



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
UDELAR

# Optimización de la exhibición de productos en supermercados: desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones

Proyecto de grado presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniero de Producción

**Erik Tauber Mountford**  
**Kevin Tauber Mountford**  
**Matías Valentín Perruni Figueredo**

Tutores:  
**Ing. Karina López**  
**Ing. Ramiro Roselli**

Tribunal:  
**Dr. Ing. Pedro Piñeyro**  
**Dra. Ing Valeria Larnaudie**

Montevideo, Uruguay.  
Noviembre 2024

## **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros tutores, Karina y Ramiro, por su guía, apoyo y paciencia a lo largo de todo este proceso. Su experiencia y mentoría han sido fundamentales para la realización de este proyecto.

También a nuestras familias y amigos, por su constante apoyo. Sin su comprensión y sus ánimos, este logro no habría sido posible.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, por todos los conocimientos brindados y por proporcionar un entorno académico enriquecedor que nos ha permitido crecer tanto personal, como profesionalmente.

Por último, a Martín y su equipo, que nos abrieron las puertas para conocer su trabajo y desarrollar este proyecto.

## Resumen ejecutivo

Este proyecto final de grado aborda un enfoque práctico para la optimización de la exhibición de productos en las estanterías de un supermercado. El espacio disponible para la exhibición de cada producto es limitado y tiene un efecto sobre las ventas. La falta de un criterio objetivo de determinación de los espacios de exhibición conduce a arreglos subóptimos. La solución de este problema puede contribuir al aumento de los beneficios percibidos por la organización, reducir los costos de mano de obra y limitar el almacenamiento excesivo de productos.

El objetivo principal del trabajo es desarrollar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones sobre la exhibición de productos en el piso de venta. Esta herramienta determina de manera sistemática la cantidad de frentes a exhibir de cada producto del surtido y considera cómo serán presentados en las estanterías disponibles. Para ello, se modela la realidad en términos matemáticos para maximizar los beneficios. Posteriormente, se utiliza *software* de programación matemática para la resolución del problema.

Con el objetivo de probar el funcionamiento de la herramienta, se analizaron tres familias de productos que permitieron corroborar su aplicabilidad en casos diferentes para su posterior extensión a una mayor cantidad de productos. Para los casos de prueba analizados, la herramienta alcanza resultados positivos y consistentes con la literatura relevada. Se obtienen incrementos en los beneficios de entre 7% y 19%. A su vez, las soluciones halladas en cada familia disminuyen la cantidad de reposiciones necesarias en comparación con la situación inicial.

Se realizó un análisis de sensibilidad para conocer la variación en las soluciones frente a cambios en los parámetros del modelo. Los parámetros de mayor interés son: el costo de reposición, la elasticidad de la demanda con el espacio asignado, el umbral de reposición, la máxima cantidad de frentes y las formas de ordenamiento de la exhibición. Frente a variaciones moderadas de los parámetros estudiados, los resultados obtenidos son consistentes y acorde a los esperado. Se presentan algunas advertencias y riesgo para los beneficios frente a cambios significativos de los parámetros.

La herramienta desarrollada resulta útil y aplicable al caso de la cadena de supermercados estudiada. Se sugiere un plan de implementación dentro de la organización para el uso efectivo de la herramienta. A futuro, es posible considerar estrategias y desarrollos más avanzados para la resolución del problema en la medida en que se validen las hipótesis y resultados estudiados en este trabajo.

**Palabras clave:** problema de asignación de espacio en las estanterías, optimización de exhibición, modelado matemático, supermercados, maximización de beneficios, venta minorista.

**Key words:** *shelf space allocation problem, display optimization, mathematical modeling, supermarkets, profit maximization, retail.*

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco teórico</b>	<b>3</b>
2.1. Conceptos sobre <i>retailing</i>	3
2.1.1. Cadenas de supermercados	3
2.1.2. Surtido	4
2.1.3. Gestión por categorías	5
2.1.4. El lineal	5
2.2. Inventario	7
2.2.1. Gestión de inventario	8
2.2.2. Costos de inventario	8
2.2.3. Sistemas de revisión de inventario	9
2.3. Problema de asignación de espacio en góndolas	10
2.3.1. Elasticidad del espacio	11
2.3.2. Elasticidad cruzada	11
2.4. Costeo de actividades y estudio de tiempos	11
2.5. Método <i>Branch and Cut</i>	12
2.5.1. <i>Branch and Bound</i>	12
2.5.2. <i>Cutting Planes</i>	13
2.5.3. Integración de Branch and Cut	13
<b>3. Revisión bibliográfica</b>	<b>14</b>
3.1. Elasticidad del espacio	15
3.2. Modelado matemático de la elasticidad del espacio	16
3.2.1. Comparación entre los modelos de demanda	17
3.2.2. Determinación de constantes	18
3.3. Modelado del <i>SSAP</i>	20
3.3.1. Modelo de demanda sin elasticidad cruzada	20
3.3.2. Consideración de la elasticidad cruzada	21
3.3.3. Modelo de ejemplo del <i>SSAP</i>	21
3.3.4. Familias de restricciones del <i>SSAP</i>	21
3.3.5. Modelado del <i>SSAP</i> con reposiciones	22
3.3.6. Resultados obtenidos	22
<b>4. Descripción del caso de estudio</b>	<b>24</b>
4.1. Sobre la organización	24
4.1.1. Departamentos involucrados	24
4.1.2. Consideraciones sobre la exhibición	25
4.2. Alcance del caso de estudio	26
4.2.1. Metodología propuesta	27
4.2.2. Limitaciones y exclusiones	28
<b>5. Modelado matemático</b>	<b>30</b>
5.1. Conjuntos	30
5.2. Variables	30
5.3. Parámetros	30
5.4. Modelo matemático	31
5.5. Componentes del modelo	32
5.6. Contexto y desarrollo del modelo	35
5.6.1. Consideraciones previas	35

5.6.2.	Descripción del modelo . . . . .	36
5.6.3.	Planograma de la estantería . . . . .	38
5.6.4.	Modelos previos . . . . .	38
5.7.	Validación del modelo . . . . .	39
<b>6.</b>	<b>Implementación del modelo</b>	<b>42</b>
6.1.	Selección de los casos de estudio . . . . .	42
6.1.1.	Selección de productos . . . . .	42
6.1.2.	Selección de sucursales . . . . .	43
6.2.	Relevamiento de datos y determinación de parámetros . . . . .	44
6.2.1.	Determinación del costo de reposición . . . . .	45
6.2.2.	Determinación del costo de inventario . . . . .	45
6.3.	Selección de <i>solver</i> . . . . .	45
<b>7.</b>	<b>Análisis de resultados</b>	<b>47</b>
7.1.	Aguas cloradas . . . . .	47
7.1.1.	Sucursal grande . . . . .	48
7.1.2.	Sucursal mediana . . . . .	50
7.1.3.	Sucursal pequeña . . . . .	51
7.1.4.	Comparación entre sucursales . . . . .	53
7.2.	Alfajores . . . . .	56
7.2.1.	Sucursal grande . . . . .	56
7.2.2.	Sucursal mediana . . . . .	58
7.2.3.	Sucursal pequeña . . . . .	60
7.2.4.	Comparación entre sucursales . . . . .	62
7.3.	Jabón líquido para lavarropas . . . . .	65
7.3.1.	Sucursal grande . . . . .	65
7.3.2.	Sucursal mediana . . . . .	67
7.3.3.	Sucursal pequeña . . . . .	69
7.3.4.	Comparación entre sucursales . . . . .	71
<b>8.</b>	<b>Análisis de sensibilidad</b>	<b>73</b>
8.1.	Elasticidad de la demanda . . . . .	73
8.2.	Costo de reposición . . . . .	75
8.3.	Umbral de reposiciones . . . . .	76
8.4.	Cantidad de frentes . . . . .	78
8.5.	Orden de las estanterías . . . . .	80
8.5.1.	Relajación de formatos . . . . .	80
8.5.2.	Relajación de marcas . . . . .	81
8.5.3.	Libre ordenación . . . . .	82
8.6.	Conclusiones del análisis de sensibilidad . . . . .	84
<b>9.</b>	<b>Consideraciones finales</b>	<b>85</b>
9.1.	Plan de implementación . . . . .	85
9.2.	Conclusiones . . . . .	86
9.3.	Líneas de trabajo futuro . . . . .	87
<b>A.</b>	<b>Anexo A - Validación del modelo</b>	<b>89</b>
A.1.	Caso de Validación N° 1 . . . . .	89
A.2.	Caso de Validación N° 2 . . . . .	89
A.3.	Caso de Validación N° 3 . . . . .	89
A.4.	Caso de Validación N° 4 . . . . .	90

A.5. Caso de Validación N° 5 . . . . .	91
A.6. Caso de Validación N° 6 . . . . .	92
A.7. Caso de Validación N° 7 . . . . .	93
A.8. Caso de Validación N° 8 . . . . .	94
A.9. Caso de Validación N° 9 . . . . .	96
A.10.Caso de Validación N° 10 . . . . .	96
A.11.Caso de Validación N° 11 . . . . .	98
A.12.Caso de Validación N° 12 . . . . .	99
A.13.Caso de Validación N° 13 . . . . .	99
<b>B. Anexo B - Órdenes de trabajo y leyendas de planogramas</b>	<b>100</b>
B.1. Aguas cloradas . . . . .	100
B.2. Alfajores . . . . .	105
B.3. Jabones líquidos . . . . .	118
<b>C. Anexo C - Actas de reunión</b>	<b>128</b>
C.1. Acta N°1 . . . . .	128
C.2. Acta N°2 . . . . .	129
C.3. Acta N°3 . . . . .	130
C.4. Acta N°4 . . . . .	131
C.5. Acta N°5 . . . . .	132
C.6. Acta N°6 . . . . .	133
<b>D. Anexo D - Diagramas de Flujo</b>	<b>134</b>
D.1. Diagrama de flujo para la implementación de la herramienta en la organización .	134
<b>E. Anexo E - Documentos de gestión del proyecto</b>	<b>135</b>
E.1. Acta de constitución . . . . .	135
E.2. Cronograma de proyecto . . . . .	136
E.3. Matriz RACI . . . . .	139
E.4. Matriz de Interés-Poder . . . . .	141
E.5. Matriz de riesgos . . . . .	143

## Índice de Tablas

1.	Presentaciones de cadenas de supermercados. Guillem (2016) . . . . .	4
2.	Estructura del Surtido. Elaboración propia. . . . .	5
3.	Principales artículos científicos estudiados. Elaboración propia. . . . .	15
4.	Definición de componentes del modelo matemático propuesto. Elaboración propia. . . . .	35
5.	Resumen de las pruebas de validación. Elaboración Propia . . . . .	41
6.	Ocupación relevada por marca en la estantería de aguas cloradas en los distintos tipos de sucursal. Elaboración propia. . . . .	48
7.	Resultados de la función objetivo y valor de R para aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	48
8.	Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	49
9.	Resultados de la función objetivo y valor de R para aguas cloradas, sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	50
10.	Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	50
11.	Resultados de la función objetivo y valor de R para aguas cloradas, sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	51
12.	Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	52
13.	Ocupación relevada por marca en la estantería de alfajores en los distintos tipos de sucursal. Elaboración propia. . . . .	56
14.	Resultados de la función objetivo y valor de R para alfajores, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	57
15.	Variación de fracciones ocupadas en la estantería de alfajores por marca, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	57
16.	Resultados de la función objetivo y valor de R para alfajores, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	58
17.	Variación de fracciones ocupadas en la estantería de alfajores por marca, sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	59
18.	Resultados de la función objetivo y valor de R para alfajores, sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	60
19.	Variación de fracciones ocupadas en la estantería de alfajores por marca, sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	61
20.	Ocupación relevada por marca en la estantería de jabones líquidos para lava ropas en los distintos tipos de sucursal. Elaboración propia. . . . .	65
21.	Resultados de la función objetivo y valor de R para jabones líquidos para lava ropas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	66
22.	Variación de fracciones ocupadas para jabón líquido por marca, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	66
23.	Resultados de la función objetivo y valor de R para jabones líquidos para lava ropas, sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	67
24.	Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	68
25.	Resultados de la función objetivo y valor de R para Jabones Líquidos para lava ropas, sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	69
26.	Variación de fracciones ocupadas para jabón líquido por marca, sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	70
27.	Resultados del análisis de sensibilidad para la elasticidad de la demanda en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	74
28.	Valor de la fracción ocupada por marca para diferentes valores de $\beta$ para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	75
29.	Resultados del análisis de sensibilidad para el costo de reposición en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	75

30.	Valor de la fracción ocupada por marca para diferentes valores de $\beta$ para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	76
31.	Resultados del análisis de sensibilidad para el umbral de reposición de aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	77
32.	Valor de la fracción ocupada por marca para diferentes valores de $\beta$ para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	78
33.	Resultados del análisis de sensibilidad para la cantidad máxima de frentes de aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	79
34.	Valor de la fracción ocupada por marca para las variaciones de cantidad máxima de frentes para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	79
35.	Resultados de la función objetivo y valor de R para relajación de formatos en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	80
36.	Resultados de la función objetivo y valor de R para relajación de fracción ocupada por marca en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	81
37.	Resultados de la función objetivo y valor de R para relajación de fracción ocupada por marca y formatos por estante en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	83
38.	Datos del caso de validación N° 1. Elaboración propia. . . . .	89
39.	Resultados del caso de validación N° 1. Elaboración propia. . . . .	89
40.	Datos del caso de validación N° 2. Elaboración propia. . . . .	89
41.	Resultados del caso de validación N° 2. Elaboración propia. . . . .	89
42.	Datos del caso de validación N° 3. Elaboración propia. . . . .	89
43.	Resultados del caso de validación N° 3. Elaboración propia. . . . .	90
44.	Datos del caso de validación N° 4. Elaboración propia. . . . .	90
45.	Resultados del caso de validación N° 4. Elaboración propia. . . . .	91
46.	Datos del caso de validación N° 5. Elaboración propia. . . . .	91
47.	Resultados del caso de validación N° 5. Elaboración propia. . . . .	92
48.	Datos del caso de validación N° 6. Elaboración propia. . . . .	92
49.	Datos del caso de validación N° 7. Elaboración propia. . . . .	93
50.	Resultados del caso de validación N° 7. Elaboración propia. . . . .	93
51.	Datos del caso de validación N° 8. Elaboración propia. . . . .	94
52.	Resultados del caso de validación N° 8 - Parte A. Elaboración propia. . . . .	95
53.	Resultados del caso de validación N° 8 - Parte B. Elaboración propia. . . . .	95
54.	Datos del caso de validación N° 9. Elaboración propia. . . . .	96
55.	Datos del caso de validación N° 10. Elaboración propia. . . . .	96
56.	Resultados del caso de validación N° 10. Elaboración propia. . . . .	97
57.	Datos del caso de validación N° 11. Elaboración propia. . . . .	98
58.	Resultados del caso de validación N° 11. Elaboración propia. . . . .	98
59.	Datos del caso de validación N° 12. Elaboración propia. . . . .	99
60.	Resultados del caso de validación N° 12. Elaboración propia. . . . .	99
61.	Datos del caso de validación N° 13. Elaboración propia. . . . .	99
62.	Orden de trabajo para aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia. . . .	100
63.	Orden de trabajo para aguas cloradas, sucursal mediana. Elaboración propia. . .	102
64.	Orden de trabajo para aguas cloradas, sucursal pequeña. Elaboración propia. . .	104
65.	Orden de trabajo para alfajores, sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	108
66.	Orden de trabajo para alfajores, sucursal mediana. Elaboración propia . . . . .	112
67.	Orden de trabajo para alfajores, sucursal pequeña. Elaboración propia . . . . .	116
68.	Orden de trabajo para jabones líquidos, sucursal grande. Elaboración propia. . .	119
69.	Orden de trabajo para jabones líquidos, sucursal mediana. Elaboración propia. .	122
70.	Orden de trabajo para jabones líquidos, sucursal pequeña. Elaboración propia. .	124

