entre almacenes. El análisis se vuelve dinámico y complejo pero si las decisiones de reposición se explotan de una manera adecuada puede maximizar la ganancia de la organización (Varley, 2003). La planificación del inventario de múltiples productos para un minorista implica establecer el nivel óptimo de reposición para cada artículo. Para Kök & Fisher (2007) “el problema de optimización de inventarios es un problema de

asignación de recursos discreto, no separable y no lineal”; los autores proponen un algoritmo de optimización y demuestran la importancia de enfocarse en las decisiones correctas de reposición (grupo de productos, sus características y sus niveles de almacenamiento) para la planificación de la variedad, ya que esto puede aumentar significativamente los beneficios de un minorista (Kök & Fisher, 2007).

En el contexto de empresas *retail*, es muy común la disponibilidad incompleta de artículos debido a la variabilidad de demanda a través de una extensa gama de productos, según estudios desarrollados existen empresas que manejan desde 500 hasta 30000 ítems distintos. Con la complejidad del número de productos manejados es indispensable la implementación de una política correcta de administración de inventarios para controlar esta variable al determinar cantidades y ciclos de reposición de cada ítem, además la política debe funcionar para cada tienda *retail* de la cadena de suministro (Arias, 2012).

El planificador minorista se enfrenta a decisiones importantes al momento de determinar el conjunto de productos que deben ser asignados con un espacio limitado de exhibición; para Hübner, Düsterhöft, & Ostermeier (2021) esto representa una problemática de planificación táctica que debe ser revisada cuando existen cambios importantes en el inventario, variaciones en los contratos con los proveedores o cuando se ajustan cambios en las categorías definidas. Una herramienta empleada para la planificación de

espacio es la planimetría, esquema detallado que maneja un enfoque de comercialización para seleccionar productos y su espacio en el punto de venta, busca reasignar de manera óptima el inventario de exhibición y minimizar el agotamiento de existencias (E.Frontoni, F.Marinelli, R.Rosetti, & P.Zingaretti, 2017). El grado de complejidad de una planimetría depende de la gestión por categorías y la capacidad de exhibición de cada tienda *retail* (Fernández, 2018).

Entre los aspectos relevantes para el sector minorista está la variedad y la imagen que el almacén comunica a sus consumidores; es decir, el nivel de exhibición genera información al cliente. Rosch (1978) indica que una estructura unificadora encargada de organizar información sobre productos tiene incidencia directa en los consumidores, ayudándolos a identificar atributos relevantes sin un esfuerzo cognitivo elevado. Por lo tanto, la categorización de productos otorga una perspectiva clara al cliente para influir en el enfoque de características y decisiones de compra. También, la rentabilidad global que contribuye cada categoría es un parámetro de peso para la empresa *retail*, pues permite focalizar procesos de compra y distribución (Varley, 2003).

En general, los productos que conforman la categoría guardan ciertas características en común, siendo sustitutos razonables con variaciones en marca, precio, color etc. Sin embargo, puede existir complementariedad entre productos incluidos en una categoría, esto puede

contribuir al posicionamiento de marca que maneja el minorista. Como *retail*, uno de los retos cuando se posee marca propia es posicionar su marca y maximizar beneficios internos. Los gerentes están definiendo y construyendo categorías para mejorar el rendimiento del grupo de productos, buscando proveedores que entiendan su mercado y complementen su portafolio de productos, ya que administrar correctamente categorías permite tomar decisiones a nivel macro en beneficio de los autores de la cadena (Varley, 2003).

Los niveles mínimos y máximos de inventario se asignan en base a un comportamiento histórico de venta, bajo la revisión de políticas de comercialización, políticas internas de mercadeo y en base a la disponibilidad de espacio. El nivel mínimo de inventario es el punto de reorden para asignar y distribuir mercadería hasta el punto máximo establecido (Arias, 2012). En la metodología de mínimos y máximos, la cantidad mínima de existencias es el punto de referencia de pedidos en el periodo de reordenamiento. Mientras que el nivel máximo es la cantidad limitante de existencias que almacena la tienda, por ello es necesario calcular la capacidad máxima de exhibición, la cual se determina en función al espacio ocupado por cada producto y los metros cuadrados disponibles por almacén. Un modelo de máximos y mínimos es útil cuando los costos de revisar y ordenar son muy grandes y evita la colocación de pedidos muy pequeños. La revisión del inventario se realiza periódicamente y si la posición de inventario está en un nivel

mínimo, entonces se debe colocar la orden con la cantidad suficiente para lograr un inventario al nivel máximo (Chamorro Corea, Díaz Camejo, Fuentes Espinoza, & Lovo Gutiérrez, 2018).

Se han identificado trabajos en la literatura que determinan la asignación óptima de inventario mediante la creación de modelos que utilizan diferentes distribuciones de demanda para los estudios, los cuales se mencionan a continuación.

Agrawal & Smith (2013) plantean un modelo matemático que determina el tamaño total del pedido, y obtienen la asignación óptima de inventario en tiendas no idénticas para dos períodos determinados; los autores formulan un modelo de optimización de inventario con distribuciones de probabilidad de tipo exponencial para la demanda (distribución comúnmente utilizada en la gestión de inventarios) y demuestran que tener mayores diferencias entre las demandas medias de las tiendas conduce a una mayor ganancia esperada para una cadena minorista con ubicaciones múltiples. Por otro lado, Arango Marín, Giraldo García, & Castrillón Gómez (2013) proponen un modelo de gestión de inventarios que parte de pronósticos de ventas calculados por el algoritmo de Holt-Winters que utiliza el nivel de servicio para calcular las cantidades a comprar de cada producto.

El planteamiento de Cachon, Gallino, & Olivares (2018) estudia cómo la previsión de demanda, el inventario, la variedad de productos y las ventas están altamente correlacionados al

momento de establecer políticas de inventario para un almacén minorista (Ver Figura. 1). Demuestran que esta correlación no es atribuible a un efecto causal, los autores simulan una política de asignación óptima de inventario en donde muestran que maximizar la variedad y minimizar la duplicación de modelos de automóviles de un concesionario aumenta los beneficios del minorista.

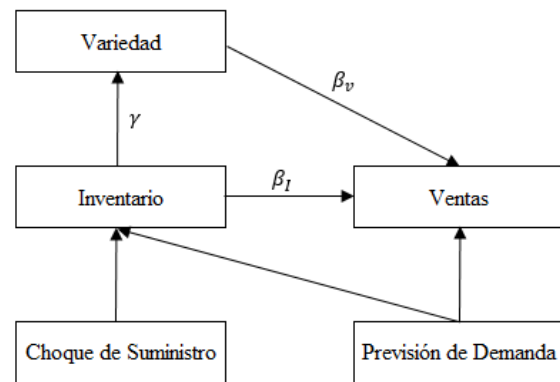


Figura 1. Relación entre Inventario, Variedad y Ventas. Fuente: (Cachon et al., 2018)

Los coeficientes imparciales β , γ representan variables que afectan directamente a la variedad y el inventario, además la formulación incluye variables de control y utiliza la previsión de demanda para determinar los niveles de inventario y requerimientos en variedad (Cachon et al., 2018). Según la revisión de la literatura existente, una gran cantidad de modelos de inventario utiliza las ventas internas para realizar la previsión de demanda, sin embargo, se considera que resultaría más realista asignar inventario a un almacén contemplando también la demanda esperada de los artículos proveniente de una fuente externa.

La propuesta de Urban (1998) integra decisiones de control de inventario, asignación de espacio y decisiones de abastecimiento. Este algoritmo con demanda determinística modela la tasa de demanda como dependiente del nivel de inventario exhibido. Los parámetros que integra el modelo son: punto de reorden, la cantidad de pedido y la asignación de espacio. Para la formulación del modelo, los autores consideran las limitaciones asociadas al problema de asignación de espacio, como son la cantidad máxima y cantidad mínima disponible para ser exhibida. El modelo no atiende la importancia estratégica de un producto, lo cual puede influir en la variedad y asignación de inventario.

Por lo tanto, los modelos matemáticos formulados para calcular el nivel óptimo de inventario se caracterizan por emplear distribuciones de demanda probabilística o determinística para determinar la cantidad total de la orden. Además, generan una solución bajo la premisa de que existe dependencia del volumen de ventas con la cantidad asignada de inventario. En este trabajo, para determinar la demanda media de los artículos, se integra información de ventas tanto externa como interna a fin de corregir desviaciones del histórico interno de ventas. De acuerdo con Hofmann (2017) “la cantidad de datos disponibles para las empresas ha aumentado debido a la capacidad tecnológica, con mayor inclusión de datos relacionados con factores externos e históricos”. La introducción de variables de mercadeo, como el lanzamiento de un nuevo producto, políticas de descuento y

promoción por temporada, ayuda al pronóstico e integra la base de datos para el cálculo de la solución buscada.

1.1. Caso de Estudio

El presente trabajo de investigación se enfoca en una empresa *retail* dedicada a la comercialización de motocicletas a nivel nacional. Se realiza un caso de estudio basado en datos reales obtenidos de 40 concesionarios con ubicaciones múltiples tanto en la Costa, Sierra y Oriente del Ecuador. En los últimos 5 años, el sector de comercialización de motocicletas ha experimentado un crecimiento exponencial generando un impacto positivo en la economía del país, facilitando la movilidad, y generando una fuente importante de empleo. Según los datos de matriculación a nivel nacional, el mercado de motocicletas en el país entre el 2017 y 2021 ha aumentado un 75,62%, a una tasa promedio anual de 15,12%, de modo que en 2021 la matriculación de motocicletas ascendió a 165.701 unidades (*Figura 2*), esto ha demostrado un incremento de demanda y grandes oportunidades para el sector de comercialización (AEADE, 2021).

El sector de motocicletas se encuentra totalmente medido a través de la matriculación vehicular, lo cual representa una ventaja al proporcionar información externa real al modelo; la data externa es un punto clave para ajustar los datos internos y realizar la compilación de toda la información disponible para analizar el

comportamiento de demanda en cada almacén de la cadena *retail*.

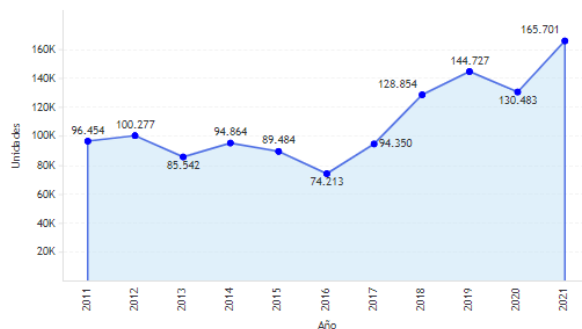


Figura 2 Mercado de motocicletas en el Ecuador. Fuente: Base Matriculación Vehicular (AEADE, 2021)

Las actividades de la empresa en estudio dependen en gran medida de sus ventas y manejo de inventarios para exhibición. La recepción de mercadería en base a las necesidades mensuales de cada almacén es muy fluctuante y la frecuencia de abastecimiento se realiza de manera semanal.