71.	Versión final del cronograma de ejecución del Proyecto Final de Grado. Elaboración propia. . . . .	137
72.	Responsabilidades del equipo en el proyecto . . . . .	139
72.	Matriz RACI. Elaboración propia. . . . .	140
73.	Matriz Interés-Poder. Elaboración propia. . . . .	142
74.	Tabla de ponderación de riesgos. Elaboración propia . . . . .	143
75.	Tabla de estrategias de mitigación de riesgos. Elaboración propia. . . . .	145

## Índice de figuras

1.	Comparación entre modelos de demanda. Elaboración propia. . . . .	18
2.	Ejemplos de formas de exhibición en el punto de venta. Fotografías tomadas por el equipo. . . . .	26
3.	Ejemplo de una estantería optimizada. Elaboración propia. . . . .	37
4.	Proceso de obtención de datos para el modelo computacional. Elaboración propia.	44
5.	Planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	49
6.	Planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	51
7.	Planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	53
8.	Comparación de beneficios obtenidos en aguas cloradas. Elaboración propia. . . .	54
9.	Comparación de la variación en la cantidad de reposiciones en aguas cloradas. Elaboración propia. . . . .	54
10.	Planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	58
11.	Planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	60
12.	Planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	62
13.	Comparación de la variación en la cantidad de reposiciones en alfajores. Elaboración propia. . . . .	62
14.	Comparación de ahorro de costo de reposiciones en alfajores. Elaboración propia.	63
15.	Planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	67
16.	Planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	69
17.	Planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	71
18.	Comparación de beneficios obtenidos en jabón líquido. Elaboración propia. . . .	71
19.	Comparación de la variación en la cantidad de reposiciones en jabón líquido. Elaboración propia. . . . .	72
20.	Planograma de ocupación sugerido con fracción marca con más de un formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	81
21.	Planograma de ocupación sugerido sin fracción marca, respetando formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	82
22.	Planograma de ocupación sugerido sin fracción marca ni formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	83
23.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	101
24.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	103
25.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal chica. Elaboración propia. . . . .	104
26.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal grande, parte 1. Elaboración propia. . . . .	109
27.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación para otro producto en la sucursal grande, parte 2. Elaboración propia. . . . .	109

28.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	113
29.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	117
30.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	120
31.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal mediana. Elaboración propia. . . . .	122
32.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal pequeña. Elaboración propia. . . . .	125
33.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido con fracción marca con más de un formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	126
34.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido sin fracción marca, respetando formato por estante para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	126
35.	Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido sin fracción marca ni formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia. . . . .	127
36.	Proceso de Implementación en la organización . . . . .	134
37.	Diagrama de Gantt de la versión final del cronograma de ejecución del Proyecto Final de Grado. Elaboración propia. . . . .	138

## Glosario de términos

**API:** Interfaz de programación de aplicaciones (*Application Programming Interface*), un conjunto de definiciones y protocolos que permiten la comunicación entre diferentes software.

**Beneficio:** es la diferencia entre los ingresos obtenidos y todos los costos, incluidos impuestos e intereses.

**Cardinalidad:** se refiere a la cantidad de elementos que contiene un conjunto.

**Category:** En una cadena de supermercados, es el departamento que se encarga de la clasificación del surtido y decisiones sobre las exhibiciones en los puntos de venta.

**Centro de distribución:** forma parte de la infraestructura logística, su función es la de recibir, almacenar y despachar productos a los puntos de consumo.

**Costos:** son los costos son la cantidad económica de la suma de recursos y esfuerzo que se debe invertir para la producción de un bien o servicio.

**Costos de producción:** son los costos necesarios para la fabricación de un producto o servicio, incluyen la materia prima, mano de obra y costos indirectos, como el mantenimiento de la línea de producción.

**Estante:** superficie de la estantería donde se exponen productos.

**Estantería:** módulo estándar con estantes para la disposición de productos, a distintos niveles donde se exponen productos. Se asume que en la cadena estudiada tendrán las mismas dimensiones.

**Facings:** es la unidad de presentación de un producto visto de frente. El número de *facings* es la cantidad de caras del producto que son exhibidas.

**Factibilidad:** se refiere a la viabilidad de llevar a cabo un proyecto o proceso.

**Función objetivo:** en programación matemática, es la función que se desea maximizar o minimizar dentro de un problema de optimización.

**Góndola:** pasillo del punto de venta dónde se ubican las estanterías con productos para la venta.

**Ingreso:** es la suma total de dinero generada por las actividades operativas de una organización.

**Línea de base:** es una referencia o punto de comparación utilizado para medir el progreso o rendimiento de un proyecto o actividad.

**Margen bruto:** es la diferencia entre su precio de venta y su costo de adquisición o producción.

**Metaanálisis:** es un método estadístico que combina los resultados de múltiples estudios para identificar patrones, discrepancias o efectos generales.

**Método *branch-and-bound*:** es una técnica de optimización utilizada para resolver problemas de programación entera, que explora de manera sistemática las soluciones viables.

**Método *branch-and-cut*:** es un enfoque que combina el método *branch-and-bound* con técnicas de corte para mejorar la eficiencia en la resolución de problemas de programación entera.

**Método *simplex*:** es un algoritmo utilizado para resolver problemas de programación lineal, optimizando una función objetivo sujeta a restricciones lineales.

**Problema de la mochila:** consiste en un conjunto de  $n$  artículos, donde cada artículo es identificado por  $n_x$  con una ganancia  $p_x$  y un peso  $w_x$ . El problema consiste en elegir un

subconjunto de  $n$  artículos maximizando el beneficio obtenido considerando el peso total de los artículos seleccionados, sin exceder la capacidad  $c$  de la mochila

**Planograma:** es un diagrama que ilustra la disposición de los productos en una tienda.

**Problema dual:** en programación matemática, es un problema que se deriva de otro, en el que los coeficientes de la función objetivo y las restricciones se intercambian.

**Problema *NP-Hard*:** se refiere a un tipo de problema computacional que es al menos tan difícil como el problema más difícil en *NP*, y que no se puede resolver en tiempo polinómico.

**Programación matemática:** es una rama de la investigación operativa que utiliza modelos matemáticos para optimizar procesos o sistemas.

**Programación matemática lineal:** es un tipo de programación matemática en la que la función objetivo y las restricciones son lineales.

**Programación matemática no lineal:** se refiere a la programación matemática en la que al menos una de las funciones objetivo o restricciones no es lineal.

**Quiebre de inventario:** es la situación que se da cuando el *stock* disponible es nulo o no es suficiente para cubrir la demanda.

**$R^2$ :** es un coeficiente estadístico que define en qué grado la variable dependiente puede ser predicha por la variable independiente. También es llamado coeficiente de determinación.

***SKU*:** acrónimo de *Stock Keeping Unit* que hace referencia a un artículo específico en el contexto de la gestión de inventarios. Generalmente se trata de un número único que se le asigna a cada artículo para su fácil identificación y manejo en los sistemas de la compañía.

***Solver*:** es un programa o algoritmo diseñado para resolver problemas de optimización matemática.

***Stock*:** Se trata del nivel de existencias de un artículo o conjunto de artículos a nivel de toda la organización en un momento determinado.

# 1. Introducción

La exhibición de los productos en un supermercado es el principal atractivo visual en el punto de venta. Constituye un recurso limitado que es deseable aprovechar al máximo. La determinación de la conformación de las estanterías donde se colocan los productos es una tarea esencial de la operación que afecta las ventas, las reposiciones y la armonía visual. Estos aspectos constituyen parte de la esencia de las diferentes cadenas de supermercados.

Los responsables de determinar las cantidades de exhibición de los productos del surtido en los puntos de venta utilizan su experiencia y conocimiento sobre el público objetivo para reforzar y modificar la exhibición de diferentes productos. La principal desventaja que presenta este proceso de toma de decisiones es la subjetividad. En cada caso, la organización depende del criterio de un responsable y no se cuenta con un proceso sistemático de toma de decisiones para el armado de las exhibiciones. Esto genera dependencia y falta de uniformidad en las exhibiciones. Idealmente, estos actores podrían aportar su conocimiento en sugerencias y oportunidades de mejora de sistemas más complejos.

Considerando esta situación, se le propone a uno de los miembros del equipo de este trabajo (integrante del equipo de abastecimiento de la organización) la posibilidad de asumir el desafío de desarrollar un método objetivo y sistemático para las decisiones de exhibición de mercadería en el marco del proyecto final de grado del equipo.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una solución, mediante la creación de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones de exhibición, definiendo principalmente qué exhibir, cuánto y cómo. Para lograrlo, se construye un modelado matemático de la realidad necesario para optimizar la exhibición con el objetivo de maximizar los beneficios. Serán claves la recolección y el análisis de datos de exhibición y ventas actuales, así como indagar en los procesos de reposición y operaciones. Posterior al modelado de la realidad, se realiza la validación del modelo, buscando verificar su aptitud para representar la realidad estudiada. Asimismo, se analizarán los resultados, ejecutando un análisis de sensibilidad sobre los principales parámetros de interés. Por último, se presenta un plan de implementación de la herramienta en el contexto de la organización.

El trabajo realizado será entregado a la organización para su uso en cooperación entre el equipo de *Supply Chain* y *Category*. Esta herramienta será idealmente ejecutada por un analista con previa instrucción y será este el responsable de elevar las recomendaciones, planogramas y órdenes de trabajo generadas. A largo plazo, es posible que la implementación de este desarrollo pueda ser la etapa previa a la introducción de modelos más avanzados que utilicen inteligencia artificial o visión por computadoras.

En último lugar, se detalla la estructura del informe presentado. La Sección 2 presenta el marco teórico utilizado, incluyendo los conceptos necesarios para el desarrollo de este proyecto. La Sección 3 presenta la bibliografía relevante utilizada para la creación del modelo. Esta sección no constituye el estado del arte actual del problema estudiado o modelos para su solución, puesto que, actualmente, la resolución del problema se obtiene con inteligencia artificial y escapa el alcance de este trabajo. No obstante, representan un antecedente fundamental para el desarrollo de la herramienta propuesta. La Sección 4 explora a detalle la realidad actual, exponiendo detalles clave que serán incorporados al modelo final, así como una descripción profunda del alcance de este trabajo. La Sección 5 expone la formulación del modelo, sus conjuntos, variables y restricciones. Esta sección será clave para el entendimiento posterior de los resultados. Allí queda representada la realidad en términos matemáticos. La Sección 6 explica cómo se realiza la implementación del modelo, partiendo de la formulación en la sección previa. En esta sección se definen criterios para la aplicación del modelo, los productos a analizar y las sucursales estudiadas. La Sección 7 explora en profundidad los resultados obtenidos con la aplicación del

modelo, comparando entre familias de productos y sucursales. La Sección 8 expone el análisis de sensibilidad llevado a cabo. Allí se estudian las soluciones del modelo frente a cambios en los parámetros de interés. Finalmente, la Sección 9.2 presenta las conclusiones del trabajo, así como un análisis de posibles líneas de trabajo futuro.

## 2. Marco teórico

El objetivo de esta sección es brindar un marco conceptual de referencia para el entendimiento del proyecto desarrollado. Para ello, se optó por la agrupación de conceptos en núcleos temáticos, comenzando por los puntos de menor complejidad con el objetivo de facilitar la lectura.

En los bloques planteados, se definen conceptos relacionados a las cadenas de supermercado como: los tipos de presentaciones, la gestión del surtido, gestión por categorías, el lineal y la gestión del inventario (que incluye información clave sobre los costos y sistemas de revisión). También se definen conceptos utilizados en la bibliografía consultada, sobre la que se profundiza en la siguiente sección.

### 2.1. Conceptos sobre *retailing*

El *retailing* es la actividad que comprende la venta de bienes o servicios al consumidor final. Se trata de la última etapa del proceso de distribución y es una parte fundamental de la cadena de valor. Es a través de los comercios minoristas que se logra convertir a la venta potencial en venta efectiva y es donde se concentra gran parte de los esfuerzos de marketing y estrategias de venta. Este caso de estudio está centrado en la venta minorista de productos en supermercados.

#### 2.1.1. Cadenas de supermercados

En Uruguay, así como en gran parte del mundo occidental, se han popularizado las cadenas de supermercados. Cada una de ellas con sus distintas propuestas de valor, pero que en general comparten numerosas características. Según el informe Uruguay XXI (2023) del sector *retail*, en Uruguay existen cuatro cadenas que representan el 70 % del mercado de comercio minorista: El Dorado, Grupo Disco Uruguay (Disco, Devoto y Géant), Ta-Ta y Tienda Inglesa.

En adición, se trata del país con mayores ventas de *retail* per cápita de América Latina, con un elevado valor de facturación por metro cuadrado cuando se lo compara con países de la región. Con un total de cerca de 30.000 tiendas, entre supermercados, hipermercados y autoservicios, la facturación del sector anualmente ronda los US\$8.000 millones. Las ventas se han distribuido de forma que entre el 80 % y 85 % de las ventas son de artículos de almacén y entre el 15 % y 20 % restante en artículos no comestibles.

El continuo crecimiento del sector se explica en los nuevos formatos, las tiendas de conveniencia y la realidad de la sociedad. Las viviendas, cada vez más pequeñas y habitadas por núcleos familiares de menos integrantes, favorecen las compras pequeñas y frecuentes, frente a las compras grandes semanales o quincenales. La constante búsqueda por mejores precios y oportunidades brinda a los consumidores experiencias de compra diferentes, y que están en continua evolución.

**Presentaciones** En general, se pueden identificar los siguientes tipos de presentaciones de establecimientos de *retail*:

<b>Autoservicios</b>	Pequeños establecimientos ubicados en zonas urbanas, sin presencia de vendedores y desarrollados entre 40 y 120 m <sup>2</sup> , con un surtido amplio, pero principalmente orientado a la alimentación.
<b>Supermercados</b>	Establecimientos de tamaño mediano ubicados en zonas urbanas con una extensión de entre 120 y 2500 m <sup>2</sup> y con un amplio surtido.
<b>Hipermercados</b>	Grandes centros de venta ubicados en la periferia de centros urbanos densamente poblados, con extensiones superiores a los 2500 m <sup>2</sup> en régimen de autoservicio. Ofrecen una amplia gama de productos, diversas técnicas de promoción y marketing y, en general, manejan márgenes muy ajustados.

Tabla 1: Presentaciones de cadenas de supermercados. Guillem (2016)

Muchas de estas cadenas se han adaptado a los últimos tiempos desarrollando propuestas nuevas, como autoservicios en zonas densamente pobladas de las ciudades a través de la modalidad ‘*express*’, como los casos de Devoto o Tienda Inglesa. También lo han hecho incursionando en nuevos territorios, como El Dorado con sus recientes aperturas en Montevideo y Ciudad de la Costa, Canelones. La competencia en el sector es extremadamente alta, con márgenes bajos y con una búsqueda constante de optimizar el uso de los recursos.

### 2.1.2. Surtido

El surtido es el conjunto de productos que son exhibidos para la venta en un establecimiento de comercio minorista. La amplitud del surtido hace referencia a la cantidad de artículos distintos dentro de cada categoría de productos. Es fundamental alcanzara la coherencia del surtido, considerando las ventas, los márgenes, el espacio disponible y asignando a cada producto, la motivación y las necesidades de la clientela (Salén (1994)).

Debido al alto nivel de competencia, uno de los principales puntos de diferenciación entre las distintas cadenas y establecimientos es la elección del surtido. Al apostar por una selección del total de productos disponibles, es posible posicionarse mejor frente a distintos sectores de la población objetivo. Por ejemplo, ofrecer un surtido más extenso con el objetivo de lograr posicionarse por variedad suele venir acompañado de un nivel de precio al público más elevado frente a la competencia. Por otro lado, un surtido acotado evita mantener un inventario de productos que no tienen buena venta y enfocarse en aquellos que venden bien. En general, este último tipo cadenas o establecimientos suelen apuntar a un nivel de precios inferior como punto diferencial.

Las decisiones acerca del surtido son llevadas a cabo por el sector comercial quien decide, negocia y acuerda con los distintos proveedores, los artículos que estarán en venta en el establecimiento. En este marco de negociación comercial, también es posible acordar espacios en góndola, descuentos, participación en acciones comerciales, exhibiciones temporales, entre otros puntos clave.

Para lograr organizar el surtido dentro del establecimiento en función de estas estrategias surge la necesidad de comprender cómo se estructura el surtido seleccionado. Guillem (2016) en su tesis doctoral establece que “definir la estructura del surtido implica ordenar la totalidad de las referencias existentes en el comercio, dividiéndolas en una serie de niveles que permitan

su identificación y su clasificación, así como su localización en el punto de venta”. El autor define una clasificación jerárquica para todos los productos que son incluidos en el surtido: departamentos, secciones, categorías, subcategorías, familias, subfamilias y referencias. Estos niveles pueden variar según el comercio o el establecimiento. A continuación, se lista un ejemplo:

<b>Departamento</b>	Abarrotes
<b>Sección</b>	Bebidas
<b>Categoría</b>	Bebidas Alcohólicas
<b>Subcategoría</b>	Whiskies
<b>Familia</b>	Blended
<b>Subfamilia</b>	Escoceses
<b>Referencia</b>	Whisky Escocia 1L.

Tabla 2: Estructura del Surtido. Elaboración propia.

### 2.1.3. Gestión por categorías

La gestión por categorías es una técnica utilizada por distintos vendedores minoristas para mejorar la productividad. Consiste en analizar el rendimiento por tipos de productos, construyendo unidades estratégicas de negocio y así evitar un análisis granular donde se considera el rendimiento individual de los productos (Berman et al. (2019)). Gestionar de esta manera ayuda a garantizar que el surtido de la tienda incluya una óptima combinación y variedad de presentaciones, teniendo en cuenta la clientela objetivo y los resultados esperados.

La definición de categorías involucra determinar cuáles son aquellos *SKU* que van a constituir la categoría. Estos tienen que ser una cantidad manejable de productos que al consumidor le resulten reemplazables entre si o que estén relacionados de algún modo. La implementación de la gestión por categorías consta de tres etapas: la planificación estratégica donde se definen las categorías, los productos que las integran, las marcas y segmentos; el desarrollo de estrategias para cada categoría incluyendo a los departamentos de marketing y abastecimiento para lograr potenciar el desarrollo de las mismas; y, por último, la ejecución y revisión, siendo esta la etapa de revisión continua y evaluación del desempeño de las categorías (ACNielsen (2006)).

### 2.1.4. El lineal

El lineal es toda el área dentro del punto de venta destinada a la exhibición y comercialización de productos (Salén (1994)). Es un recurso limitado y costoso, por lo que es fundamental gestionarlo adecuadamente. Además, cumple las siguientes funciones:

- es responsable por la atracción y retención del cliente sobre el producto
- ofrece el producto
- provoca el acto de compra
- sirve para el reconocimiento instantáneo del producto por parte del comprador.

Una gestión adecuada del lineal es el pilar fundamental sobre el que se edifica la rentabilidad del negocio de *retail*.

**Determinación del lineal** Es necesario decidir de modo estratégico cómo distribuir el surtido elegido en el espacio disponible. Esta decisión puede plantearse en función de diversos objetivos, entre los cuales destacan: la maximización de los beneficios, del margen bruto total, la minimización de inventario, faltantes de *stock*, entre otros.

La variable de decisión para esta problemática suele ser el número de *facings* a asignar a cada producto en la estantería. Sin embargo, también es necesario definir criterios para la exhibición de todos los productos, agrupar las presentaciones de cada marca y generar una visual coherente que favorezca la experiencia de compra (Salén (1994)).

La gestión del lineal es una actividad dinámica que responde a las necesidades del punto de venta y a los objetivos del comercio minorista. Dado que el surtido varía, que las apuestas comerciales evolucionan y que la clientela modifica sus elecciones, la determinación del lineal requiere una reevaluación constante de las decisiones con sus correspondientes correcciones.

**Niveles de exposición de productos** Las decisiones de exposición de los artículos tienen un impacto importante en la decisión que toma el cliente en el punto de venta, especialmente en productos que son adquiridos por impulso. En estos casos, la forma en que se presenta el producto al cliente determinan su probabilidad de ser adquiridos.

Al estar colocados frente al lineal, existen distintas teorías que favorecen ciertas ubicaciones. Por una cuestión de practicidad, las posiciones a la altura de las manos y los ojos cuentan con ventaja a la hora de elegir los productos puesto que pueden ser tomados con facilidad. Le siguen las posiciones a nivel de la cabeza y por último a nivel de piso. Como regla general, los productos que ascienden de nivel tienen más para ganar de lo que efectivamente pierden al bajar de nivel (Salén (1994)). Por otra parte, se discute sobre si es más provechoso ubicar artículos en el centro de las góndolas, siendo puntos calientes de la visual, o en los extremos, siendo estos los primeros puestos que se hacen visibles cuando el cliente entra a ellas. Sin embargo, resulta ser que el impacto del posicionamiento a nivel horizontal es mucho menor que la ubicación a nivel vertical (Desmet y Renaudin (1998)).

Cabe destacar, siguiendo la teoría, que los artículos de primera necesidad en general se ubican a nivel de suelo, puesto que estos serán buscados igualmente por los clientes, liberando posiciones más atractivas para otros productos.

**Percepción** La percepción es el proceso por el cual las personas seleccionan, organizan e interpretan la información para construir una visión significativa del mundo (Armstrong y Kotler (2013)). La toma de decisiones se puede ver afectada por el mismo estímulo de maneras distintas debido a tres subprocesos que componen la percepción: la atención, distorsión y retención selectiva.

- La **atención selectiva** es la tendencia de la gente a filtrar la mayoría de la información que se recibe.
- La **distorsión selectiva** describe la tendencia de las personas a interpretar la información en función de las creencias propias.
- La **retención selectiva** significa que los consumidores tienden a recordar los puntos positivos realizados sobre una marca a la que favorecen y olvidan los buenos puntos acerca de las marcas competidoras.

La percepción es uno de los factores que más influyen en el comportamiento del comprador, por lo que es ampliamente considerada por las distintas marcas para ser favorecidas en el proceso de compra de un cliente. El proceso de la decisión de compra consta de cinco etapas: reconocimiento de la necesidad, búsqueda de información, evaluación de alternativas, decisión de compra y comportamiento posterior a la compra. Las marcas se concentran en todo el proceso de compra en lugar de solo en el último momento de la decisión.

A la hora de organizar la mercadería sobre el lineal, hay que considerar cómo el cliente percibe el planograma definido y cómo este influye en sus hábitos de compra. La decisión real de compra es parte de un proceso de compras mayor que inicia con el reconocimiento de las necesidades y va hasta la manera en que se siente el cliente después de realizada la compra.

La percepción del público sobre una marca y el producto en sí, afectan a la demanda. Pero, además, la presencia o falta de artículos complementarios o suplementarios genera perturbaciones en el consumo esperado de un producto. Estos distintos estímulos hacen que sea posible evaluar alternativas y que distintos factores, como posiciones relativas entre productos, desvíen la atención, impacten en la toma de decisiones y favorezcan (o perjudiquen) el nivel de ventas.

## 2.2. Inventario

El concepto de inventario es definido como las acumulaciones de materias primas, suministros, componentes, productos en proceso y productos terminados que se encuentran en distintos puntos a lo largo del canal de producción y logística de una empresa (Ballou (2004)). En el contexto de una cadena de supermercados, el inventario es la mercadería cuyo objetivo final es la venta, en cualquiera de las etapas comprendidas entre la compra del producto para ser entregado en la tienda o el centro de distribución, hasta el momento en que es comprado por el cliente.

A través del inventario, las cadenas de supermercados apuntan a satisfacer un determinado nivel de servicio, funcionando este como amortiguador frente a una demanda desconocida pero que puede ser estimada.

Tomando la clasificación propuesta por Ballou (2004), tenemos cinco tipos de inventario:

- **Inventario en ductos:** se trata de los inventarios en tránsito en los distintos niveles de los canales de suministro.
- **Inventario de especulación:** en los casos de productos como metales preciosos, se puede mantener inventario a modo especulativo frente a aumento de precios esperados a futuro.
- **Inventario regular o cíclico:** se trata del inventario necesario para satisfacer la demanda esperada entre entregas.
- **Inventario de seguridad:** está destinado a absorber variaciones en la demanda evitando quiebres.
- **Inventario perdido o muerto:** se trata del inventario que se deteriora, se pierde o es robado en el período en que está almacenado.

Para un supermercado, determinar el nivel de inventario a mantener es una función de numerosas variables. A modo de ejemplo, se debe tener en cuenta la demanda histórica, el pronóstico de demanda futura, el espacio disponible, los costos de inventario, el nivel de servicio que se aspira a brindar, entre otros.

### 2.2.1. Gestión de inventario

La gestión del inventario es entonces determinar cuánto comprar, para qué sucursales y en qué momento. Como parte de la estrategia de gestión de inventarios, es común que las grandes cadenas de supermercados cuenten con centros de distribución de uso exclusivo. De esta manera, logran responder rápidamente a variaciones repentinas de la demanda, pero también permite una mayor flexibilidad a la hora de planificar las operaciones logísticas. A través de un centro de distribución, la propia empresa puede aumentar o disminuir el número de frecuencias a una sucursal, minimizando el inventario que se debe mantener en la misma. Lograr mantener el inventario más cerca del consumidor final permite reducir costos de inventario y mejorar la eficiencia de la cadena (Kumar y Suresh (2008)). Es en estos casos donde contar con un centro de distribución resulta de mucho valor. El centro de distribución consolida la necesidad de diversos artículos por una sucursal y envía un pedido único tan frecuente como sea posible. A la hora de realizar los pedidos a los proveedores, centralizar las compras suele evitar grandes desviaciones y situaciones de sobrestock. En general, a mayor nivel de agregación, las desviaciones de inventario disminuyen, puesto que las distintas variaciones en la demanda, por encima y por debajo, de cada punto de venta se cancelan entre sí.

Como parte de la gestión de inventario, es común utilizar el criterio ABC a nivel de centro de distribución y a nivel sucursal para establecer jerarquía entre los productos y ayudar a la toma de decisiones. La categorización es la siguiente:

- los **productos A**, son el 20 % del total de productos que generan el 80 % de las ganancias;
- los **productos B** el 30 % de productos que generan entre 15 % de los beneficios económicos;
- y los **productos C** que comprenden el 50 % de los productos que generan el 5 % restante.

Este criterio es útil para priorizar qué faltantes recomponer primero, qué envíos son críticos frente a una capacidad limitada, o qué factor de seguridad utilizar a la hora de determinar el nivel de inventario. En la práctica, resulta muy utilizado a nivel de mandos medios y altos para determinar distintos tipos de políticas y prácticas (Schroeder et al. (2011)).