El nivel de exhibición de motocicletas representa un papel importante al momento de tomar decisiones de reposición de inventario; un factor a considerar es el tiempo de entrega del producto. Una vez realizada la venta, inicia el trámite de matriculación de la motocicleta a nombre del cliente, este tiempo de gestión difiere en cada ciudad y representa una restricción para la entrega al cliente final. Por ello, las motocicletas vendidas en estado de matriculación ocupan un espacio de exhibición y es indispensable considerarlo al momento de realizar la planimetría de asignación de inventario para cada punto de la cadena.

Debido a las limitaciones de espacio y a lo fluctuante de la venta, se tiene como consecuencia natural desabastecimiento de ciertos modelos en varios puntos de venta y exceso de inventario de exhibición en otros; generando la necesidad de trasladar el inventario de un punto a otro e incurrir en costos de transporte.

Por ello, para evitar el incremento en costos de traslados y mejorar el tiempo de entrega, la empresa ha implementado un *inventario en línea* en donde el stock del proveedor está disponible para la venta, proporcionando información de número de chasis y motor de cada modelo único; datos que son necesarios para realizar la facturación de dicho producto. La codificación se encuentra homologada con cada proveedor y se genera un reporte diario de motocicletas tomadas de bodega virtual para que el proveedor despache la mercadería facturada al punto de venta. Esta nueva política ha mejorado significativamente el nivel de inventario en cada almacén, y ha disminuido los traslados de mercadería entre agencias, mejorando así el tiempo de entrega al cliente final. Sin embargo, esta solución no es suficiente, y lo que se busca es mejorar la asertividad de la ubicación del inventario con el objetivo de reducir los traslados, minimizar la duplicación y mejorar los días de estancia del inventario en tienda.

Una consideración importante para el estudio es que parte del inventario de la empresa es a consignación y parte a propiedad; en los dos casos el minorista determina el tamaño de la orden y el

proveedor despacha la mercadería solicitada en los puntos de venta de la empresa, de manera que la continuidad de reabastecimiento permanezca entre un nivel mínimo s y máximo S previamente establecido. En cuanto a la política de consignación, el inventario pertenece formalmente al proveedor y la empresa incurre en costos de almacenamiento, transporte y seguros de la mercadería a consignación, la cual es facturada por parte del proveedor una vez que el minorista envía un reporte de ventas detallado; además, este tipo de inventario pueda cambiar a propiedad por el tiempo máximo de permanencia en piso, este factor depende del contrato y negociación entre la empresa retail y el proveedor. En cuanto a la política de propiedad, los productos son facturados y despachados a los puntos de venta por parte del proveedor, y el inventario pertenece formalmente a la empresa retail.

El nivel de servicio del proveedor depende de una correcta definición de parámetros como s y S , mantener flujos de información constantes con la compañía, y el plazo acordado de entrega en cada punto de venta (Valentini & Zavanella, 2003). Entonces, al manejar inventario a consignación y a propiedad, con diferentes proveedores, no es necesario el uso de una bodega central para distribuir productos, pues la velocidad de rotación no será la misma en una bodega central que en un almacén de la cadena; por ello, el uso de la planimetría en una empresa *retail* cobra fuerza al momento de determinar la exhibición ideal en función a la limitación de espacio y categoría en el punto de venta.

El propósito de la presente investigación es diseñar un sistema de asignación de inventario con priorización, ponderación y secuencia lógica, que utiliza tanto información externa como interna para mejorar la cantidad de asignación de existencias a diversos almacenes que conforman una empresa *retail* comercializadora de motocicletas de marca propia y multimarca

2. Materiales y métodos

El presente artículo plantea un modelo algorítmico de asignación de inventario en el cual se consideraron factores como la demanda externa e interna de los artículos, características propias de los productos y su asignación con relación a su demanda a partir de un conjunto de categorías. De igual forma, características propias del área de exhibición y disponibilidad de espacio se consideraron factores importantes para el estudio, pues la planimetría de un almacén depende en gran medida de una correcta definición de capacidad de espacio y de categoría. Como se ha mencionado anteriormente, la investigación utiliza métodos de priorización, ponderación y ordenamiento, vinculando las ventas internas con variables externas de demanda para corregir distorsiones del histórico interno de la compañía; el objetivo es asignar el inventario idóneo a cada almacén bajo la consideración de capacidad de espacio en límites mínimos y máximos.

El modelo propuesto en este trabajo se ha basado en la metodología de tipo propositiva por cuanto se fundamenta en una necesidad de

mejorar los niveles de inventario de una empresa retail tomando en cuenta las variables y restricciones que influyen en el proceso de asignación de productos en los distintos puntos de

la cadena de suministro. Los factores y variables que figuran en el estudio fueron seleccionados a partir de la revisión de la literatura, y el esquema del modelo propuesto se presenta en la Figura 3

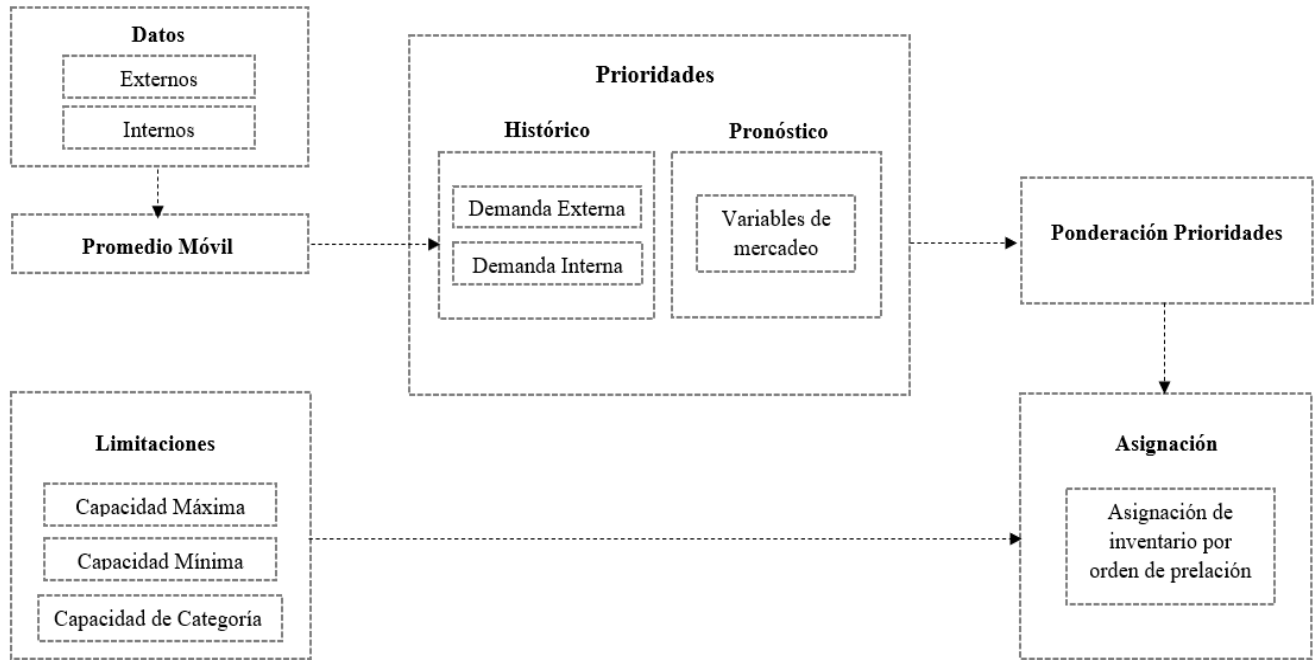


Figura 3. Esquema de las relaciones entre datos, prioridades, ponderación, limitaciones y asignación de inventario

2.1. Descripción del modelo

En esta sección se presenta el modelo algorítmico de asignación de inventario bajo la definición de conjuntos y parámetros. En el Anexo 1 se establece la notación para el modelo propuesto.

En el contexto minorista, el problema de planificación de inventario (APP) hace referencia a la selección y asignación de un conjunto de productos a disposición del cliente de tal forma que maximice la ganancia esperada de la empresa. Los niveles de inventario se pueden planificar

para una sola tienda o para una cadena minorista con múltiples tiendas donde la demanda esperada varía entre cada almacén *retail* (Corsten, Hopf, Kasper, & Thielen, 2018). Para modelar el problema de planificación de inventario es necesario determinar el proceso de decisión de compra del consumidor, el proceso propuesto se inició considerando los conjuntos C, S, y M que se relacionan directamente con la forma en la que el cliente define prioridades para elegir un producto en particular (*Modelo*) y con el objetivo de modelar el comportamiento del cliente en el proceso de selección de productos se definió un

camino de decisión que se expone a continuación en la Figura 4.

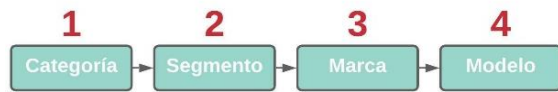


Figura 4. Camino de decisión para el modelo propuesto.

Primero el cliente decide sobre la categoría de producto a comprar (*C*), selecciona un segmento en específico (*S*), decide la marca de preferencia de entre todas las marcas disponibles (*M*), y, por último, elige el modelo de producto que se ajusta a sus necesidades.

Con base en el camino de decisión propuesto se estructuró la asignación de inventario que comprende dos niveles principales: un nivel macro que define la ocupación y espacio del almacén, el cual se encuentra dividido por categoría (etapas 1 y 2); y un nivel micro que define la asignación individual de producto para cada categoría (etapas 3 y 4).

2.2. Recolección y tratamiento de datos

Para la toma de decisiones de inventario el principal componente es la información, y esta se encuentra en la base de datos transaccional de la empresa en estudio, la base almacena información actual e histórica y está compuesta por dos fuentes: una interna y una externa; la primera fuente proporciona datos históricos de ventas internas, datos que se actualizan cada 15 minutos en función a la facturación de la compañía; y en la segunda fuente se encuentra información

privilegiada de ventas a nivel país, la cual se obtiene de la base nacional de matriculación que se actualiza de manera mensual. La recolección de datos se soporta en herramientas de Inteligencia de Negocios (BI por sus siglas en inglés Business Intelligence) que se caracterizan por su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos con importantes velocidades de respuesta; las herramientas recopilan y proporcionan datos estructurados que alimentan al algoritmo diseñado para generar el cálculo de la solución buscada. El procesamiento y desarrollo del algoritmo se ejecutó a través de la aplicación Excel, en el entorno Visual Basic.

2.3. Formulación del modelo

El algoritmo de asignación de inventario cuenta con 2 decisiones consecutivas diferentes: la capacidad de almacén y categoría (Espacio); y la asignación de artículos por categoría (Asignación) que se presentan a continuación.