### 2.2.2. Costos de inventario

La gestión de inventarios impacta directamente en los resultados económicos de la cadena de abastecimiento de la empresa. En el caso particular de las grandes superficies, se deben mantener grandes inventarios que aseguren la disponibilidad, incurriendo en altos costos de inventario. Podemos identificar los siguientes tres componentes de los costos de inventario (Schroeder et al. 2011):

- **Costo de artículo:** es el costo de comprar o producir los artículos individuales, usualmente expresado en términos unitarios.
- **Costo de ordenamiento o preparación:** es el costo que se genera cuando cuando se ordena un lote y no suele depender del tamaño del lote ordenado. Este costo incluye la creación de la orden de compra, el despacho de la orden, los costos de transporte, los costos de recepción, etcétera. Cuando el artículo se produce dentro de la empresa, también existen costos asociados con la colocación de la orden que son independientes del número de artículos producidos, lo que se denomina costo de preparación.
- **Costo de mantenimiento:** este se asocia con el hecho de mantener los artículos en el inventario durante un período. Por lo general, el costo de mantenimiento se carga como un porcentaje del valor (oscilan entre 15 y 30 % por año) por unidad de tiempo. El costo de mantenimiento generalmente consiste en:

- **Costo de capital:** cuando se llevan artículos en un inventario, el capital invertido en ellos no está disponible para otros propósitos.
  - **Costo de almacenamiento:** este incluye el costo variable del espacio, el de los seguros y los impuestos. Los impuestos y los seguros se incluyen solo cuando varían con el nivel del inventario.
  - **Costo de obsolescencia, deterioro y pérdida:** los costos de obsolescencia se asignan a los artículos que entrañan un alto riesgo de volverse obsoletos en el período almacenado; los productos perecederos reciben un cargo por costos de deterioro cuando se estropean a lo largo del tiempo y, por último, los costos de las pérdidas incluyen los costos de robos y de mermas que se asocian con el mantenimiento de artículos en el inventario.
- **Costo de faltantes de inventarios:** son todos los costos derivados de los quiebres de inventario.

Cabe destacar que el costo de capital es significativamente mayor a los costos de almacenamiento u obsolescencia. Mantener el nivel de inventario necesario para satisfacer la demanda de una cadena de supermercados implica una inversión muy elevada y, por ende, un costo financiero semejante.

### 2.2.3. Sistemas de revisión de inventario

Los sistemas de revisión de inventario permiten conocer la cantidad de existencias de un artículo en un momento dado. Los primeros modelos, como el modelo de la cantidad económica del pedido desarrollado por F. W. Harris, incluían una ecuación determinista para el tamaño del pedido:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Donde:

- $Q^*$  es el tamaño óptimo del pedido
- $D$  es la demanda del producto
- $S$  es el costo de realizar un pedido
- $H$  es el costo de mantener una unidad en inventario

Sin embargo, este modelo da por ciertos una serie de supuestos que no se adecúan a la realidad: la demanda es constante y conocida, los tiempos de entrega son conocidos, no se consideran inexistencias, el costo del artículo es fijo y no se consideran economías de escala y, además, el producto es único y no interactúa con otros. La realidad está bastante alejada de esta situación, especialmente considerando la complejidad y tamaño de las operaciones que existen hoy en día en una cadena de supermercados. Por este motivo, se avanzó notablemente en el desarrollo de mejores modelos de revisión que consideran variaciones en tiempo real y permiten estimar mejor los cambios en la demanda.

En la práctica, contar con información sobre la evolución del inventario resulta de vital importancia para asegurar el nivel de servicio y lograr evitar quiebres de inventario.

**Modelos de revisión continua** Estos modelos permiten monitorear el *stock* después de cada transacción. Con esto en mente, se controla que el *stock*, y se toma acción cuando este cae por debajo del punto de reorden (Schroeder et al. (2011)). Es también llamado el modelo Q, dado que una de las variaciones de dicho modelo consta de ordenar una cantidad fija Q cada vez

que el inventario cae por debajo del punto de reorden. Sin embargo, existe otra variación, que consiste en abastecer hasta un nivel  $S$  determinado cada vez que se cae por abajo del punto de reorden. Dado que el nivel de inventario a alcanzar es fijo ( $S$ ), los pedidos son de diferente tamaño en cada ocasión.

**Modelos de revisión periódica** Otra manera de controlar el nivel de *stocks* es a través de un modelo de revisión periódica, también llamado Modelo P. En lugar de fijar el punto de reorden en unidades, se fija la frecuencia de revisión del inventario. Este tipo de revisión responde a una realidad en la que los proveedores no pueden recibir órdenes diariamente de cada cliente y se establecen días de pedido para organizar mejor las operaciones. En la práctica, el pedido será por la cantidad necesaria para cubrir el período de revisión menos las existencias actuales (Schroeder et al. (2011)).

**Aplicaciones prácticas** Haciendo uso de la tecnología y sistemas disponibles, el nivel de inventario de una cadena de supermercados se controla de manera continua, a través del sistema integrado de información. De esta manera, se establecen alertas que indican que un artículo está por debajo del inventario de seguridad, o aproximándose a él, y que debe tomarse acción para evitar quiebres. Por ejemplo, si se cuenta con un centro de distribución se pueden gestionar transferencias para evitar quiebres. En caso de no contar con *stock* disponible, la cantidad faltante se tendrá en cuenta para el pedido al proveedor. A la hora de realizar los pedidos, resulta más práctico consolidar todos los faltantes de un proveedor y realizarlos el mismo día de la semana, similar a un sistema P. De lo contrario, se consume gran cantidad de tiempo en resolver pequeños problemas, sin lograr ver el panorama completo.

En la operación diaria de una tienda, se utiliza una de las variaciones del modelo Q para la reposición de las góndolas, ya que, al llegar a un nivel de exposición determinado, se decide reponer la góndola para que vuelva a estar visualmente completa. La definición de este nivel de exposición umbral, para el cual se decide reponer, es un aspecto fundamental para elaborar la política de reposiciones en el piso de ventas.

### 2.3. Problema de asignación de espacio en góndolas

El espacio de exposición es un recurso limitado y muy valioso de los centros de venta minorista, por lo que hacer buen uso de este puede marcar una importante diferencia en los resultados económicos. Es por esto que, a partir de la década del sesenta, las organizaciones de comercio minorista comenzaron a aplicar los últimos desarrollos de la academia sobre optimización a problemas de asignación de espacio. El problema de asignación de espacio en góndolas, en inglés '*shelf space allocation problem*' (en adelante *SSAP*), es un problema de programación matemática donde se busca encontrar la configuración óptima de espacio destinado a la exposición de cada producto que satisfaga un conjunto de restricciones de la realidad, maximizando el beneficio económico.

Mediante la resolución del *SSAP* se busca colocar los productos en los estantes de manera estratégica, considerando factores clave como:

- Tamaño del producto
- Tamaño de los estantes
- Cantidad de estanterías
- Demanda histórica del producto
- Margen de beneficio del producto

- Restricciones comerciales
- Costo de adquisición
- Costo financiero de inventario

### 2.3.1. Elasticidad del espacio

El concepto elasticidad del espacio se define como la relación con la que un producto modifica sus ventas en función del espacio asignado. Algunos autores se refieren a esta como la elasticidad directa para diferenciarla de la elasticidad cruzada, que será introducida más adelante. El crecimiento de las ventas con el espacio asignado responde a un comportamiento natural: a mayor espacio, es posible captar más atención que puede traducirse en mayor venta.

Desde el punto de vista de la asignación de espacio, existe un óptimo de exhibición. Considerando que el espacio es limitado, aumentar la exposición de un producto siempre causa la reducción de exposición de otros en mayor o menor medida. De allí resulta el problema de optimización: ¿hasta qué punto aumentar la exposición de un producto en detrimento de la exposición de otros?. En próximas secciones se profundizará sobre este concepto y los modelos desarrollados en la literatura.

Algunos autores utilizan una curva de Gompertz (Anderson (1979)), (Salén (1994)) o una curva logística (Anderson (1979)) para modelar el comportamiento de las ventas frente al espacio asignado. Estos dos tipos de curvas describen un crecimiento inicial vertiginoso del desempeño en ventas del producto en función del espacio asignado, seguido de una desaceleración gradual. A través de distintas pruebas es posible concluir que el ajuste de este tipo de curvas al concepto de elasticidad del espacio es razonable y coherente Anderson (1979).

Por otra parte, aunque de forma similar, otros autores modelan la elasticidad de la demanda de un modo un tanto más sencillo. Para ello utilizan un modelo exponencial con exponente entre cero y uno para la demanda en función del espacio (Hansen y Heinsbroek (1979), Corstjens y Doyle (1981) o Hübner y Kuhn (2023)). De esta manera, se define un comportamiento sublineal, describiendo un crecimiento de las ventas con el aumento del espacio asignado, pero con incrementos cada vez menores.

### 2.3.2. Elasticidad cruzada

En este contexto, se habla de la elasticidad cruzada del espacio (en adelante elasticidad cruzada) al efecto que tiene el cambio en la exhibición de un producto en la demanda de otro producto. En base a este término, se definen productos complementarios y sustitutivos. Dos productos o más son complementarios si el aumento (o disminución) en la demanda de uno de ellos genera un aumento (o disminución) en la demanda del resto. Por el contrario, dos o más productos son sustitutivos cuando un aumento (o disminución) en la demanda de uno de ellos genera una disminución (o aumento) en la demanda de los otros. Existe una tercera opción en que las demandas de dos o más productos son independientes.

Es importante notar que la elasticidad cruzada toma valores positivos como negativos, con valores positivos para los productos complementarios y negativos para productos sustitutivos. Además, la demanda cruzada  $\delta_{ij}$  no tiene que ser necesariamente igual a  $\delta_{ji}$ .

## 2.4. Costeo de actividades y estudio de tiempos

Las técnicas tradicionales de contabilidad de costos asignan los gastos indirectos a los productos basándose en características de un único factor de asignación, como el número de horas de mano

de obra directa o el costo de los materiales. Sin embargo, estos métodos no siempre reflejan el verdadero origen de los gastos indirectos, lo que puede llevar a asignaciones imprecisas.

El costeo basado en actividades (*ABC*, por sus siglas en inglés) busca abordar esta limitación al reconocer que los productos individuales no consumen los recursos indirectos de manera uniforme. En cambio, se enfoca en las actividades específicas realizadas dentro de una organización, rastreando los costos hasta productos, servicios y clientes en función de las actividades que realmente consumen recursos. Esta metodología proporciona una mayor visibilidad de las actividades de trabajo y sus costos, permitiendo una asignación más precisa de los costos indirectos.

Sin embargo, la implementación del costeo basado en actividades puede ser compleja, requiriendo un análisis detallado de cada actividad, el tiempo dedicado a ella y los recursos consumidos. Para simplificar este proceso y mantener la precisión en la asignación de costos, se puede optar por un enfoque basado en el estudio de tiempos.

El estudio de tiempos permite establecer estándares de tiempo para las tareas específicas dentro de la organización. Estos estándares, combinados con el costo de la hora hombre, facilitan el cálculo de los costos asociados a cada actividad. Este enfoque no solo simplifica el proceso de costeo, sino que también proporciona una base sólida y objetiva para la asignación de costos.

Por ejemplo, al determinar el costo de una reposición, se realiza un estudio de tiempos para medir la duración exacta de la tarea. Los resultados se utilizan para calcular el costo de reposición mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de Reposición} = \text{Tiempo de Reposición (hs)} \times \text{Costo Hora Hombre}$$

Este método, basado en la medición real del tiempo, reduce la necesidad de realizar complejos análisis de actividades y permite una asignación de costos más directa y transparente. Según Niebel y Freivalds (2013), los estándares de tiempo se pueden determinar de manera precisa mediante este tipo de mediciones, lo que mejora la consistencia y la exactitud en la asignación de costos.

En resumen, aunque el costeo basado en actividades proporciona un marco robusto para asignar costos, su complejidad puede ser un desafío. Para la elaboración de una herramienta para la toma de decisiones, resulta conveniente la integración de un estudio de tiempos como instrumento para determinar la duración de una tarea. De esta forma, es posible imputar el costo de una reposición de manera más precisa, considerando los haberes percibidos por el reponedor.

## 2.5. Método *Branch and Cut*

El *Branch and Cut* es una técnica utilizada para resolver problemas de programación lineal entera y programación lineal entera mixta. Este método combina dos enfoques bien establecidos en la optimización: *Branch and Bound* y Cortes de Planos (*Cutting Planes*). Su principal objetivo es mejorar la eficiencia en la resolución de problemas complejos al reducir la necesidad de explorar exhaustivamente todas las soluciones posibles, lo que a menudo es inviable debido a la magnitud del espacio de búsqueda.

### 2.5.1. *Branch and Bound*

El *Branch and Bound* es un método para resolver problemas de programación entera, donde el espacio de soluciones se divide mediante un proceso de ramificación (*branching*). En cada paso, se selecciona una variable fraccionaria de la solución de la relajación lineal y se crean subproblemas imponiendo restricciones adicionales sobre esa variable. Estos subproblemas se resuelven de forma recursiva. Si alguno de los subproblemas es no factible o su valor óptimo no

mejora el mejor valor encontrado hasta el momento, se descarta (*prune*) el subproblema. Si se encuentra una solución entera en alguno de los nodos, el proceso puede terminar o continuar para mejorarla, dependiendo de las cotas disponibles. Este método garantiza encontrar la solución óptima al explorar selectivamente las ramas del árbol de decisión (Conforti et al. (2014)), siempre que exista una solución factible y el conjunto de soluciones sea finito.

### 2.5.2. *Cutting Planes*

El *Cutting Planes* es un método utilizado para resolver problemas de programación entera mediante la generación de restricciones adicionales que cortan soluciones fraccionarias de la relajación lineal. El proceso comienza resolviendo la relajación lineal del problema. Si la solución óptima no es entera, se resuelve un problema de separación para encontrar un plano de corte (*cutting plane*) que elimine la solución fraccionaria. Este corte se agrega al conjunto de restricciones y se repite el proceso hasta que se encuentra una solución entera.

El problema de separación es clave en este método, ya que existen múltiples cortes que pueden separar una solución fraccionaria del conjunto de soluciones enteras. La eficiencia del algoritmo depende tanto de la calidad de los cortes generados como del tiempo necesario para obtenerlos. En algunas implementaciones, se generan varios cortes simultáneamente para mejorar la convergencia del método (Conforti et al. (2014)).

### 2.5.3. Integración de Branch and Cut

El *Branch-and-Cut* combina los enfoques de *Branch and Bound* y *Cutting Planes*, mejorando la eficiencia al añadir un paso de cortes antes de ramificar. En este método, se resuelve primero la relajación lineal de cada subproblema generado en el proceso de *branching*. Si la solución es fraccionaria, se evalúa la posibilidad de agregar cortes que fortalezcan la formulación del subproblema, con el objetivo de ajustar más el límite superior y reducir el número de nodos a explorar. Este proceso continúa hasta que se encuentra una solución entera o se podan los subproblemas.

La decisión de agregar cortes se toma de manera empírica, considerando el éxito de los cortes previos y las características de los nuevos cortes, como su densidad. Usualmente, se añaden varios cortes en el nodo raíz, mientras que en los niveles más profundos del árbol de enumeración se generan menos cortes o incluso ninguno (Conforti et al. (2014)).