2.3.1. Capacidad de almacén (Espacio)

El problema de asignación de espacio es de gran interés para el sector minorista debido a la extensa cantidad de ítems que compiten por un espacio de exhibición limitado y bajo diversas restricciones operativas. Determinar el producto adecuado, en el lugar correcto, con la asignación adecuada, es trascendente cuando la capacidad de almacén es limitada (Hübner et al., 2021). Según Bianchi-Aguiar, Silva, Guimarães, Carravilla, & Oliveira (2017) la asignación de espacio interactúa con problemas conexos del comercio

minorista como la planificación de inventario y la gestión de reposición; problemas que implican contemplar ciertas limitaciones propias del negocio. En el sector de motocicletas, las restricciones están asociadas al tiempo de entrega del producto vendido, ya que éste no puede ser despachado inmediatamente debido a la demora en el trámite de matriculación, lo cual implica que las motos vendidas permanezcan en promedio de 7 a 10 días en el piso de venta, permitiendo mantener exhibición hasta que el producto sea retirado del almacén; por ello, se consideró plantear dentro del modelo un factor tiempo entrega f , que representa un porcentaje de ocupación de la capacidad total disponible de almacén.

La capacidad de almacén depende de la superficie de la tienda y el tamaño físico del producto. El área real disponible A_d se expresa en la ecuación (1) y se obtiene de la multiplicación entre el área total del almacén y el porcentaje de ocupación del espacio β , parámetro que considera limitaciones de espacio como pasillos, entradas, columnas y divisiones, los cuales representan áreas funcionales no destinadas a la exhibición de productos. Las dimensiones de cada almacén fueron tomadas con el objetivo de calcular el área total que se observa a detalle en el Anexo 2.

$$A_d = A_t * \beta \quad (1)$$

La capacidad disponible k_x se obtiene mediante el cociente entre el área real disponible y el área de ocupación promedio del producto, tal

como indica la ecuación (2) y se expresa en unidades de producto.

$$k_x = \frac{A_d}{A_p} \quad (2)$$

El modelo planteado considera la restricción de capacidad en límites mínimos y máximos; donde la capacidad mínima de almacén k_{min} garantiza una cantidad mínima de representación y cumple con la exhibición mínima necesaria para satisfacer la demanda del cliente (Hübner et al., 2021). Del mismo modo, se establece la capacidad máxima de almacén k_{max} , que hace referencia a la cantidad limitante de existencias que puede almacenar la tienda. La restricción (3) limita el alcance máximo y mínimo de productos que pueden ser asignados al inventario; la capacidad mínima y máxima difiere para cada almacén de la cadena.

$$k_{min} \leq Q_i \leq k_{max} \quad (3)$$

Para definir la capacidad máxima se consideran 2 variables: factor tiempo entrega f y la capacidad disponible k_x . La forma en la cual se calcula la capacidad máxima de almacén (4) no es más que la capacidad disponible multiplicada con el factor tiempo entrega f (parámetro atribuible al espacio que ocupa los productos vendidos en proceso de matriculación), variable que toma el valor de 1 si el almacén posee bodega y 0,9 de lo contrario. Por otro lado, la capacidad mínima (5) representa el 70% de la capacidad máxima de almacén. Se observa el detalle de los cálculos explicados en el Anexo 2.

$$k_{max} = k_x * f \quad (4)$$

$$k_{min} = k_{max} * 70\% \quad (5)$$

2.3.2. Categorización de productos

En la práctica minorista, se ha evidenciado que la estrategia de maximizar el nivel de variedad y seleccionar adecuadamente el surtido conduce a un aumento significativo en los niveles de venta (Cachon, Gallino, & Olivares, 2018). El surtido se expresa en términos de ancho y profundidad, el ancho se relaciona con la variedad de categorías de productos y la profundidad se refiere a la cantidad de marcas y productos que ofrece una categoría en particular.

La selección de categorías, marcas y productos, o selección del surtido, se deriva de decisiones comerciales tomadas a nivel estratégico, pues la construcción de categorías debe tener coherencia tanto para los consumidores como para la estructura de la cadena. Una categoría puede incluir varias marcas de proveedores y marcas propias del minorista, incluyendo productos con diferentes niveles de precio y márgenes de beneficio específico. El modelo propuesto maneja un enfoque a nivel de categoría de producto y está orientado a la gestión de categorías que busca mejorar la profundidad y ancho del surtido dentro de una cantidad limitante de espacio minorista.

La construcción de categorías ha sido una derivación del tratamiento de información de los distintos modelos de motocicletas; dicha información fue proporcionada por la base de

mercado, también denominada base de matriculación; en donde, una amplia variedad de productos se agrupa por segmento en función a la información entregada por el fabricante. Debido a la gran cantidad de datos, se limitó a categorizar los artículos pertenecientes a las marcas previamente seleccionadas por la cadena minorista.

El proceso de categorización de productos se ha realizado bajo un esquema de agrupación en base a características y funcionalidades de cada modelo; las variables como *segmento*, *cilindraje*, *potencia*, y *tipo de llanta* son utilizadas para la construcción de un árbol de clasificación a partir de índices de similitud entre modelos, las variables se presentan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables de decisión

No	Variable	Símbolo
1	Segmento	<i>S</i>
2	Cilindraje	<i>Cc</i>
3	Potencia	<i>P</i>
4	Tipo llanta	<i>Rin</i>

El dendrograma presentado en el Anexo 3 resume el procedimiento de clasificación construido en base al método de Ward, el cual mide la distancia entre puntos y entre grupos de puntos; es decir, este algoritmo obtiene grupos donde la varianza dentro de grupos es mínima. Como resultado, el surtido se ha estructurado en 6 categorías principales que agrupan 15 segmentos diferentes, como indica la Tabla 2.

Tabla 2. Categorías, Segmentos y Modelos

Categoría	Segmento	Modelos No Vigentes V^-	Modelos Vigentes V^+	Total Modelos
Utilitaria	Utilitaria	129	24	153
Doble Propósito	Cross	18	3	21
	Doble Propósito	70	5	75
	Enduro	61	6	67
	Supermoto	4	1	5
Motoneta	Cub	47	3	50
	Scooter	35	5	40
Deportiva	Deportiva	44	23	67
	Minimoto	3	0	3
	Súper Deportiva	6	0	6
Clásica	Café Racer	8	2	2
	Crucero	8	0	8
	Scrambler	5	3	8
Cuadrón	Atv-cuadrón	8	0	8
	Cuadrón	6	2	8
Total		452	77	521

Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa en estudio

El conjunto V^+ incluye 77 modelos vigentes, los cuales serán asignados en función a prioridades ponderadas para determinar los modelos más importantes en cada almacén contemplando sus restricciones de capacidad. El conjunto V^+ está asociado a los artículos seleccionados para ser sorteados y exhibidos en el almacén basados en las marcas y modelos que determina el minorista, mientras que el conjunto V^- son aquellos artículos no seleccionados para exhibición, sin embargo, pueden estar disponibles para la venta por catálogo. La determinación de modelos vigentes y no vigentes se ha realizado bajo el concepto de decisiones estratégicas propias del minorista.

La categorización de productos permite que la solución considere todas las categorías como concepto de exhibición para no perder presencia en alguna de ellas, sin embargo, el porcentaje de contribución de cada una será diferente en cada almacén, esto dependiendo de variables externas e internas involucradas. La asignación de inventario está basada en las categorías conformadas, y la siguiente decisión determinará cuánto espacio se asigna a cada una de ellas.

2.3.3. Capacidad de categoría (Espacio)

La cantidad de espacio dado a una categoría de producto está relacionada con su volumen de ventas o su valor de rotación. Las ventas históricas a nivel de categoría considerando los

datos globales de mercado así como el comportamiento de ventas internas son el punto de partida para calcular la capacidad de categoría. Entonces, la base principal para determinar la capacidad de categoría es el comportamiento de ventas no solo a nivel interno si no considerando también el comportamiento externo, con el objetivo de identificar variaciones y tendencias de consumo para corregir las desviaciones del histórico interno.

La demanda media de consumo por categoría se estableció mediante dos niveles de venta: ventas históricas internas a nivel almacén y ventas históricas externas a nivel cantón, dichos datos son configurados como las ventas de los 3, 6 y 12 últimos meses. El algoritmo presentado en la Figura. 5 plantea un cálculo que estima un promedio móvil de consumo utilizando los promedios de ventas mensuales; en donde, si la tendencia de la categoría es creciente, el sistema calcula el promedio de los 3 últimos meses, y cuando el comportamiento es decreciente o bamboleante, el método calcula la media de los promedios en los últimos 3, 6 y 12 meses, de acuerdo con el siguiente algoritmo planteado en la Figura 5.

Donde, los términos v_3, v_6, v_{12} hacen referencia a las ventas de los 3, 6 y 12 últimos meses. Los términos x_3, x_6, x_{12} representan los promedios de ventas de los 3, 6 y 12 últimos meses. Y la variable x_j expresa el promedio móvil calculado para una categoría en particular.

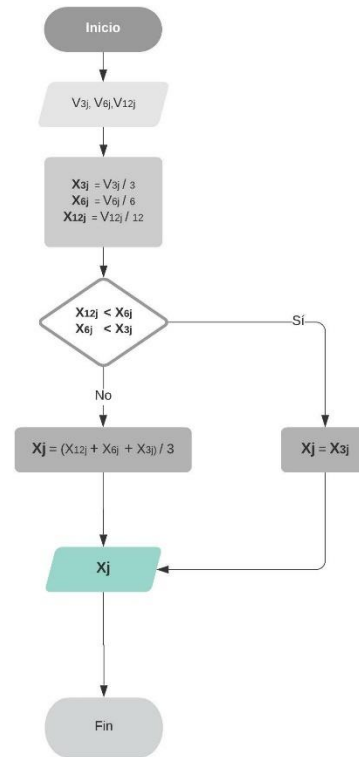


Figura 5. Algoritmo que calcula el promedio móvil de una categoría.

La capacidad o tamaño de categoría (T_j) relaciona la demanda media externa e interna expresada porcentualmente junto con la capacidad máxima de almacén. Los cálculos para obtener T_j se expresan en las ecuaciones 6, y 7.

$$T_j = P_j * k_{max} \quad (6)$$

$$P_j = \left[50 * (\overline{Xc}_j \div \sum_{j=1}^6 \overline{Xc}_j) + 50 * (\overline{Xa}_j \div \sum_{j=1}^6 \overline{Xa}_j) \right] \quad (7)$$

Donde, el término \overline{Xc}_j hace referencia al promedio de venta obtenido para la categoría j a nivel cantón, mientras que \overline{Xa}_j es el promedio de ventas internas de la categoría j a nivel agencia. Las variables a nivel cantón y agencia contribuyen al 50% cada una y se relacionan porcentualmente

en la ecuación (7) para obtener P_j , que determinará cuantas unidades por categoría debe almacenar la agencia al multiplicarse con su capacidad máxima. Técnicamente, las variables externas e internas pueden tener una ponderación diferente, sin embargo, para el cálculo original se ha determinado que la contribución de cada una sea del 50% de manera que el mercado y la venta interna contribuyan equitativamente.