### 3. Revisión bibliográfica

En esta sección se presentan los estudios principales acerca del *SSAP* con diferentes enfoques. Se destaca que no todos los textos relevados e incluidos en esta revisión abordan la resolución concreta del problema en cuestión, pero brindan información relevante que podría ser útil. El objetivo de esta sección es brindar contexto histórico y conceptual sobre el tema de estudio para la toma de decisiones que se llevan a cabo en este trabajo.

Es necesario remarcar que las investigaciones relevadas no constituyen el estado del arte actual del *SSAP*. En la actualidad, los trabajos de este tema estudian técnicas de resolución utilizando inteligencia artificial y otros métodos complejos. La decisión de inclusión y revisión de los artículos presentados está fundamentada a partir de los objetivos del presente trabajo: desarrollar una herramienta de análisis que permita optimizar las exhibiciones a nivel de piso de venta.

La sección está organizada de la siguiente manera: en primer lugar, se aborda el concepto de la elasticidad del espacio en la literatura relevante y, en segundo lugar, se abordan artículos relativos al planteo y resolución del *SSAP* por distintos autores.

A modo de resumen, la siguiente tabla contiene los principales artículos estudiados con una breve descripción del aporte realizado.

Artículo	Aporte realizado
<i>The relationship between shelf space and unit sales in supermarkets.</i> Curhan (1972)	Modelo que relaciona los efectos de los cambios en el espacio de la estantería (elasticidad del espacio) con las propiedades físicas, características de comercialización y características de uso de los productos.
<i>Product selection and space allocation in supermarkets.</i> Hansen y Heinsbroek (1979)	Modelo para la resolución del <i>SSAP</i> con multiplicadores de Lagrange. Alcanzaron una solución que mejora 6% los resultados económicos. No consideran la elasticidad cruzada.
<i>A model for optimizing retail space allocations.</i> Corstjens y Doyle (1981)	Modelo de resolución del <i>SSAP</i> a partir de una estimación de la demanda con datos históricos y considerando tanto la elasticidad directa como cruzada. Desarrollan una aplicación a un caso con buenos resultados.
<i>A Model for Determining Retail Product Category Assortment and Shelf Space Allocation.</i> Borin et al. (1994)	Modelo de resolución del <i>SSAP</i> a partir de una definición de la demanda en cuatro componentes. Propone un algoritmo de resolución por recocido simulado con buenos resultados en la práctica.
<i>Shelf management and space elasticity.</i> Drèze et al. (1994)	Experimentos de campo para medir la efectividad de dos técnicas de gestión de estanterías que incluye la elasticidad del espacio.
<i>Estimation of product category sales responsiveness to allocated shelf space.</i> Desmet y Renaudin (1998)	Modelo para la estimación de las elasticidades directas a partir de un caso de estudio. Expone una forma de determinar estos factores sin considerar la elasticidad cruzada.

Artículo	Aporte realizado
<i>A retail category management model integrating shelf space and inventory levels.</i> Ramasathan et al. (2009)	Modelo de gestión por categorías que integra la asignación de espacio en estanterías y los niveles de inventario, ofreciendo un enfoque integral para la planificación del surtido y la gestión de inventarios.
<i>Shelf space elasticity: A meta-analysis.</i> Eisend (2013)	Meta-análisis con extenso tratamiento estadístico de 1,268 estimaciones de elasticidad del espacio, observando un promedio de 0,17.
<i>Effect of replenishment and backroom on retail shelf-space planning.</i> Hübner y Schaal (2017)	Análisis del impacto de la reposición y el almacenamiento en la planificación del espacio en las estanterías del comercio minorista, proponiendo un enfoque que integra ambos factores para mejorar la eficiencia de la asignación de espacio.
<i>Assortment planning, space assignment and shelf location model.</i> Palacios-Villarraga y Ruiz-Cruz (2019)	Modelo para la planificación del surtido, la asignación de espacio y la localización de productos en góndolas, optimizando tanto el espacio como la disposición de los productos para mejorar las ventas y la eficiencia operativa.
<i>Decision support for managing assortments, shelf space, and replenishment in retail.</i> Hübner y Kuhn (2023)	Modelo de apoyo a la decisión que integra la gestión de surtidos, espacio en estanterías y reposición, proporcionando herramientas avanzadas para optimizar la planificación en el entorno minorista.

Tabla 3: Principales artículos científicos estudiados. Elaboración propia.

### 3.1. Elasticidad del espacio

Como fue mencionado en la sección anterior, distintos autores han investigado la relación entre el espacio asignado y las ventas concretadas. Una correcta asignación de espacios puede ser doblemente beneficiosa, al maximizar las ventas potenciales de un artículo a la vez que se evita el exceso de inventario de productos de menor venta.

El primer autor reconocido en definir el concepto fue Curhan (1972), planteando que la elasticidad del espacio es la relación entre la variación de las ventas y la variación del espacio asignado:

$$E = \frac{(C_t - C_{t_0}) / C_{t_0}}{(S_t - S_{t_0}) / S_{t_0}}$$

Donde:

$C$  : unidades vendidas;

$S$  : espacio otorgado;

$t_0$  : tiempo de referencia;

$t$  : tiempo donde se observa la variación.

El concepto de elasticidad del espacio, introducido por Curhan, fue un avance significativo en la comprensión de la relación entre el espacio de estantería y las ventas. Este concepto no solo proporcionó una medida cuantificable para optimizar la asignación de espacio, sino que también abrió nuevas líneas de investigación que han explorado cómo varía la elasticidad bajo diferentes circunstancias. La mayoría de los autores consultados dan por sentada esta definición para trabajar el concepto.

### 3.2. Modelado matemático de la elasticidad del espacio

Determinar la elasticidad del espacio es un insumo crítico para un modelo de optimización de la asignación de espacios, ya que, si se puede estimar con precisión el aumento de las ventas en función del espacio, es posible encontrar una configuración que optimice los resultados.

A medida que aumenta el espacio de exhibición asignado, las ventas aumentan, pero no crecerán infinitamente puesto que la demanda no es infinita y en algún momento se habrá saturado la exhibición. En base a esta descripción, parece claro que la elasticidad del espacio no es un valor constante, implicando que, ante un primer aumento del espacio asignado, se obtienen mayores ventas que ante un segundo aumento idéntico. Es por esta realidad que interesa determinar una función que logre describir este comportamiento.

A modo de ejemplo, es posible utilizar una curva de Gompertz para explicar el comportamiento entre las ventas y el espacio asignado (Drèze et al. (1994)). En este caso, se modelan las ventas en función del espacio asignado de la siguiente manera:

$$v(s) = a \cdot e^{-b \cdot e^{-c \cdot s}}$$

donde:

- $v(s)$  : Ventas en función del espacio asignado  $s$
- $a$  : Valor asintótico máximo que  $v(s)$  puede alcanzar
- $b$  : Desplazamiento horizontal de la curva
- $c$  : Tasa de crecimiento o decaimiento
- $s$  : Variable independiente: espacio asignado

La curva de Gompertz es particularmente adecuada para modelar la relación entre el espacio asignado y las ventas debido a que describe un crecimiento rápido inicial seguido de una estabilización, reflejando cómo las ventas aumentan rápidamente con el espacio asignado hasta alcanzar un punto de saturación.

Los parámetros son definidos en función de datos históricos para lograr el mejor ajuste. Una cuestión interesante sobre esta formulación es que las curvas de Gompertz presentan un crecimiento repentino en un entorno reducido de la variable independiente. Al modelar las ventas de esta manera para intentar optimizar la asignación de espacio, existirá un intervalo donde se vuelve bastante sensible la asignación de más o menos *facings*.

En su investigación, Drèze et al. (1994) plantearon estrategias dentro del punto de venta para incrementar las ventas, tanto por aumento de espacio asignado como por un nuevo ordenamiento de los espacios de exhibición. Para el tratamiento de la elasticidad plantearon un modelo de Gompertz para la demanda en función del espacio. A partir de sus observaciones, concluyen que la mayoría de los productos estudiados están sobre expuestos, indicando que es más significativo el impacto de un cambio en la altura de exhibición que en la cantidad de frentes asignados.

Por otro lado, es posible plantear un modelo de demanda a partir de un modelo exponencial sublineal de la siguiente forma:

$$v(s) = a \cdot s^b$$

donde:

- $v(s)$  : demanda en función del espacio  $s$
- $a$  : Constante de proporcionalidad
- $b$  : Exponente, con  $0 < b < 1$
- $s$  : frentes asignados

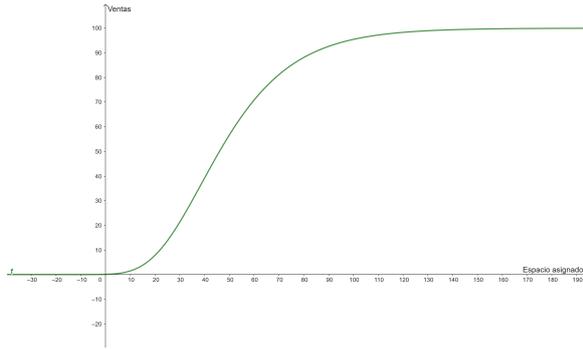
Este tipo de modelo es utilizado en la gran mayoría de los modelos estudiados (Hansen y Heinsbroek (1979), Corstjens y Doyle (1981), Borin et al. (1994), entre otros). Cabe mencionar que, si bien no es técnicamente la designación correcta, muchos autores llaman a  $b$  (también  $\beta$ ) la elasticidad del espacio, aunque esta definición no concuerde con la de Curhan (1972).

### 3.2.1. Comparación entre los modelos de demanda

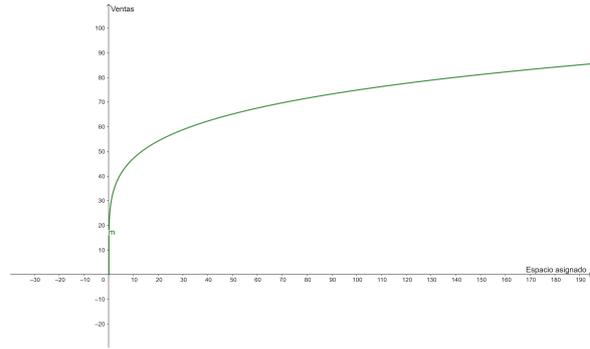
Ambos modelos planteados cuentan con argumentos que justifican su utilización, pero presentan significativas diferencias. El modelo de demanda con curva de Gompertz presenta un incremento repentino y agresivo en un entorno reducido de la variable independiente. Para las ventas, esto implica que un artículo puede ser muy inelástico a los cambios en el espacio, pero, luego de un primer punto de inflexión, hay un crecimiento muy veloz de las ventas. Este comportamiento está definido por el parámetro  $c$  del modelo. A un  $c$  mayor, el crecimiento es más repentino y brusco, encontrando el punto de inflexión muy cerca del valor de la asíntota  $a$ . El parámetro  $b$  marca el desplazamiento en el eje horizontal de la curva.

En cambio, el modelo exponencial sublineal cuenta con un solo punto de inflexión, planteando un incremento agresivo al inicio, que se estabiliza una vez superado el punto de inflexión. Para las ventas, esto implica una respuesta moderada al aumento en el espacio superado este punto.

Como se ve en la Figura 2, la curva de Gompertz y el modelo de demanda guardan ciertas similitudes. De hecho, para un mismo conjunto de datos, se pueden obtener muy buenos ajustes con la correcta elección de parámetros. La principal diferencia se encuentra en que el modelo de Gompertz logra incluir el comportamiento asíntótico de la demanda, que no puede aumentar infinitamente; mientras que el modelo exponencial, teóricamente, continuará aumentando las ventas a medida que se aumenta el espacio. Sin embargo, para los intervalos reducidos de trabajo esto no presenta mayores dificultades.



(a) Modelo de demanda con curva de Gompertz



(b) Modelo de demanda exponencial sublineal

Figura 1: Comparación entre modelos de demanda. Elaboración propia.

Si bien ambos son utilizados en la bibliografía relevada, es incuestionable la practicidad del modelo exponencial sublineal para su uso. En este se considera únicamente un factor de ajuste, el valor definido para la elasticidad del espacio y la variable son los frentes. A su vez, es práctico para la obtención del parámetro  $a$  a partir de datos históricos (Hübner y Kuhn (2023)).

### 3.2.2. Determinación de constantes

Para la determinación de las constantes del modelo elegido, existen dos posibilidades: utilizar datos de experimentos o históricos para definir la relación entre la variación de la demanda y la variación del espacio asignado en un período de tiempo (Hansen y Heinsbroek (1979), Corstjens y Doyle (1981), Borin et al. (1994), Drèze et al. (1994)); o tomar valores fijos de la literatura que permitan trabajar con un error razonable (Hübner y Kuhn (2023)).

Ya sea que se utilice el modelo de Gompertz o el modelo sublineal, es evidente que, en caso de disponer del tiempo y los recursos, la mejor estimación de los parámetros será aquella obtenida experimentando en la realidad del caso de estudio, puesto que hay factores que se omiten al tomar un valor genérico. Sin embargo, existen estudios de muy alta rigurosidad estadística que obtienen estimaciones de la elasticidad del espacio que pueden ser utilizados con buenos resultados (Hübner y Kuhn (2023), Eisend (2013)). No obstante, existe el riesgo de introducir un error sistemático si las condiciones de aplicación difieren significativamente de aquellas de los estudios originales.

**Desarrollo de experimentos** Si se dispone de los medios necesarios, se pueden obtener resultados muy precisos de la elasticidad midiendo las variaciones en la demanda respecto a la variación del espacio asignado en períodos comparables. Una vez elegido un modelo de ajuste, se toman datos de las ventas para un cierto espacio asignado, buscando mantener constantes tantas otras variables como sea posible. Estos estudios en general requieren meses para obtener resultados, siendo que para cada nueva configuración se debe evaluar durante al menos algunas semanas. Esto hace que la recolección de datos sea costosa y lenta (Corstjens y Doyle (1981), Drèze et al. (1994), Drèze et al. (1994)). Además, resulta conveniente tomar medidas en varias tiendas de la misma cadena que sean comparables bajo una serie de criterios como tamaño, clientela o localización o al menos ponderar los datos hallados en función de estos criterios (Desmet y Renaudin (1998)). Es importante considerar que, en los estudios relevados, el tamaño de la muestra para las tiendas varía entre algunas decenas (Curhan (1972), Corstjens y Doyle (1981)) y más de cien (Drèze et al. (1994), Desmet y Renaudin (1998)). A mayor tamaño de la muestra, se complejiza la recolección de datos.