La fórmula (8) expresa que la sumatoria de los P_j debe ser igual a 1.

$$\sum_{j=1}^6 P_j = 1 \quad (8)$$

Una vez obtenido el tamaño de categoría T_j , se determina la cantidad de modelos de gama alta que puede almacenar la agencia; para ello fue necesario clasificar el surtido en modelos de gama alta y baja, donde el criterio de clasificación ha sido el precio de cada artículo. Para calcular la capacidad tanto de gama alta (Ga_j) como gama baja (Gb_j), se definió el parámetro α que representa un porcentaje de asignación de gama alta por categoría, con el objetivo de definir que fracción de la categoría es asignable a modelos costosos que, si bien presentan una tendencia de consumo y un nivel de rotación inferior en relación con modelos de gama baja, su consideración es importante para mejorar exhibición y garantizar la variedad del surtido. Las ecuaciones 9 y 10 expresan los cálculos para obtener Ga_j y Gb_j .

$$Ga_j = T_j * \alpha \quad (9)$$

$$Gb_j = T_j - Ga_j \quad (10)$$

En la Tabla 3, se puede observar, de manera más detallada, un ejemplo de los cálculos mencionados para una agencia en particular.

Tabla 3. Capacidad de categoría-gama

Categoría (j)	P_j	T_j	Ga_j	Gb_j
Motoneta	12%	8	2	6
Doble Propósito	23%	14	3	11
Utilitaria	24%	15	0	15
Deportiva	36%	23	5	18
Cuadrón	0%	0	0	0
Clásica	5%	3	1	2
Total	100%	63	11	52

2.3.4. Asignación de productos por categoría (Asignación)

La asignación se deriva de una serie de parámetros que determinaran exactamente la selección adecuada de productos para cada categoría; el modelo planteado maneja un concepto histórico que permite el ordenamiento de productos en función de un sistema de ponderación, el cual considera la demanda media tanto externa como interna de los artículos.

Adicionalmente, la variable de mercadeo es el tercer discriminante, y otorga el concepto de pronóstico, pues un sistema basado solo en datos históricos dejaría de lado cierta información privilegiada de eventos que pueden suceder y desviaría los pronósticos calculados en base a información histórica. Y un sistema basado solo

en pronósticos dejaría de lado comportamientos que según la proyección no van a existir, sin embargo, según la tendencia estadística fuerte revela que si pueden suceder. Por lo tanto, un sistema basado solo en históricos o solo en pronósticos no es un sistema lo suficientemente robusto. En ciertos casos, el sistema puede ser histórico y no tener el cálculo del pronóstico, pero la información histórica es la base principal y el pronóstico fija la toma de decisiones adicionales que el histórico no refleja; por ejemplo, decidir comprar anticipadamente por lanzamiento de promociones que generan sobreconsumo, o no comprar las cantidades que el histórico determina debido a que el producto se encuentra discontinuado. Entonces, el sistema propuesto está marcado por la dualidad histórico-pronóstico, en donde el concepto de pronóstico se inserta a través de las variables de mercadeo que incluyen decisiones comerciales como: manejo de marcas, descuentos, promociones, decisiones de ingresos y salidas de productos, ventas por contratos específicos, etc.

A. Prioridad de Histórico

El modelo se compone de 5 variables históricas tanto externas como internas, tal como indica la Tabla 4.

Tabla 4. Variables histórico externo e interno

No	Histórico	Variable (Nivel de venta)
1	Externo	Mercado País
2	Externo	Mercado Provincia
3	Externo	Mercado Cantón
4	Interno	Ventas País
5	Interno	Ventas Almacén

Para determinar la prioridad de un ítem en cada variable histórica, primero se calcula la demanda media de consumo D_i aplicando el promedio móvil obtenido a través del algoritmo presentado en la Figura 5, y en este caso calculado a nivel de producto i . El promedio móvil de un artículo es la base para estimar el grado de importancia que posee el modelo dentro de una categoría-gama determinada en cada nivel de venta. Para obtener el ranking del modelo i dentro de una categoría j se aplica la siguiente expresión representada en la ecuación 11.

$$R = (CD)_{ij} = \sum_{k=1}^k c_{ik} d_{kj} \quad \forall i, j \quad (11)$$

La expresión (11) relaciona las variables: categoría-gama y demanda media del modelo, y a partir de éstas se obtiene el grado de dominancia en las comparaciones de promedios móviles, es decir, cuanto mayor sea el promedio de venta del producto, la importancia del modelo dentro de la categoría-gama también será mayor. Cabe recalcar que el cálculo del ranking es aplicado para todo el universo de productos, es decir, para modelos vigentes y no vigentes. Se puede observar en la Tabla 5 un ejemplo del ranking calculado para cinco ítems dentro de la categoría deportiva.

Tabla 5. Ejemplo cálculo Ranking

Categoría-Gama	Modelo	\bar{X}_i	R
Deportiva - Baja	Modelo 2	64	1
Deportiva - Baja	Modelo 1	48	2
Deportiva - Baja	Modelo 4	43	3
Deportiva - Baja	Modelo 5	42	4
Deportiva - Baja	Modelo 3	40	5

En otras palabras, el cálculo del ranking otorga un posicionamiento para cada producto y una base para establecer grupos de prioridad. El ranking toma un gran número de valores, los cuales son agrupados en intervalos de una misma amplitud, denominados rangos. A cada rango se le asignan valores de prioridad y de esta manera se genera una matriz que indica la distribución de las prioridades, tal como se muestra en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. *Prioridad histórico externo*

Rango Ranking Externo	Prioridad	Valor Prioridad
1 - 5	Alta	1
6 - 10	Alta	2
11 - 15	Media	3
16 - 20	Media	4
21 - 25	Baja	5
26 - 30	Baja	6
31 - n	Baja	...n

Tabla 7. *Prioridad histórico interno*

Rango Ranking Interno	Prioridad	Valor Prioridad
1 - 3	Alta	1
4 - 6	Alta	2
7 - 9	Media	3
10 - 12	Media	4
13 - 15	Baja	5
16 - 18	Baja	6
19 - n	Baja	...n

Es importante destacar que todos los productos tienen un valor de prioridad asignado en cada una de las 5 variables históricas, tal como indica el ejemplo presentado en el Anexo 4.

B. *Prioridad de Pronóstico*

La previsión eficaz de los niveles de inventarios está relacionada con la información sobre factores como las características de los productos, preferencias de comercialización y actividades propias de mercadeo. En la literatura existente se ha comprobado que el manejo satisfactorio de variables promocionales y de los datos históricos conexos, aumenta tanto la exactitud del pronóstico de la demanda como el control de inventarios. Además, las actividades de mercadeo son capaces de estimular la demanda del mercado, modificar patrones de venta y generar un cambio en la intención de compra del cliente (Chien, 2009).

El algoritmo propuesto implica una dualidad entre el histórico y el pronóstico; la base principal es el histórico de ventas interno y externo, y para ayudar a la previsión de la demanda integra variables de mercadeo que permiten priorizar decisiones estratégicas de comercialización.

En este trabajo, las variables de mercadeo integran la prioridad de marca P_6 y prioridad de modelo P_7 ; parámetros establecidos en función a decisiones comerciales y promocionales, de manera que ciertas marcas predominen en las categorías y tengan mayor impacto en el plan de asignación de espacio. De este modo ha sido posible *priorizar marcas propias* del dueño del *retail*. La prioridad de marca P_6 y la prioridad de modelo P_7 deben cumplir con la expresión 12.

$$P_6; P_7 \geq 1 \quad (12)$$

Las Tablas 8 y 9 presentan la asignación de prioridades en función a las necesidades del minorista e indican el nivel de prioridad asignado a cada marca m y a cada modelo i .

Tabla 8. Prioridad de marca

Marca m	Prioridad	P_6
Marca 1	Alta	1
Marca 2	Alta	2
Marca 3	Media	3
Marca 4	Media	4
Marca 5	Baja	5
Marca n	Baja	...n

Tabla 9. Prioridad de modelo

Modelo i	Prioridad	P_7
Modelo 1	Alta	1
Modelo 2	Alta	2
Modelo 3	Alta	3
Modelo 4	Media	4
Modelo 5	Media	5
Modelo 6	Media	6
Marca n	Baja	...n

Cabe señalar que, la prioridad de modelo (P_7) se determina única y exclusivamente para los productos que conforman el conjunto de modelos vigentes V^+ .

2.3.4.1 Ponderación de variables

Una vez identificados los valores de prioridad, inicia el proceso de ponderación de variables. El algoritmo emplea métodos de priorización que establecen un nuevo ordenamiento en el conjunto de ítems sorteados, de manera que sean ordenados secuencialmente los productos que presentan una prioridad

ponderada mayor dentro de una categoría-gama determinada.

El método propuesto integra las variables del histórico y pronóstico mediante un sistema de ponderación. Para calcular la prioridad ponderada, de cada modelo, es necesario parametrizar los pesos para cada una de las variables del histórico y pronóstico en función a las decisiones del minorista. Inicialmente, para ejecutar la corrida del algoritmo se ha asignado el 70% para las variables históricas y el 30% a las variables del pronóstico, como indica la Figura 6.

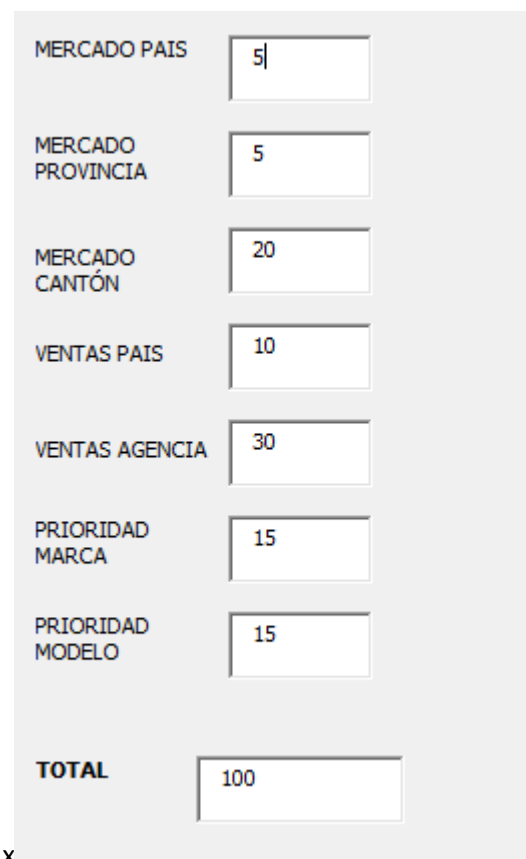


Figura 6. Ponderación variables del histórico y pronóstico

La restricción (13) señala que la suma de las ponderaciones debe ser igual a 100.

$$\sum_{n=1}^7 W_n = 100 \quad (13)$$

La prioridad ponderada expresa la suma ponderada de factores prioritarios y se define por la siguiente expresión 14.

$$\text{Prioridad Ponderada} = \sum_{n=1}^7 P_n * W_n \quad (14)$$

La ecuación (14) relaciona la prioridad de un artículo en cada nivel de venta (P_n) por el margen de contribución asignado a cada variable (W_n), lo cual permite obtener un importante resultado denominado *orden de prelación*, que establece la secuencia de asignación de productos para una categoría-gama determinada.

Por último, es importante destacar que, el sistema considera todos los ítems de marcas seleccionadas por el minorista, los mismos que son clasificados en: modelos vigentes y no vigentes, y modelos primarios y secundarios. Es decir, de cada marca existen ciertos modelos seleccionados (vigentes), los cuales pueden ser considerados primarios (esenciales) o secundarios (modelos complementarios) en el proceso de asignación.

2.4. Restricciones de asignación

Las restricciones 15, 16 y 17 de asignación de productos se expresaron de manera que la solución sea válida siempre y cuando se cumplan con las mismas.

La restricción (15) limita a todos los productos para ser asignados hasta cierta cantidad de categoría-gama establecida, cada agencia puede tener un límite diferente, dado que la capacidad de categoría está en función a los promedios de venta y capacidad de almacén.

$$Q_i \leq Ga_j, Gb_j \quad (15)$$

$Q_i = \{qi1, qi2... in\}$ es un conjunto de “n” ítems llamados modelos, donde cada modelo puede asumir valores binarios 1 o 0, lo que simboliza la presencia o ausencia del producto en el conjunto. Los artículos se ordenan secuencialmente en función a su prioridad ponderada, y de esta manera el sistema toma los primeros ítems con mayor prioridad, asignándoles el valor 1 hasta completar la capacidad de categoría-gama.

La restricción (16) garantiza que no se generen valores duplicados de producto si la agencia no cumple con una cierta capacidad mínima establecida (λ). La duplicación de producto se considera siempre que se cumpla la restricción (17), donde el artículo debe alcanzar un promedio de venta mínimo establecido (φ) para generar un valor duplicado del modelo. Es decir, duplicar un producto implica asignar una unidad adicional para exhibición en función al promedio de venta del modelo en el almacén.

$$k_{max} > \lambda \quad (16)$$

$$\bar{X}_i \geq \varphi \quad (17)$$

3. Resultados

3.1. Algoritmo de asignación

El algoritmo desarrollado proporciona una adecuada asignación de inventario para cada almacén de la cadena retail en estudio, mediante el desarrollo de condiciones que implican un ordenamiento idóneo en el conjunto de productos a través de la creación de prioridades ponderadas para los mismos, considerando las restricciones de espacio y categoría propias de los almacenes. En el Anexo 5 se presenta el algoritmo propuesto con la finalidad de ilustrar las variables de entrada, restricciones y el proceso de asignación de productos. Además, el Anexo 6 presenta la interfaz diseñada del algoritmo planteado en el presente trabajo de titulación.

3.2. Validación

El sistema diseñado permite parametrizar las variables y restricciones descritas en la sección 2.3, las mismas son atributos de entrada para el algoritmo, y a través de éstas se obtiene el inventario ideal por marca y por categoría que debería tener cada almacén. Las variables de entrada necesarias para correr el algoritmo planteado se presentan en las Tablas 10, 11 y 12.

Tabla 10. Ponderación de Variables

Variable	Valor	Medida
W_1	5	%
W_2	5	%
W_3	20	%
W_4	10	%
W_5	30	%
W_6	15	%
W_7	15	%

En la Tabla 10 se visualiza como las variables históricas externas (W_1, W_2, W_3) contribuyen con el 30%, las variables históricas internas (W_4, W_5) representan el 40% y las variables de mercadeo (W_6, W_7) aportan el 15% cada una. La Tabla 11 presenta los valores asignados a las restricciones descritas en la sección 2.3 y 2.4.

Tabla 11. Restricciones de asignación

Variable	Valor	Medida
φ	3	Unidades
λ	20	Unidades
α	25	%
β	80	%

La prioridad de mercadeo se parametrizó en función a la política de comercialización de la empresa, en donde las marcas (A y B) propias del minorista recibieron la prioridad más alta, como se indica en la Tabla 12. Las prioridades de cada modelo fueron asignadas del mismo modo, considerando las políticas y necesidades comerciales de la empresa.

Tabla 12. Prioridad de Marca

Marca m	Valor Prioridad (P_6)	Marca m	Valor Prioridad (P_6)
Marca A	1	Marca H	6
Marca B	1	Marca I	6
Marca C	2	Marca J	7
Marca D	2	Marca K	8
Marca E	3	Marca L	9
Marca F	4	Marca M	9
Marca G	5	Marca N	10

El algoritmo surte la asignación de inventario entre 6 categorías distintas, representadas por 14 marcas con los modelos vigentes de las mismas. En el Anexo 7 se evidencia la composición por categorías resultante para todos los almacenes a nivel nacional en los últimos cinco meses, a partir de la aplicación del algoritmo. Cabe recalcar que desde Enero de 2022 se hace uso del algoritmo propuesto para la empresa en estudio.

En las Figuras 9, 10 y 11 se precisa la variación (en unidades) por categoría, entre el inventario promedio de Enero – Mayo 2021 y el inventario promedio resultante de la asignación Enero – Mayo 2022, para tres almacenes localizados en distintas regiones del país. Es notoria la diferencia de inventario por categoría pre y post planimetría dentro de un mismo almacén; así como también, la divergencia de planimetría para las distintas regiones.

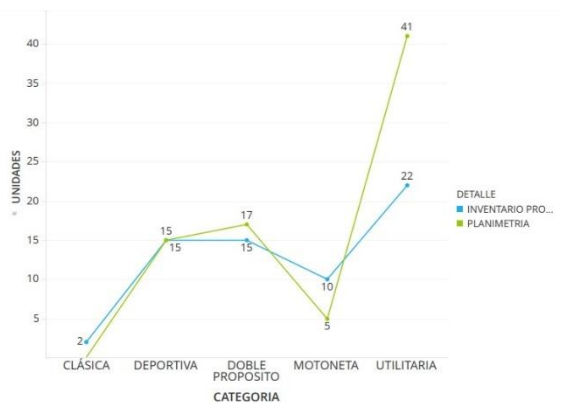


Figura 9. Almacén Costa: Inventario Promedio vs Planimetría por categoría

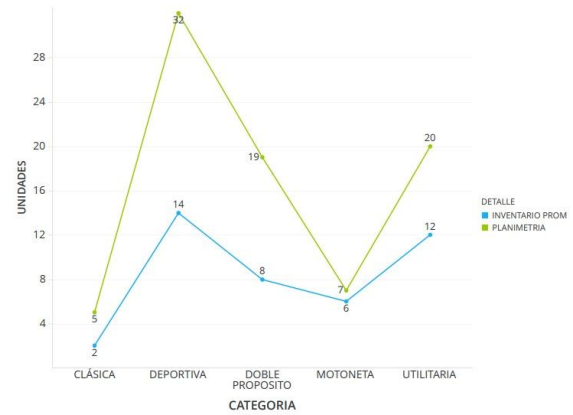


Figura 10. Almacén Sierra: Inventario Promedio vs Planimetría por categoría

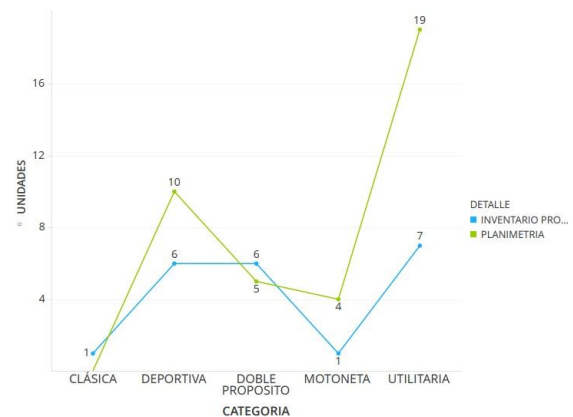


Figura 11. Almacén Oriente: Inventario Promedio vs Planimetría por categoría

A su vez, la planimetría resultante difiere para almacenes ubicados dentro de una misma ciudad, tal como se presenta en la Figura 12 para las distintas categorías.

Con referencia a la asignación por marca, la Figura 13 representa la comparación del promedio de inventario entre la asignación previa y posterior a la planimetría resultante del algoritmo diseñado.

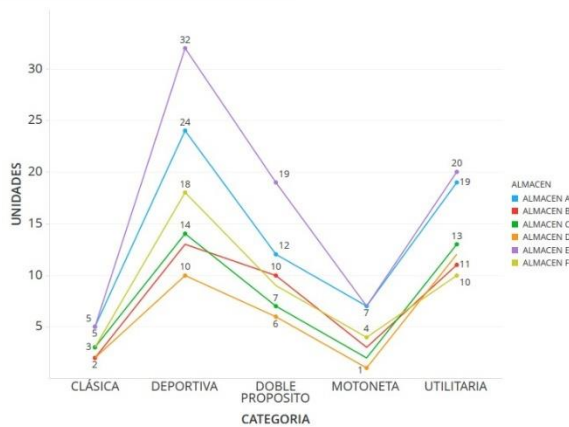


Figura 12. Planimetría para almacenes retail en una misma ciudad

Mayoritariamente, se evidencia un incremento considerable en la asignación para las distintas marcas. Sin embargo, existe una disminución de inventario en seis marcas contempladas, debido a las consideraciones internas, externas y de mercadeo, presentes en el modelo.

La rotación de inventario por marca se representa en las Figuras 14, 15 y 16, para tres agencias de distintas regiones del país; en las mismas se evidencia el incremento de rotación a partir de la aplicación del algoritmo. Para el almacén de la región Costa, se obtuvo un aumento considerable en el índice de rotación para las marcas A y C, siendo éstos el 90% y 84,21% respectivamente. En el caso del almacén de la Sierra, la marca D refleja un crecimiento de rotación del 42,76% respecto al año anterior. Finalmente, para la agencia de la región Amazónica, la marca C presenta un alza en el índice de rotación del 20,57%, en tanto que la rotación de la marca D incrementó el 140%, con relación al año anterior.