Una posible simplificación es determinar la elasticidad observada para una categoría de productos en lugar de para cada producto en particular (Desmet y Renaudin (1998)). Para ello,

se agregan los datos de ventas a nivel total de la categoría, obteniendo datos a un mayor nivel de agregación. Resulta interesante que este abordaje obtuvo resultados para la elasticidad muy similares a los observados en los estudios por producto, con una media por categoría de 0,21; con buenos factores de ajuste  $R^2$  de entre 0,80 y 0,95.

El valor de experimentar radica en que a partir de estos experimentos es donde se alcanzan conclusiones y observaciones interesantes. Por ejemplo, resulta común ver un incremento en la elasticidad del espacio para productos de impulso. Los clientes optan por un producto u otro principalmente en función de la experiencia en el punto de venta. Al encontrar una exhibición mayor de un producto, la percepción se altera, favoreciendo la compra de aquel que capte más la atención (Corstjens y Doyle (1981)). Similarmente, al intentar ajustar los datos de la realidad al modelo elegido, es posible detectar comportamientos de sobre exposición. Si los productos no sufren mayores cambios en las ventas al variar su espacio de exhibición, podría ser que ya se encuentran sobre exhibidos (Drèze et al. (1994)).

**Metaanálisis** Si no se cuenta con dichos recursos, es posible hacer uso de los datos recolectados en otras investigaciones. Esta metodología fue utilizada en el metaanálisis de 1.268 estimaciones de la elasticidad del espacio desarrollado por Eisend (2013).

En los artículos donde se estudia y determina la elasticidad del espacio, se trabaja en función de un contexto que está compuesto de diversas características y se hace uso de una metodología concreta. A través del metaanálisis, se busca ofrecer un valor para la elasticidad del espacio que sea riguroso estadísticamente para un uso generalizado en la aplicación práctica.

Luego de la recopilación de diversos estudios que determinan la elasticidad del espacio, Eisend hace uso del modelo jerárquico lineal (*HLM* por sus siglas en inglés) con el objetivo de poder comparar los distintos valores hallados en cada estudio. Este modelo es ideal para el análisis de datos en niveles, como en este caso, donde se obtiene un valor de la elasticidad en un contexto concreto y con una metodología de estudio determinada. Resulta evidente que los datos no son comparables directamente entre sí a priori, por lo que es necesario un tratamiento previo.

El autor considera una cantidad importante de aspectos que afectan la elasticidad del espacio hallada en los estudios académicos, agrupándolos en características: del producto y la estantería, de la tienda, del estudio relevado, de la metodología utilizada y el tipo de estudio.

Para la aplicación del *HLM* define tres niveles donde el nivel 1 es el valor de la elasticidad de la demanda observada en el estudio, el nivel 2 es el contexto de la tienda donde fue medida, considerando aspectos de tamaño y ubicación, y el nivel 3 es el tipo de estudio y metodología aplicada para hallar esos valores. Cabe destacar que, en estudios donde se alcanzan más de un valor para la elasticidad para una cierta categoría, estos eran ponderados para alcanzar un único valor por categoría para ese estudio.

Dada la rigurosidad del análisis, sus resultados son de gran valor. El valor medio hallado para la elasticidad del espacio es de 0,169; con una mediana de 0,163 y una desviación estándar de 0,921. Esto implica que, si bien existe un 30 % de las observaciones que resultan negativas, la evidencia apunta mayormente a una relación positiva entre las ventas y el espacio asignado. Este estudio, al igual que el de Desmet y Renaudin (1998), brinda un insumo importante para la estimación de la elasticidad de la demanda. Además, los valores hallados son comparables (0,214 y 0,169).

El valor hallado por Eisend (2013) de 0,169 debe ser adaptado para utilizarse en cualquiera de los modelos previamente mencionados. Para el caso sublineal, una elasticidad de 0,169 implica un valor de  $b$  de 0,2. Con dicho factor y los valores observados de la realidad es que se puede determinar entonces el factor de proporcionalidad  $a$  (Hübner y Kuhn (2023)).

### 3.3. Modelado del *SSAP*

Encontrar una fórmula que denote el comportamiento de las ventas en función del espacio es un paso previo al ensayo de cualquier optimización del espacio de exhibición. Es importante recordar que el *SSAP* buscar el arreglo óptimo de exhibición de productos para maximizar la ganancia esperada.

Dado que hasta este momento se ha intentado definir la demanda en función del espacio, es esperable una función objetivo que busque maximizar las ganancias (Hansen y Heinsbroek (1979), Corstjens y Doyle (1981), Borin et al. (1994), Ramaseshan et al. (2009), Hübner y Kuhn (2023)). Por lo pronto, hay dos términos principales: ingresos, que serán positivos y contribuyen a la función objetivo; y costos, que disminuyen el beneficio.

De forma general, es posible definir la función objetivo tipo de un modelo *SSAP*, como:

$$\text{máx} \sum_{i=1}^n (q_i \cdot m_i - c_i)$$

Los ingresos están determinados por la demanda, que varía con el espacio asignado; y por el margen de contribución del producto.

Los costos pueden ser variables o fijos. No obstante, una temática que es frecuente en los artículos estudiados es que se consideran costos como el de realizar un pedido, costo de transporte, o costo por unidad de espacio de exhibición. Este enfoque, si bien busca ser lo más detallado posible, es poco realista y, en ocasiones, plantea supuestos equivocados. Intentar asignar un costo al producto por factores como la energía eléctrica o insumos de limpieza en función del espacio ocupado, resulta en un trabajo tedioso y poco prometedor. Por este motivo, y alineado a modelos de gestión económica más modernos, es preferible considerar únicamente el costo de inventario como costo financiero en este problema. Por un lado, esto penaliza mantener en *stock* productos de alto costo de adquisición. Por otro lado, no asigna costos a cada producto que en la práctica son fijos a corto plazo, como salarios, servicios y alquiler.

Es necesario remarcar que es posible tomar variaciones de esta función objetivo, como por ejemplo el retorno sobre la inversión si se maximiza el cociente entre los beneficios esperados y la inversión en productos para dicha exhibición (Borin et al. (1994)).

#### 3.3.1. Modelo de demanda sin elasticidad cruzada

Como forma general, la función de la demanda en función del espacio (al considerar el modelo exponencial sublineal) puede ser definida como:

$$q_i = \alpha_i s_i^{\beta_i}$$

donde:

$q_i$  : demanda del producto  $i$

$\alpha_i$  : factor de ajuste de la demanda por datos históricos

$s_i$  : número de *facings* del producto  $i$

$\beta_i$  : factor que incluye el impacto de la elasticidad de la demanda

Se debe notar que este modelo no considera la elasticidad cruzada. Este modelo de la demanda

es ampliamente utilizado con mínimas variaciones en la literatura (Hansen y Heinsbroek (1979), Palacios-Villarraga y Ruiz-Cruz (2019), Hübner y Kuhn (2023)).

### 3.3.2. Consideración de la elasticidad cruzada

Cabe destacar ahora la posibilidad de incluir la elasticidad cruzada del espacio al modelo de demanda. Desde el punto de vista técnico, considerar la elasticidad cruzada es más preciso para la determinación de la demanda esperada de un artículo (Borin et al. (1994), Corstjens y Doyle (1981)). Las variaciones en los espacios de exhibición asignados tienen, sin lugar a duda, efectos sobre la demanda de otros productos. Sin embargo, si no se cuenta con datos de calidad provenientes de experimentos bien diseñados o datos históricos fiables, es posible que no se alcancen resultados concluyentes.

Modelos como los planteados por Borin et al. (1994) o Corstjens y Doyle (1981) toman en cuenta la elasticidad cruzada. No obstante, este último considera solamente cinco artículos. Considerando que la elasticidad cruzada se define para cada par de artículos, el problema de hallar las elasticidades cruzadas se vuelve complejo rápidamente.

Los modelos previamente mencionados utilizan funciones de la demanda con el término de la elasticidad cruzada, resultando de forma genérica en:

$$q_i = \alpha_i s_i^{\beta_i} \prod_{j=1, j \neq i}^K s_j^{\delta_{ij}}$$

donde:

- $q_i$  : demanda del producto  $i$ ,
- $\alpha_i$  : factor de ajuste de la demanda por datos históricos,
- $s_i$  : número de *facings* del producto  $i$ ,
- $\beta_i$  : factor que incluye el impacto de la elasticidad de la demanda,
- $s_j$  : *facings* del producto  $j$ ,
- $\delta_{ij}$  : elasticidad cruzada entre los productos  $i$  y  $j$ .

### 3.3.3. Modelo de ejemplo del *SSAP*

En consideración de los puntos anteriormente mencionados, se plantea a modo de ejemplo una potencial función objetivo de un modelo *SSAP*:

$$\text{máx}\{G = \sum_{i=1}^N \alpha_i s_i^{\beta_i} \cdot m_i - \sum_{i=1}^N c_i\}$$

Esta formulación genérica resume los dos términos antes mencionados de ingresos y costos, para un modelo de demanda sin elasticidad cruzada. Este modelo es utilizado por autores como Hansen y Heinsbroek (1979), Hübner y Schaal (2017) y Hübner y Kuhn (2023). Para el uso de la elasticidad cruzada, simplemente se agrega la productoria de los  $s_j^{\delta_{ij}}$  como en el caso de Corstjens y Doyle (1981), Borin et al. (1994) o Ramaseshan et al. (2009).

### 3.3.4. Familias de restricciones del *SSAP*

En la práctica, será necesario agregar términos a la función, para poder modelar correctamente las restricciones. Para este tipo de modelos, las restricciones son las que modelan la realidad

que se está enfrentando. Es posible identificar los siguientes tipos:

- **Restricciones de espacio total:** limitan el espacio total disponible para la asignación de productos en un área específica.
- **Restricciones de espacio en estantería:** la asignación de productos por estante no debe superar el máximo del estante.
- **Restricciones de inventario:** el inventario de exhibición no debe superar un cierto monto disponible.
- **Restricciones de *facings* por estantería:** establecen la cantidad mínima y máxima de frentes de un producto que pueden estar presentes en cada estante.
- **Restricciones de espacios mínimos por marca:** garantizan que una marca específica tenga un espacio mínimo asignado en la estantería.
- **Restricciones de asignación única de espacio:** aseguran que un producto o categoría de productos se asigne exclusivamente a un espacio designado, sin solapamientos.
- **Restricciones de integridad:** aseguran que ciertas variables tomen únicamente valores enteros.

Estas familias de restricciones son utilizadas en la mayoría de los textos consultados (Hansen y Heinsbroek (1979), Corstjens y Doyle (1981), Borin et al. (1994), Ramaseshan et al. (2009), Hübner y Kuhn (2023)).

### 3.3.5. Modelado del *SSAP* con reposiciones

Para el caso de un supermercado, resulta interesante incorporar el concepto de reposiciones como factor de costo en la función objetivo. Determinar un número de *facings* puede ocasionar un mayor o menor número de reposiciones en función de la demanda esperada y de la cantidad disponible en la estantería. Al reponer, se interrumpe el flujo natural de compras de los clientes, por lo que, a pesar de ser necesario, es conveniente que sean intervenciones mínimas y estratégicas.

Optar por incluir las reposiciones como parte del modelo, implica tratar cuidadosamente con el costeo de dicha actividad. Un coste elevado podría impactar fuertemente los beneficios y un costeo bajo podría fomentar mayores reposiciones. Por este motivo, es necesario tomar en cuenta estudios de tiempos y métodos para lograr modelar correctamente el costo de dicha actividad (Hübner y Schaal (2017)).

Por otro lado, ignorar los costos de reposición en el modelo, puede llevar a soluciones que en la práctica son subóptimas, incrementando la necesidad de reabastecimiento en la tienda y la cantidad de reposiciones al día (Hübner y Kuhn (2023)). De esta forma, queda entonces acotado inferior y superiormente el modelo: en caso de definir un número bajo de *facings*, serán necesarias más reposiciones; pero, a su vez, un número mayor de *facings* implica un mayor costo de inventario. Si estos valores son comparables, la optimización puede ser de gran valor para la organización.

### 3.3.6. Resultados obtenidos

Para finalizar, cabe exponer los principales resultados numéricos obtenidos por las investigaciones relevadas a través de su enfoque en la resolución del *SSAP*. Este punto será valioso para poder comparar los resultados obtenidos posteriormente en este trabajo.

En primer lugar, Corstjens y Doyle (1981) desarrollaron un estudio en una cadena de tiendas de golosinas. Se trata de productos de impulso, donde consideraron además la elasticidad cruzada

entre los distintos tipos de productos. Obtuvieron un aumento de entre 3 y 16 % de los beneficios en tiendas grandes y pequeñas respectivamente. A su vez, Drèze et al. (1994) hallaron resultados de aumento de beneficios en un 8 % al trabajar con la variación de la demanda en función del espacio. Cabe recordar que esta investigación no fue exclusivamente de modelado matemático, pero se exploró en efecto la elasticidad del espacio y el impacto en las ventas.

En segundo lugar, Hübner y Schaal (2017) diseñaron un modelo de optimización del espacio en estanterías considerando aspectos como el posicionamiento y orientación de los productos en las estanterías, trabajando en supermercados. Estos obtuvieron mejoras de hasta 29 %. A su vez, posteriormente Hübner y Kuhn (2023) analizaron el impacto de los costos de almacenamiento en los puntos de venta y las reposiciones en las estanterías, obteniendo incrementos en los beneficios de hasta 14 %.

Existen otras investigaciones donde se alcanzan resultados numéricos, pero no se detalla en concreto los porcentajes de mejora de las soluciones obtenidas (Hansen y Heinsbroek (1979)), o la función objetivo no es exclusivamente maximizar beneficios (Borin et al. (1994)).

## 4. Descripción del caso de estudio

Este proyecto de grado se desarrolla en colaboración con una cadena de supermercados local (en adelante, la organización). A través del mismo, se busca construir una herramienta que pueda ser utilizada por distintos equipos como metodología para la toma de decisiones acerca de la cantidad de mercadería a exhibir. En la presente sección, se detallan aspectos del contexto que serán insumo para el modelo a desarrollar.

### 4.1. Sobre la organización

La organización cuenta con múltiples puntos de venta en las zonas sur y este del país. Históricamente, la cadena destacaba por sus hipermercados, pioneros durante años, ampliando su propuesta de valor en la última década al apostar por sucursales pequeñas en ubicaciones céntricas. La diferencia en el tamaño de las sucursales obliga a reducir el surtido activo de cada una. Este oscila entre 4.000 y 14.000 *SKU's*, clasificados en diversas categorías según los lineamientos establecidos. La variedad de productos disponibles en cada sucursal varía en función de su tamaño y características específicas.

Con el objetivo de garantizar un excelente nivel de servicio, la organización cuenta con centros de distribución desde donde se abastecen las distintas sucursales periódicamente. Las sucursales de mayor venta reciben productos diariamente e incluso varias veces al día para abastecerse. Las sucursales más pequeñas son visitadas varias veces a la semana, pero generalmente no requieren un abastecimiento diario desde el centro de distribución.

Todos las sucursales y centros de distribución utilizan los mismos sistemas de gestión y comparten información centralizada para su consulta en tiempo real. Esto permite consultar las existencias, pedidos en tránsito al proveedor y pedidos pendientes. A su vez, este sistema también registra las ventas en cualquiera de las sucursales en tiempo real.

#### 4.1.1. Departamentos involucrados

Es preciso definir la estructura de departamentos dentro de la organización y tareas de cada uno de ellos que están relacionadas a la exhibición de los productos. Por un lado, las sucursales, con sus equipos de operación en el piso de ventas, conforman una parte del departamento de operaciones. Están encargados de la gestión diaria en el punto de venta. Tienen información de primera mano sobre patrones de venta, productos imprescindibles y decisiones de los clientes frecuentes de la zona. Resultan ser un insumo fundamental para las decisiones de más alto nivel. Es el único departamento que opera en su mayoría en el punto de venta. Por otro lado, están los departamentos administrativos. Estos departamentos no desarrollan sus actividades en el punto de venta, sino que operan a nivel de totalidad de la cadena. Se identifican dos principales: el departamento de *Supply Chain* y el departamento comercial.

El departamento de operaciones cuenta con responsables por área del local en cada sucursal, que se encargan de que las exhibiciones se encuentren siempre en condiciones. Estos se encuentran en el piso de venta y, al igual que los reponedores, detectan faltantes y productos en riesgo de quiebre rápidamente. En caso de notar un aumento repentino en las ventas, solicitan al equipo de abastecimiento más unidades para la próxima frecuencia a la sucursal. A su vez, dichos responsables forman parte del equipo que define las cantidades mínimas por artículo con las que debe contar el local para exhibir. Para su determinación, los equipos en cada sucursal toman en cuenta el espacio disponible, la rotación del artículo y los acuerdos comerciales vigentes. Hoy en día, no existe una metodología sistemática para la toma de decisiones en este contexto. Es necesario mencionar que los equipos de cada sucursal no definen la localización ni la extensión de cada sección en el piso de venta. Esta tarea es realizada por el equipo de *Category*, dentro del departamento comercial.

Por regla general, la cantidad mínima de exhibición de cada producto es un insumo para los cálculos de abastecimiento realizados por el departamento de *Supply Chain* (abastecimiento). Sin embargo, el equipo de abastecimiento puede sugerir un aumento o disminución de este parámetro en función de ventas, tamaño del local y temporada, con el objetivo de evitar mantener inventario innecesario.

Por su parte, el departamento comercial gestiona los acuerdos con los proveedores donde se establecen diversos compromisos y obligaciones de las partes. En particular, los proveedores pueden abonar una suma que les garantice un cierto porcentaje del total de frentes de exhibición de una familia de productos. Este es un aspecto fundamental que tiene un impacto muy importante en la definición de los espacios de exhibición en el punto de venta. Asimismo, dicho departamento incluye un equipo que toma decisiones de alto nivel sobre las exhibiciones de cada categoría para todas las sucursales. Dicho equipo define la asignación de espacio para cada categoría con su respectivo tipo de estantería, que luego serán llenadas en función de acuerdos comerciales, del surtido activo y del conocimiento del equipo de operaciones de la sucursal.

#### **4.1.2. Consideraciones sobre la exhibición**

En este apartado se detallan algunas consideraciones que son esenciales a las exhibiciones en la cadena de supermercados estudiada. Luego de un relevamiento presencial exhaustivo y detallado, se identificaron dos aspectos que son comunes a las exhibiciones de todas las sucursales: el orden por formato de presentación y por marca.

El primero consiste en la noción de colocar productos de tamaño similar en estantes cercanos. Esto no implica estrictamente que dos productos de un formato diferente no puedan compartir un estante, pero parece ser respetado en la mayor parte de los casos. Con ese criterio en mente, los productos de mayor tamaño se ubican generalmente en los estantes bajos de la estantería. Mientras que los que productos más livianos se suelen ubicar en estantes superiores.

El segundo es el armado de las exhibiciones según bloques de marca de los productos. Para las marcas que tienen mayor presencia en la estantería, es notable como se suelen armar bloques, de izquierda a derecha, respetando la marca desde el primer estante al último con las distintas presentaciones y variedades de dicha marca. Luego, para el conjunto de productos de diferentes marcas que no tienen suficientes ventas para abarcar la totalidad de los estantes se forma un bloque que los incluye a todos y mantiene una presentación armónica a la vista. A continuación, se presentan ejemplos:



(a) Ejemplo de colocación de productos según formatos. Fotografía tomada por el equipo.



(b) Ejemplo de agrupación de productos de varias marcas. Fotografía tomada por el equipo.

Figura 2: Ejemplos de formas de exhibición en el punto de venta. Fotografías tomadas por el equipo.

En ambos casos, las imágenes están recortadas para evitar exponer detalles de la organización. De la Figura 2a, resulta evidente la colocación de los formatos más voluminosos en los estantes inferiores, y los productos más pequeños en los estantes superiores. A su vez, en la Figura 2b se enseña cómo se presenta el bloque de productos de varias marcas sin respetar estrictamente la fracción por cada una.

Estas imágenes representan las principales prácticas que son llevadas a cabo en la cadena de supermercados para exhibir la mercadería. Es claro que deben explorarse variantes y mejoras, pero es necesario relevar adecuadamente la realidad para que las soluciones propuestas vayan en línea con las prácticas de la organización. Este aspecto es especialmente importante, puesto que este tipo de restricciones pueden limitar la obtención de beneficios.

#### 4.2. Alcance del caso de estudio

El objetivo principal de este proyecto de grado es desarrollar una herramienta de aplicación práctica que ayude a la toma de decisiones de exhibición en los puntos de venta. La herramienta estará construida en base a un modelo matemático que optimice la cantidad a exhibir de cada artículo en función de su demanda, costo de inventario y reposiciones esperadas. Para ello, es clave lograr comprender y modelar la relación entre la demanda y el espacio asignado. Como resultado, se obtendrá un arreglo factible de productos en las estanterías, respetando reglas como mínimos de exhibición y acuerdos comerciales.

El proceso de modelado, parametrización y resolución del modelo no pretende emular la implementación de un sistema de gestión de depósitos (*WMS*). Esto significa que no será necesario contar con los datos exactos de las dimensiones de cada artículo a ubicar y la medida exacta de cada estantería dispuesta en el punto de venta. Se recabarán datos de la realidad a través de visitas, considerando, por ejemplo, el número de frentes que podrían ser dispuestos por estante. A su vez, algunos artículos serán considerados como del mismo tamaño, pese a que puedan existir mínimas variaciones (por ejemplo, botellas de vino de 75cL). Esta decisión es de suma importancia para alcanzar una solución replicable y útil en tiempos razonables. De requerir datos específicos de cada artículo, una adición o sustracción al surtido podría requerir ajustes del código que son complejos para el usuario objetivo de la herramienta.

Como objetivo específico del proyecto, se busca desarrollar una herramienta de esencia modular, soportando cambios en los espacios definidos para la exhibición de las distintas categorías de productos, que pueda ser aplicado a distintos tipos de productos con mínimas modificaciones; que sea aplicable por los analistas periódicamente para corregir desviaciones en las exhibiciones; y, por último, presentar una vista de los resultados de forma sencilla para su lectura, entendimiento y aplicación. Este punto es especialmente importante para que la herramienta tenga buena aceptación y adopción en la organización.

También será un objetivo específico comparar las soluciones obtenidas a través de la resolución del modelo con la realidad actual. Este punto es de interés por dos motivos: primero, si las soluciones son distintas, se podría estar identificando oportunidades de mejora sensibles para la organización; segundo, si la solución se asemeja a la realidad, es posible considerar que se logró sistematizar un proceso de toma de decisiones que hasta el momento era subjetivo.

Por otro lado, como parte del proyecto, se observarán distintos procesos dentro de la organización como la reposición de productos en las estanterías o la determinación de un flujo para el uso de la herramienta a desarrollar y comunicación de resoluciones. Interesa entender las metodologías de trabajo, para adaptar la herramienta a la organización y así minimizar fricciones a la hora de implementarla.

En último lugar, interesa poder implementar las recomendaciones en al menos un conjunto reducido de productos y evaluar los resultados. Este objetivo está sujeto a las posibilidades de la organización, sin poder asegurar su cumplimiento en los tiempos del proyecto.

#### **4.2.1. Metodología propuesta**

Inicialmente es necesario investigar la naturaleza del problema, las distintas variables que han sido estudiadas y enfoques para la resolución. A partir del relevamiento bibliográfico y de datos de la organización, se plantea una formulación matemática del problema. En esta etapa, se traduce la realidad observada a una función objetivo y restricciones. La función objetivo es utilizada para optimizar la asignación de espacios. Sin perjuicio de ello, los resultados obtenidos no representan exactamente los valores que puede esperar la organización.

Posteriormente, se implementa el modelo a través del uso de un *solver* especializado para un conjunto de datos. La determinación del conjunto de datos de prueba a utilizar será en función de la relevancia para la organización y de la conveniencia para la implementación. A modo de ejemplo, los productos de fiambrería que pueden ser fraccionados y cuentan con vencimientos cortos, no serán candidatos para la implementación del modelo. Esto mismo aplica para productos artesanales de producción propia o productos de corto vencimiento.

Con los resultados obtenidos, se plantea un análisis de sensibilidad sobre parámetros y datos de interés. La elección de los parámetros a analizar será en función de la relevancia que tienen para el modelo o el interés de la organización.

Finalmente, se desarrolla un formato de presentación de resultados para ser interpretados fácilmente. Además, para que el despliegue de la herramienta sea fácil de implementar y para evitar resistencias, se redactará un plan de implementación sugerido para la organización.

#### 4.2.2. Limitaciones y exclusiones

A continuación, se definen las limitaciones del presente proyecto y factores que no serán considerados en el desarrollo del modelo y análisis de los resultados.

En primer lugar, solo se trabaja sobre artículos de almacén y no productos frescos, de tecnología o bazar. Existen dos motivos para esta decisión: es el departamento que reporta más del 80 % del volumen de ventas; y, además, la forma de exhibición es más sencilla para los productos de almacén que en los otros productos. Por un lado, esta característica facilita la implementación, pero es también más relevante para la organización.

En segundo lugar, el surtido está definido y no es posible tomar decisiones del tipo exclusión de productos. El motivo es que el departamento de *Supply Chain* no toma decisiones sobre los artículos que deben o no estar incluidos en el surtido. No obstante, es posible implementar una variante del modelo que permita asignar espacio nulo para identificar posibles artículos a excluir del surtido como una recomendación para el departamento comercial.

En tercer lugar, el modelo no toma en cuenta la elasticidad de la demanda con el precio de venta. Por este motivo, no toma en cuenta promociones agresivas que decididamente aumentan la demanda. Del mismo modo, el modelo no incorpora espacios extra contratados como cabeceras de góndola o exhibidores. Este punto constituye una interesante línea de trabajo futuro. Los locales suelen contar con un espacio definido para colocar artículos que están en promoción. Por este motivo, cuando se llevan a cabo acciones comerciales, en general no se modifica el espacio asignado en su sección correspondiente de la tienda.

En línea con este último punto, para el proyecto solo serán considerados productos cuya demanda no se vea afectada significativamente en temporada. De este modo, se limita la selección posible de productos de forma que no sea necesario hacer consideraciones adicionales respecto a la demanda. Además, se tomarán los datos de demanda de 30 días corridos para la ejecución del modelo, para que sea posible absorber desviaciones puntuales.

En cuarto lugar, el modelo no incorpora una variación de la demanda en función de la altura de exhibición. En la literatura, este concepto es debatido y es posible identificar un incremento de ventas a través de la colocación de los productos a nivel de manos y ojos (Drèze et al. (1994)). En los puntos de venta visitados, los artículos de almacén suelen estar exhibidos de tal forma que el mismo artículo o uno de la misma marca abarcan desde el estante superior hasta el estante a nivel de suelo. Por ello, no sería una suposición demasiado rígida. Pero también cabe destacar que en caso de querer tomar este punto en cuenta, los datos disponibles ya están afectados por la altura de exhibición actual. Esto implica que las constantes determinadas estarían condicionadas a las posiciones donde se encontraban estos productos originalmente y sería necesario descontar ese efecto.

En quinto lugar, no se toma en cuenta la elasticidad cruzada entre los artículos. Esta suposición se sostiene en dos fundamentos. El primero es que múltiples estudios relevados establecen que los efectos de la elasticidad cruzada son de una magnitud mucho menor a la elasticidad directa de cada producto. El segundo es que de dicho parámetro es extremadamente variable para cualquier par de productos y corresponde ser analizado al detalle en cada caso para ser considerada. Por estos dos motivos se decide dejarla por fuera del alcance del proyecto.

En último lugar, no se extiende el modelo a las existencias en el almacén de las tiendas. Es decir, se considera que se cuenta con *stock* infinito en la tienda para reponer siempre que sea

necesario. Esta simplificación es parcialmente realista, dado que el nivel de existencias entre la exhibición y en el almacén de la tienda es en general suficiente para cubrir la demanda entre dos períodos de abastecimiento desde el depósito. Sin embargo, en ocasiones no se abastece lo suficiente o existe un incremento repentino de la demanda que puede generar un quiebre de *stock*. Este punto es particularmente importante debido a que las reposiciones necesarias se calculan en función del espacio asignado y, en consecuencia, de la demanda esperada. Es claro que dichas reposiciones no serían llevadas a cabo si la mercadería no se encuentra disponible en el punto de venta.

## 5. Modelado matemático

El modelo matemático planteado permite definir de manera sistemática la disposición de mercadería en las estanterías. Para lograr esto se busca maximizar el beneficio, considerando el precio de venta, el costo unitario, costo de reposiciones y costo de inventario. A su vez, el sistema considera el espacio disponible como principal limitante física, además de las restricciones comerciales, estratégicas y operativas que presenta la organización.