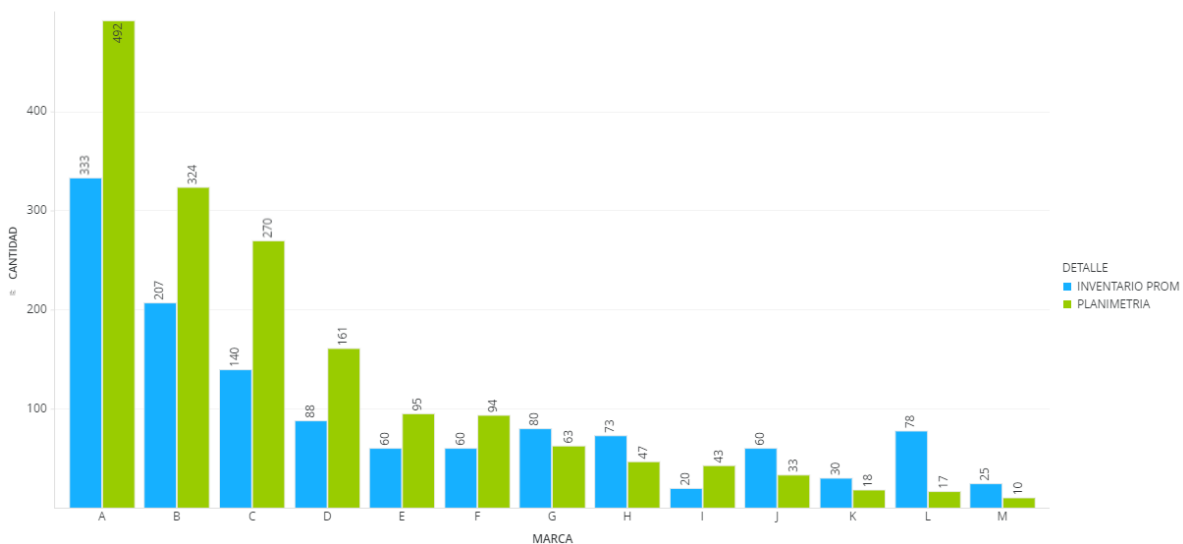


Figura 13. Asignación de inventario por marca pre y post planimetría

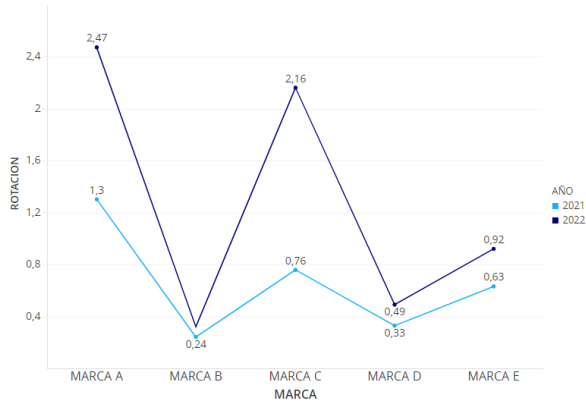


Figura 14. Almacén Costa: Rotación promedio por marca 2021 vs 2022

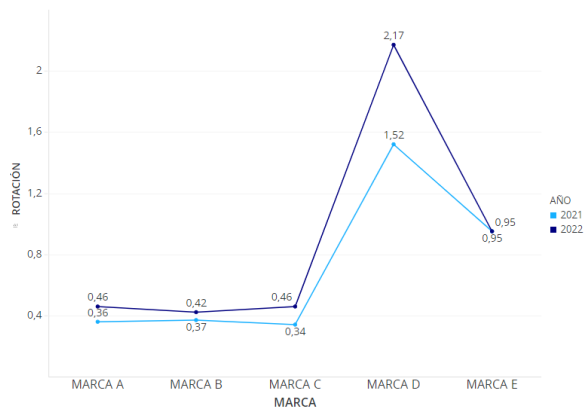


Figura 15. Almacén Sierra: Rotación promedio por marca 2021 vs 2022

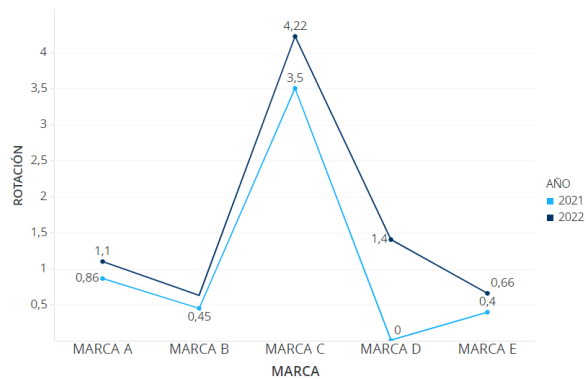


Figura 16. Almacén Oriente: Rotación promedio por marca 2021 vs 2022

En lo que concierne a la rotación de inventario global por almacén, la Tabla 13 representa los índices obtenidos previo y posterior al estudio, al igual que la diferencia porcentual entre éstos.

Tabla 13. Rotación promedio por almacén

Almacén	Rotación Promedio 2021	Rotación Promedio 2022	Diferencia Porcentual Rotación
Almacén Costa	1,32	1,85	40%
Almacén Sierra	1,09	1,41	29%
Almacén Oriente	1,23	1,55	26%

En la Figura 17 se resalta la rotación global promedio para la categoría Utilitaria, a partir de los cinco modelos con mayor asignación de inventario.

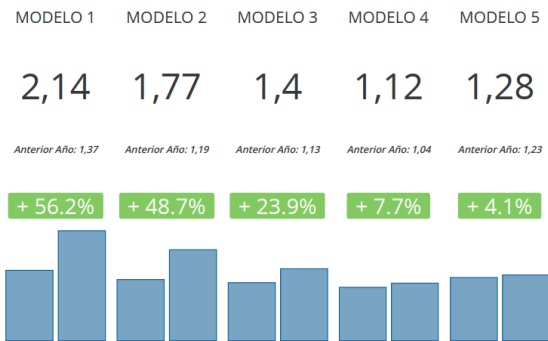


Figura 17. Rotación promedio para los modelos de la categoría Utilitaria

En la empresa de estudio existen tres orígenes de inventario para la facturación de motocicletas: piso, inventario online, y transferencias internas, es decir, éstas pueden ser facturadas desde cualquier origen dependiendo de la

La Figura 19 ilustra la distribución en unidades por categoría, marca y modelo del conjunto de productos vigentes, para uno de los almacenes de la región Sierra, con capacidad de 80 unidades para exhibición; en donde se observa que la duplicación por modelo se encuentra controlada, de manera que permita obtener la mayor variedad de surtido con los productos adecuados.

3.2.1. Discusión

El algoritmo descrito en este trabajo permite a las tiendas minoristas mejorar la toma de decisiones para la asignación de inventario, ya que en función a los resultados obtenidos; el desarrollar un algoritmo que integre simultáneamente la demanda media externa e interna de cada artículo mediante métodos de priorización y ponderación, ha permitido obtener el mejor conjunto de productos para una empresa retail, mejorando los indicadores de rotación y reflejando un aumento en los beneficios del minorista.

La composición por categoría difiere según los promedios de venta obtenidos en el mercado a nivel cantón y a nivel interno del almacén, pues se evidencia en los resultados que la categoría Utilitaria tiene una mayor asignación a nivel nacional, siendo la categoría principal en el mercado de motocicletas. Sin embargo, se ha demostrado que para una cadena minorista que maneja mercados con diferencias geográficas, la asignación de inventario varía significativamente; como se indica en las Figuras 9, 10 y 11, el

mercado de la región Sierra demanda en su mayoría modelos de categoría Deportiva, mientras que en el mercado de las regiones Costa y Oriente predomina la categoría Utilitaria.

También, se ha comprobado que existe variación de planimetría para tiendas minoristas localizadas en una sola ciudad, esto debido a que el algoritmo de asignación de inventario surte el conjunto de productos ajustado a las necesidades y restricciones de espacio de cada almacén. Por otro lado, se evidencia que incrementar los niveles de inventario por categoría, con aquellos productos que poseen una mayor prioridad ponderada, implica una mejora en la asignación de inventario para exhibición, proporcionando así, los artículos más representativos para los almacenes.

Se ha podido constatar que el manejo adecuado de variables históricas y de mercadeo, otorga el mejor surtido para una cadena retail, ya que la integración de estas dos variables aumenta la exactitud en la asignación de inventario, proporcionando así, el conjunto de productos capaz de satisfacer y estimular la demanda mediante decisiones comerciales plasmadas en el algoritmo. En el caso de estudio, las marcas propias del minorista presentan promedios de venta elevados y reciben la prioridad de mercadeo más alta; por ello, a partir de la aplicación del algoritmo, la asignación de surtido resultante refleja un aumento en los niveles de inventario de varias marcas, especialmente en aquellas propias del dueño del retail, y así mismo, se evidencia una

reducción en los niveles de inventario en ciertas marcas, mejorando así la eficiencia del surtido.

En cuanto a la rotación de inventarios por marca y por producto, se demuestra que existe un incremento relevante de este indicador, debido a la adecuada asignación de artículos en cada almacén, lo cual garantiza la disponibilidad del producto en el momento y lugar correcto. Entonces, con los resultados obtenidos se ha demostrado que, si un sistema de asignación de inventario funciona con exactitud, será posible incrementar los niveles de venta, disminuir los costos por mantener exceso de inventario y costos por realizar transferencias entre almacenes.

Los resultados de la planimetría propuesta han probado que, ampliar la variedad de surtido y mantener la duplicación de modelos controlada, puede aumentar la ganancia para el minorista, ya que rentabiliza el espacio de exhibición con la asignación adecuada de modelos de gama alta y baja, con las marcas más representativas del mercado.

El presente estudio apoya los argumentos presentados en los modelos de planificación y asignación de inventario, bajo la consideración de ciertas restricciones asociadas al problema de gestión de espacio, como la cantidad máxima y mínima disponible para exhibición. Sin embargo, el modelo propuesto plantea la asignación de surtido para un espacio diferente, al ser un concesionario netamente de motocicletas, se determina la capacidad de exhibición en función a los metros cuadrados de almacén y el espacio

promedio ocupado por los artículos dentro del mismo. Además, el algoritmo ha logrado incorporar variables externas de demanda, lo cual ha mejorado notoriamente la solución, y atiende la importancia de las decisiones comerciales y de mercadeo para influir en la variedad del surtido.

4. Conclusiones

El algoritmo de inventario propuesto fue diseñado para solucionar problemas de escala real, con el objetivo de establecer los distintos niveles de inventario y asignar productos de manera adecuada cuando el espacio de exhibición se encuentra limitado por capacidades mínimas y máximas. El algoritmo obtuvo como resultado principal el inventario ideal para almacenes con ubicaciones múltiples tanto en las regiones Costa, Sierra y Oriente del país, donde la demanda media de motocicletas y las preferencias demográficas varían significativamente entre los distintos puntos de una cadena retail.

Esta formulación para la asignación de inventario incluye conceptos novedosos en cuanto a la introducción de variables históricas externas e internas y la inclusión de variables de mercadeo, implicando una dualidad entre histórico y pronóstico, lo cual permite priorizar decisiones comerciales que mejoren tanto la previsión de la demanda como el control de los niveles de inventario. La fortaleza del sistema planteado es que permite la parametrización de variables de entrada acorde a las necesidades comerciales del dueño de retail; pues una de las principales

limitaciones de la literatura existente es que descuida las reglas de comercialización y no atiende la importancia estratégica de las marcas y productos que ofrece el minorista. Además, el algoritmo diseñado ha conseguido ampliar la variedad del surtido y controlar la duplicación, lo cual mejora los niveles de inventario y permite aumentar los beneficios del dueño de retail.

El algoritmo propuesto está pensado en circunstancias reales, ya que considera la dinámica de una cadena retail cuando existen variaciones en las negociaciones con proveedores de las distintas marcas o cuando se ajustan cambios en las categorías de producto. Al ser un algoritmo totalmente parametrizable en cuanto a las decisiones de entrada, permite rehacer la planimetría, cuando se decide promocionar productos, o introducir nuevos modelos al surtido, de manera que sean reordenados los productos en función a las nuevas prioridades ponderadas. Por lo tanto, con la generación de esta solución es posible analizar la sensibilidad de los cálculos a una variedad de cambios de entrada y así obtener un resultado ligeramente diferente en la asignación del surtido.

La planificación y asignación de inventario resulta a menudo un proceso de prueba y error, y sistematizarlo en un algoritmo es un trabajo no trivial. Lo que anteriormente significaba una tarea que consumía demasiado tiempo, a partir de la aplicación del algoritmo se evidencia la reducción de tiempos de solución, mejorando la efectividad del proceso. Adicional, la política de

inventario en cada tienda se puede recalcularse cada mes, según la demanda actualizada.

Finalmente, si bien el algoritmo diseñado determina las unidades que pueden estar en la superficie de almacén, éste no determina su posicionamiento; por ello, Adicional, se sugiere tener especial cuidado cuando se introduce un nuevo modelo, ya que el algoritmo desarrollado permite tomar los datos históricos de productos sustitutos para mejorar la asignación de inventario de dicho modelo nuevo.

Referencias Bibliográficas

- AEADE. (2021). Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [Conjunto de datos]. Motoplus. <https://autoplus.ec/>
- Agrawal, N., & Smith, S. A. (2013). Optimal inventory management for a retail chain with diverse store demands. *European Journal of Operational Research*, 225, 393–403. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.10.006>
- Arango Marin, J. A., Giraldo Garcia, J. A., & Castrillón Gómez, O. D. (2013). Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC Inventory and buy management from Holt-Winters forecasting and service level discrimination by ABC classification. *Scientia et Technica Año XVIII*, 18(4), 743–747.
- Arias, G. (2012). Modelo de Distribución

Aplicable a Cadenas de Venta al Retail.
Universidad de Cuenca.

Bianchi-Aguiar, T., Silva, E., Guimarães, L., Carravilla, M. A., & Oliveira, J. F. (2017). Allocating products on shelves under merchandising rules: Multi-level product families with display directions. *Omega (United Kingdom)*, 76, 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.04.002>

Cachon, G. P., Gallino, S., & Olivares, M. (2018). Does adding inventory increase sales? Evidence of a scarcity effect in U.S. Automobile dealerships. *Management Science*, 1–18. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2017.3014>

Chamorro Corea, J. L., Díaz Camejo, J. E., Fuentes Espinoza, O. D., & Lovo Gutiérrez, H. Y. (2018). Política de inventarios máximos y mínimos en cadenas de suministro multinivel. Caso de estudio: una empresa de distribución farmacéutica (Artículo Profesional). *Nexo Revista Científica*, 31(2), 144–156. <https://doi.org/10.5377/nexo.v31i2.6837>

Chien, T.-C. (2009). The impact of promotion on inventory forecasting for an Asian wholesale corporation. *Dissertation Abstracts International Section A: Humanities and Social Sciences*, 69(11-A), 4417. Retrieved from <http://ezproxy.lib.cam.ac.uk:2048/login?url>

[=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2009-99091-159&site=ehost-live&scope=site](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2009-99091-159&site=ehost-live&scope=site)

Corsten, H., Hopf, M., Kasper, B., & Thielen, C. (2018). *Assortment planning for multiple chain stores*. *OR Spectrum* (Vol. 40). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s00291-017-0496-9>

E.Frontoni, F.Marinelli, R.Rosetti, & P.Zingaretti. (2017). Shelf space re-allocation for out of stock reduction, 106, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.021>

Fernández, A. (2018). *Sistema automático de verificación de cumplimiento de planogramas usando inteligencia artificial aplicada a imágenes Treball de Fi de Grau*.

Hofmann, E. (2017). Big data and supply chain decisions: the impact of volume, variety and velocity properties on the bullwhip effect, (July). <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1061222>

Hübner, A., Düsterhöft, T., & Ostermeier, M. (2021). Shelf space dimensioning and product allocation in retail stores. *European Journal of Operational Research*, 292(1), 155–171. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.030>

Kök, A. G., & Fisher, M. L. (2007). Demand estimation and assortment optimization

under substitution: Methodology and application. *Operations Research*, 55(6), 1001–1021.

<https://doi.org/10.1287/opre.1070.0409>

Rosch, E. (1978). Principles of Categorization. *University of California, Berkeley*, 331–338. <https://doi.org/10.1089/hyb.1998.17.331>

Urban, T. L. (1998). An inventory-theoretic approach to product assortment and shelf-space allocation. *Journal of Retailing*, 74(1), 15–35. <https://doi.org/10.1016/S0022->

4359(99)80086-4

Valentini, G., & Zavanella, L. (2003). The consignment stock of inventories: Industrial case and performance analysis. *International Journal of Production Economics*, 81–82, 215–224. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00300-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00300-6)

Varley, R. (2003). *Retail Product Management Buying and merchandising*. Routledge (Segunda). Londres.

ANEXOS

Anexo 1. Notación de Conjuntos y Parámetros

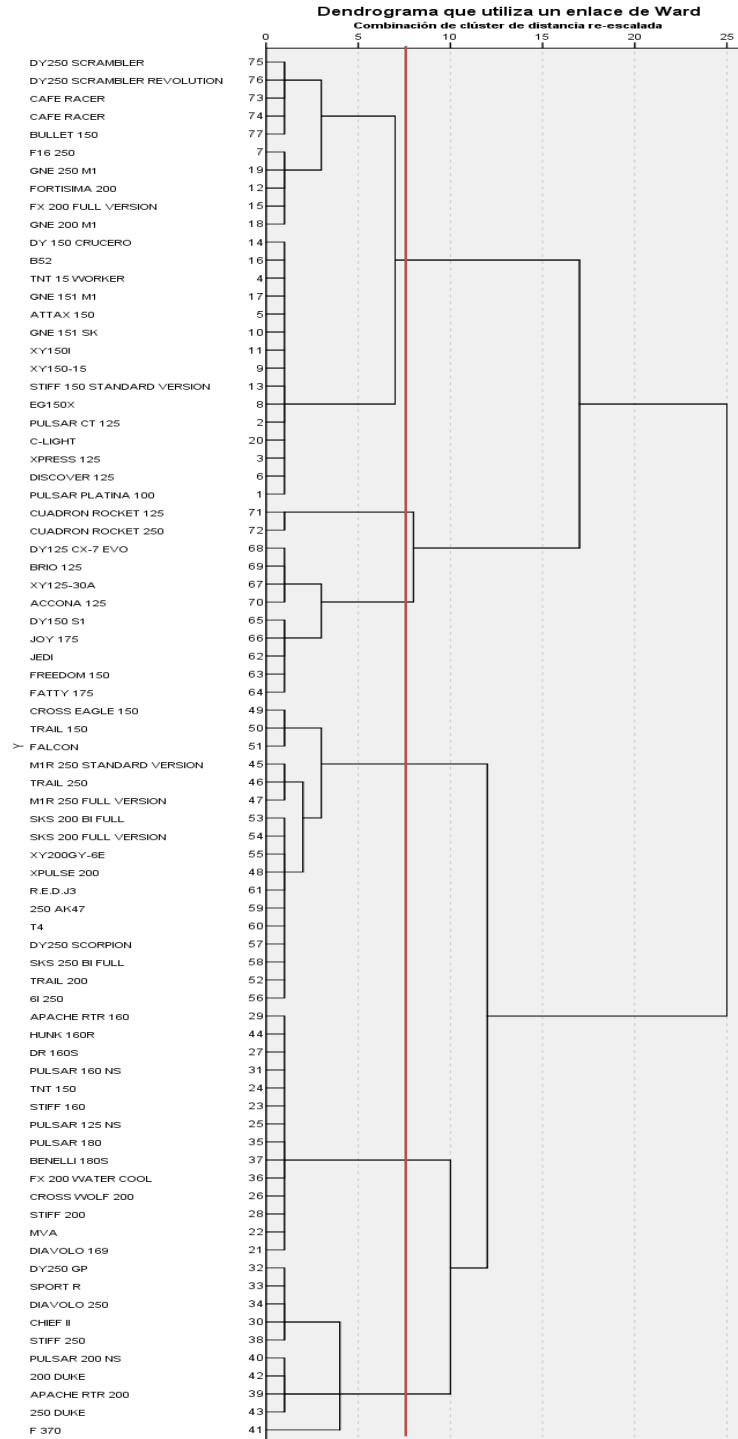
No	Conjunto	Símbolo
1	Conjunto de productos vigentes	V^+
2	Conjunto de productos no vigentes	V^-
3	Conjunto modelos gama alta	A
4	Conjunto modelos gama baja	B
5	Conjunto de categorías	C
6	Conjunto de segmentos	S
7	Conjunto de marcas	M
8	Conjunto de promedios	D

No	Parámetro	Símbolo
1	Porcentaje de asignación de gama alta por categoría	α
2	Porcentaje de ocupación de la capacidad de almacén	β
3	Nivel mínimo de promedio de venta para duplicar modelo en agencia	φ
4	Capacidad mínima de agencia para no duplicar modelos	λ
5	Capacidad máxima de almacén	k_{max}
6	Capacidad mínima de almacén	k_{min}
7	Mercado a nivel país	W_1
8	Mercado a nivel provincia	W_2
9	Mercado a nivel cantón	W_3
10	Ventas a nivel país	W_4
11	Ventas a nivel almacén	W_5
12	Ponderación Prioridad marca m	W_6
13	Ponderación Prioridad modelo i	W_7

Anexo 2. Cálculos de capacidad disponible, capacidad máxima y capacidad mínima.

AGENCIA	A_t	β	A_d	A_p	k_x	f	k_{max}	k_{min}
AGENCIA 1	176.2	80%	140.96	2	70	0.9	63	44
AGENCIA 2	131.03	80%	104.824	2	52	0.9	47	33
AGENCIA 3	185.63	80%	148.504	2	74	0.9	67	47
AGENCIA 4	40.15	80%	32.12	2	16	0.9	14	10
AGENCIA 5	110.4	80%	88.32	2	44	0.9	40	28
AGENCIA 6	141.22	80%	112.976	2	56	0.9	50	35
AGENCIA 7	111.34	80%	89.072	2	44	0.9	40	28
AGENCIA 8	84.45	80%	67.56	2	33	0.9	30	21
AGENCIA 9	93.42	80%	74.736	2	37	0.9	33	23
AGENCIA 10	80.16	80%	64.128	2	32	0.9	29	20
AGENCIA 11	62.2	80%	49.76	2	24	0.9	22	15
AGENCIA 12	75.5	80%	60.4	2	30	0.9	27	19
AGENCIA 13	69.32	80%	55.456	2	27	0.9	24	17
AGENCIA 14	87.9	80%	70.32	2	35	1	35	25
AGENCIA 15	98.28	80%	78.624	2	39	0.9	35	25
AGENCIA 16	170.47	80%	136.376	2	68	0.9	61	43
AGENCIA 17	115.84	80%	92.672	2	46	0.9	41	29
AGENCIA 18	136.93	80%	109.544	2	54	0.9	49	34
AGENCIA 19	197.25	80%	157.8	2	78	1	78	55
AGENCIA 20	133.94	80%	107.152	2	53	0.9	48	33
AGENCIA 21	97.4	80%	77.92	2	38	0.9	34	24
AGENCIA 22	65.26	80%	52.208	2	26	0.9	23	16
AGENCIA 23	110.19	80%	88.152	2	44	0.9	40	28
AGENCIA 24	78.29	80%	62.632	2	31	0.9	28	20
AGENCIA 25	105.13	80%	84.104	2	42	0.9	38	26
AGENCIA 26	60.18	80%	48.144	2	24	0.9	22	15
AGENCIA 27	62.13	80%	49.704	2	24	0.9	22	15
AGENCIA 28	168.27	80%	134.616	2	67	0.9	60	42
AGENCIA 29	200.92	80%	160.736	2	80	1	80	56
AGENCIA 30	100.42	80%	80.336	2	40	0.9	36	25
AGENCIA 31	102.7	80%	82.16	2	41	0.9	37	26
AGENCIA 32	190.86	80%	152.688	2	76	0.9	68	48
AGENCIA 33	89.16	80%	71.328	2	35	0.9	32	22
AGENCIA 34	102.37	80%	81.896	2	40	0.9	36	25
AGENCIA 35	214.7	80%	171.76	2	85	1	85	60
AGENCIA 36	124.33	80%	99.464	2	49	0.9	44	31
AGENCIA 37	110.14	80%	88.112	2	44	0.9	40	28
AGENCIA 38	154.18	80%	123.344	2	61	0.9	55	38
AGENCIA 39	74.45	80%	59.56	2	29	0.9	26	18
AGENCIA 40	122.39	80%	97.912	2	48	0.9	43	30

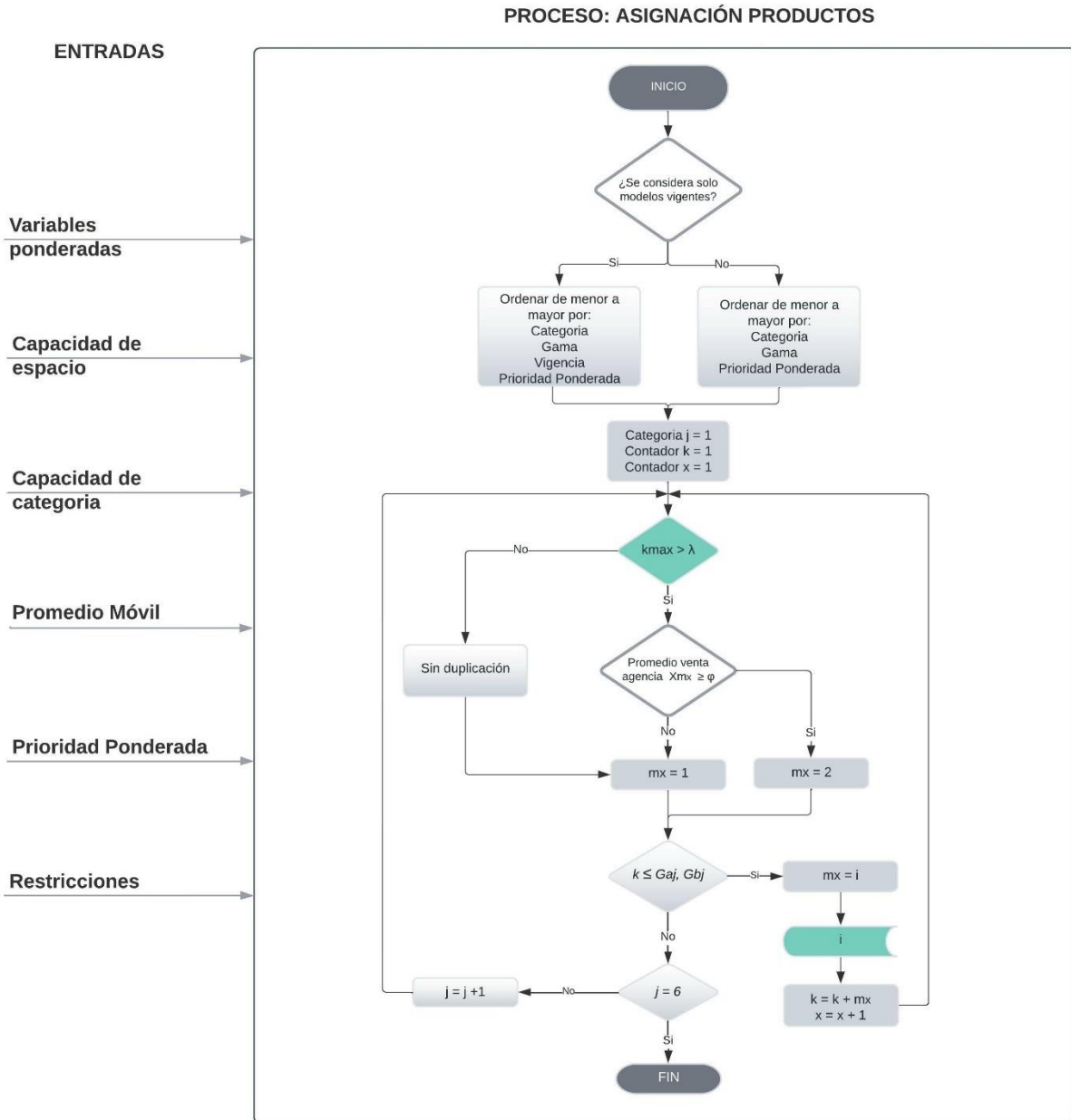
Anexo 3. Árbol de clasificación de productos del conjunto V^+ mediante la herramienta SPSS.



Anexo 4. Cálculo resultante de prioridades para las variables históricas externas e internas


CATEGORÍA	GAMA	MODELO	MERCADO PAIS			MERCADO PROVINCIA			MERCADO CANTON			VENTAS PAIS			VENTAS AGENCIA		
			X_i	Ranking R_1	Prioridad P_1	X_i	Ranking R_2	Prioridad P_2	X_i	Ranking R_3	Prioridad P_3	X_i	Ranking R_4	Prioridad P_4	X_i	Ranking R_5	Prioridad P_5
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 1	64	10	2	2	19	4	2	18	4	2	21	7	0	12	4
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 2	82	7	2	45	1	1	40	1	1	4	8	3	0	10	4
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 3	128	3	1	17	6	2	16	6	2	27	0	1	1	3	1
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 4	67	9	2	9	9	2	8	9	2	1	25	9	0	20	7
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 5	1	30	6	0	27	6	0	27	6	3	38	13	0	5	2
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 6	42	11	3	11	8	2	11	7	2	11	4	2	1	2	1
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 7	20	17	4	5	15	3	4	14	3	0	38	13	0	38	13
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 8	4	24	5	1	20	4	1	22	5	2	25	9	0	16	6
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 9	29	15	3	5	14	3	4	15	3	0	25	9	0	38	13
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 10	32	13	3	13	7	2	10	8	2	1	21	7	0	20	7
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 11	97	4	1	9	10	2	8	10	2	16	2	1	0	20	7
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 12	96	5	1	19	4	1	17	4	1	4	8	3	0	20	7
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 13	75	8	2	31	2	1	27	2	1	3	12	4	0	16	6
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 14	20	16	4	8	11	3	7	11	3	0	21	7	0	38	13
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 15	128	3	1	17	6	2	16	6	2	27	0	1	1	1	1
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 16	5	23	5	1	21	5	1	20	4	7	6	2	1	4	2
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 17	7	21	5	4	16	4	2	19	4	1	38	13	0	13	5
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 18	141	1	1	6	13	3	5	13	3	9	5	2	0	7	3
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 19	37	12	3	7	12	3	5	12	3	1	21	7	0	38	13
DEPORTIVA	BAJA	MODELO 20	89	6	2	21	3	1	18	3	1	4	7	3	0	10	4

Anexo 5. Algoritmo de asignación de productos para cada almacén



Anexo 6. Modelo de asignación de inventario diseñado en el entorno Visual Basic.

MODELO DISTRIBUCIÓN ×

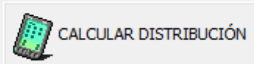


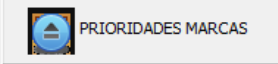
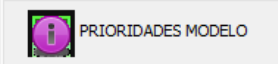

DATOS MODELO

PONDERACIONES PRIORIDADES MERCADO Y VENTAS

MERCADO PAIS	<input type="text" value="10"/>
MERCADO PROVINCIA	<input type="text" value="10"/>
MERCADO CANTÓN	<input type="text" value="30"/>
VENTAS PAIS	<input type="text" value="10"/>
VENTAS AGENCIA	<input type="text" value="30"/>
PRIORIDAD MARCA	<input type="text" value="5"/>
PRIORIDAD MODELO	<input type="text" value="5"/>
TOTAL	<input type="text" value="100"/>

Progreso



CONSIDERACIONES

SE TOMAN SOLO MODELOS VIGENTES

<i>PROM DE VENTAS AGENCIA PARA DUPLICAR ASIGNACIÓN POR MODELO DESDE EL INICIO</i>	<input type="text" value="2"/>
<i>CAPACIDAD DE AGENCIA PARA NO REPETIR MODELOS POR NIVEL DE VENTAS</i>	<input type="text" value="20"/>
<i>% DE ASIGNACIÓN DE GAMA ALTA POR CATEGORÍA</i>	<input type="text" value="25"/>
<i>% OCUPACIÓN CAPACIDAD AGENCIAS</i>	<input type="text" value="80"/>

Anexo 7. Composición por categorías a partir de la aplicación del algoritmo.