### 5.1. Conjuntos

- $I$  = Conjunto de productos,  $i$
- $F(i)$  = Conjunto de formatos,  $j$ , determinados por cada producto  $i$
- $M(i)$  = Conjunto de marcas,  $m$ , determinadas por los productos
- $S$  = Conjunto de estantes,  $s$
- $X$  = Conjunto de posiciones<sup>1</sup> totales en un estante,  $x$
- $K$  = Conjunto de *facings* totales en la estantería,  $k$
- $W$  = Conjunto de posiciones auxiliares que define unicidad de cantidad expuesta en cada estante,  $w$

### 5.2. Variables

- $\delta_{i,x,s}^1 = \begin{cases} 1 & \text{si para el producto } i, \text{ se exponen } x \text{ posiciones en el estante } s \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$
- $\delta_{i,k}^2 = \begin{cases} 1 & \text{si para el producto } i, \text{ se exponen } k \text{ facings en la estantería} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$
- $\delta_{i,w}^3 = \begin{cases} 1 & \text{si para el producto } i, \text{ la cantidad posiciones a exponer en los} \\ & \text{estantes donde estará presente es } w \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$
- $R$  = cantidad de reposiciones
- $f_{s,m,j} = \begin{cases} 1 & \text{si para la marca } m, \text{ el formato } j, \text{ se exponen en la estantería } s \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$
- $\lambda_m$  = fracción de la estantería asignado a la marca  $m$

### 5.3. Parámetros

- $M_i$  = Margen de ganancia para el producto  $i$
- $CInv_i$  = Costo de inventario para el producto  $i$
- $CRep$  = Costo de realizar la reposición de una estantería
- $E$  = Cantidad de estanterías disponibles
- $p_i$  = Profundidad de productos detrás del *facing* para el producto  $i$
- $h_i$  = Cantidad apilable de productos sobre el *facing* para el producto  $i$

---

<sup>1</sup>La notación posición hace referencia al espacio ocupado de un estante por una unidad de producto, no contemplando la posibilidad de ser apilable.

- $d_i$  = Fracción del estante que ocupa un *facing* del producto  $i$
- $\alpha_i$  = Factor de ajuste de la demanda del producto  $i$
- $\beta$  = Factor de elasticidad de la demanda
- $S_{max}$  = Cantidad de estantes
- $K_{min}$  = Cantidad mínima de *facings*
- $K_{max}$  = Cantidad máxima de *facings*
- $P_m$  = Porcentaje acordado de *facings* de la marca  $m$
- $\gamma$  = Porcentaje umbral que define el máximo de la cantidad exhibida que podrá venderse para mantener condiciones aceptables de exhibición. Por encima de este valor se deberá ejecutar una reposición.
- $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  = Parámetro de flexibilidad

#### 5.4. Modelo matemático

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \delta_{i,k}^2 (M_i \cdot \alpha_i \cdot k^\beta - p_i \cdot h_i \cdot k \cdot CInv_i) - R \cdot CRep \cdot E \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{x \in X} \sum_{s \in S} \delta_{i,x,s}^1 \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{x \in X} \delta_{i,x,s}^1 \leq 1, \quad \forall i \in I, s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \delta_{i,k}^2 = 1, \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{w \in W} \delta_{i,w}^3 = 1, \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\delta_{i,x,s}^1 \leq \delta_{i,x}^3, \quad \forall i \in I, x \in X, s \in S \quad (6)$$

$$\sum_{x \in X} \sum_{s \in S} \delta_{i,x,s}^1 \cdot h_i \cdot x = \sum_{k \in K} \delta_{i,k}^2 \cdot k, \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$K_{min} \leq \sum_{k \in K} \delta_{i,k}^2 \cdot k \leq K_{max}, \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{i \in I} \sum_{x \in X} \delta_{i,x,s}^1 \cdot d_i \cdot x_i \leq S_{max} \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{x \in X} \delta_{i,x,s}^1 \cdot d_i \cdot x_i \leq 1 + \theta_1 \quad \forall s \in S \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} f_{s,m,j} = 1, \quad \forall s \in S, m \in M(i), j \in F(i) \quad (11)$$

$$\sum_{s \in S} \delta_{i,x,s}^1 \leq \sum_{s \in S} f_{s,m,j}, \quad \forall i \in I, x \in X, m \in M(i), j \in F(i) \quad (12)$$

$$\sum_{x \in X} \delta_{i,x,s}^1 \leq f_{s,m,j}, \quad \forall i \in I, s \in S, m \in M(i), j \in F(i) \quad (13)$$

$$\lambda_m \geq P_m \quad \forall m \in M(i) \quad (14)$$

$$\sum_{m \in M} \lambda_m \leq 1 + \theta_1 \quad (15)$$

$$\lambda_m \cdot (1 - \theta_2) \leq \sum_{i \in I} \sum_{x \in X} \delta_{i,x,s}^1 \cdot x \cdot d_i \leq \lambda_m \cdot (1 + \theta_3) \quad \forall s \in S, m \in M(i) \quad (16)$$

$$\frac{\alpha_i \cdot (\sum_{x \in X} \sum_{s \in S} \delta_{i,x,s}^1 \cdot h_i \cdot x_i)^{\beta_i}}{\gamma(p_i \sum_{x \in X} \sum_{s \in S} \delta_{i,x,s}^1 \cdot h_i \cdot x_i)} \leq R \quad \forall i \in I \quad (17)$$

$$X, K, W \in \mathbb{Z}^{nonneg} \cap [K_{min}, K_{max}] \quad (18)$$

$$S \in \mathbb{Z}^{nonneg} \cap [1, S_{max}] \quad (19)$$

$$\delta_{i,x,s}^1, \delta_{i,k}^2, \delta_{i,w}^3, f_{s,m,j} \in \{0, 1\} \quad (20)$$

$$R \in \mathbb{Z}^{nonneg} \quad (21)$$

$$\lambda_m \in \mathbb{R} \cap [0, 1] \quad \forall m \in M \quad (22)$$

## 5.5. Componentes del modelo

En la siguiente tabla se enumeran los componentes de las secciones 5.5 y se detalla su rol en el modelo.

Componente	Descripción
1	Función objetivo, busca maximizar beneficios a través de buscar la combinación de cantidad expuesta de cada uno de los productos $i$ que componen el surtido de una estantería. Esto se logra ponderando la ganancia generada por las ventas y los costos de inventario y reposición.

Componente	Descripción
2	Conjunto de restricciones que define que todos los productos $i$ del surtido deben estar en al menos uno de los estantes $s$ . Esta restricción obliga al modelo a que todos los productos $i$ del surtido estén expuestos.
3	Conjunto de restricciones que define que en cualquier estante $s$ todos los productos $i$ pueden estar o no y, en caso de estar, la configuración de ese estante es única. Esta restricción obliga al modelo a que en cada estante $s$ defina una única cantidad $x$ de posiciones para cada producto $i$ o que no exponga ninguno.
4	Conjunto de restricciones que define que todos los productos $i$ están expuestos y la cantidad de posiciones $k$ en toda la estantería es única. Esta restricción obliga al modelo a que en toda la estantería defina una única cantidad $k$ de posiciones para cada producto $i$ .
5	Conjunto de restricciones que define que en cualquier estante $s$ donde se vaya a exponer el producto $i$ , la cantidad de posiciones $x$ que se expone debe ser igual a $w$ y este valor es único para cada producto $i$ . Esta restricción define la única cantidad posible que se puede exponer de un producto $i$ en un estante $s$ , siempre y cuando el modelo indique que el producto $i$ va a ser expuesto en el estante $s$ .
6	Conjunto de restricciones, define que en cualquier estante $s$ , si un producto $i$ es expuesto, solo debe exponer $w$ posiciones. Esta restricción en conjunto con la anterior obliga al modelo a que en todos los estantes $s$ donde se expone un producto, la cantidad de posiciones sea siempre la misma. De este modo, se logra que la exhibición que define el modelo para cada artículo sea en bloques. Esta forma de exhibir es común en cadenas de supermercados y es la utilizada por la organización.
7	Conjunto de restricciones que define que para todos los productos $i$ la cantidad de <i>facings</i> $k \cdot h_i$ expuestos en la estantería es igual a la suma de los <i>facings</i> $x \cdot h_i$ expuestos en todos los estantes $s$ . Esta restricción define que para un producto $i$ la cantidad de <i>facings</i> $k \cdot h_i$ que se definen para toda la estantería es igual a la suma de las cantidades de <i>facings</i> $x \cdot h_i$ , que se definen para cada estante en el que se vaya a exponer el producto $i$ .
8	Conjunto de restricciones que define que la cantidad de <i>facings</i> totales $k$ en la estantería están acotadas por los parámetros $K_{min}$ y $K_{max}$ . Esta restricción acota la cantidad de <i>facings</i> que se pueden exponer en toda la estantería por un parámetro $K_{max}$ , ni estar por debajo de $K_{min}$ .
9	Conjunto de restricciones que define que todas las posiciones $k$ de todos los productos $i$ expuestos en la estantería no pueden superar el espacio disponible en la misma. Esta restricción define la cantidad de productos $i$ expuestos en toda la estantería, no puede ocupar un espacio mayor al disponible en la estantería.

Componente	Descripción
10	Conjunto de restricciones que define que todas las posiciones $x$ de todos los productos $i$ expuestos en cualquier estante $s$ no pueden exceder el 100% por más de una constante $\theta_1$ .
11	Conjunto de restricciones que define que para cada estante $s$ y cada marca $m$ se tiene un único formato $j$ de productos asignado. Esto implica que en un estante $s$ y en una fracción de este asignada a una marca $m$ , solo se puede colocar productos de un determinado formato $j$ y no otro
12	Conjunto de restricciones que define que si un producto $i$ con un determinado formato $j$ y cualquier cantidad de posiciones $x$ en un estante va a ser expuesta en cierta cantidad de estantes $s$ , esa cantidad va a estar en al menos un estante $s$ de los estantes asignados a ese formato $j$ y hasta en la totalidad de estos.
13	Conjunto de restricciones que define que un producto $i$ de una marca $m$ con un determinado formato $j$ solo se puede exponer en un estante $s$ si ese estante $s$ , en la fracción asignada a la marca $m$ va a ser utilizado para el formato $j$ de ese producto $i$ .
14	Conjunto de restricciones comercial que define que la fracción marca asignada $\lambda_m$ para una marca $m$ , en caso de existir un acuerdo comercial, debe ser mayor que el parámetro $P_m$ definido para dicha marca $m$ .
15	Restricción que define que la suma de todas las fracciones $\lambda_m$ para todas las marcas $m$ a exponer en la estantería no pueden exceder el 100% por más de una constante $\theta_1$ .
16	Conjunto de restricciones que define el espacio ocupado por todos los productos $i$ de determinada marca $m$ , debe ocupar un espacio entre $\lambda_m \cdot (1 - \theta_2)$ y $\lambda_m \cdot (1 + \theta_3)$ . Los parámetros $\theta_2$ y $\theta_3$ son determinados caso a caso, dependiendo de las fracciones ocupadas por los productos de la familia analizada.
17	Conjunto de restricciones que define que la variable $R$ (cantidad de reposiciones) es mayor o igual al cociente entre la demanda dada por los <i>facings</i> $x \cdot h_i$ asignados y el producto $i$ entre el umbral $\gamma$ y la cantidad de unidades expuestas de cada uno de los productos. Dado que el modelo penaliza el valor de $R$ elegido por el modelo, este busca que su valor sea mínimo. Para el cumplimiento de la restricción, el modelo define $R$ como el máximo de los $R$ de todos los productos. En la práctica, este término fija que la cantidad de reposiciones en la sección analizada sean tantas como el producto que más reposiciones requiera. Se asume que al reponer la sección se están reponiendo todos los productos de esta que puedan estar faltando.
18	Conjunto de restricciones de integridad que define que los conjuntos $X$ , $K$ y $W$ , son iguales a el conjunto de los números enteros no negativos comprendidos entre $K_{\min}$ y $K_{\max}$ .

Componente	Descripción
19	Conjunto de restricciones de integridad que define que el parámetro $S$ va desde 1 hasta $S_{\max}$ .
20	Conjunto de restricciones de integridad que define que las tres variables $\delta$ y la variable $f$ son binarias.
21	Conjunto de restricciones de integridad que define que la variable $R$ pertenece al conjunto de los números enteros no negativos.
22	Conjunto de restricciones de integridad que define que la variable $\lambda_m$ es un número real perteneciente al intervalo entre cero y uno.

Tabla 4: Definición de componentes del modelo matemático propuesto. Elaboración propia.

## 5.6. Contexto y desarrollo del modelo

El objetivo de esta sección es brindar contexto sobre el desarrollo del modelo matemático, sus versiones previas, qué consideraciones fueron necesarias para llegar al resultado final y lograr explicar en lenguaje natural el funcionamiento de este.

### 5.6.1. Consideraciones previas

Antes de comenzar con la explicación del modelo, es importante mencionar las consideraciones que se tomaron en cuenta para reducir la complejidad de resolución. Uno de los factores más relevantes en este proyecto es estudiar el comportamiento elástico de la demanda al variar el número de frentes en exhibición, para esto utilizó el modelo de demanda exponencial sublineal.

$$d = \alpha \cdot f^\beta \quad (23)$$

Donde:

- $d$ : demanda
- $\alpha$ : coeficiente constante
- $f$ : cantidad de *facings*
- $\beta$ : coeficiente constante

Partiendo de una demanda base y de una cantidad de frentes en exposición previos a la aplicación del modelo y definiendo a la constante exponencial con la información recavada en el metaanálisis estudiado previamente ( $\beta = 0, 2$ ), es posible determinar los coeficientes  $\alpha$  para cada uno de los productos.

Dada esta demanda base para un cierto número de *facings*, la demanda esperada puede calcularse para cada cantidad de frentes según la ecuación 23 y almacenarse en una matriz. De este modo no es necesario calcularla en cada iteración. Cabe recordar que, por directiva de la organización, el número máximo de *facings* permitidos para un producto está determinado para cada categoría. Para asegurar que siempre haya exposición de los productos del surtido, el mínimo definido es de uno.

De manera similar, se calculan las reposiciones esperadas a partir de la cantidad de *facings* asignados, una profundidad dada y el umbral de reposición definido. El umbral se definió en 20 % en acuerdo con la organización para la resolución del modelo. Al igual que con la demanda, se almacenan estos valores en una matriz. De acuerdo con la configuración de frentes elegida por el modelo, se determina el producto que debe ser repuesto con mayor frecuencia. Considerando que cuando se repone dicho producto se restablece la estantería a su estado de 100 % de ocupación, podemos asumir que la estantería será reabastecida tantas veces como el producto que requiera reposiciones más frecuentes. Esto responde a una realidad constatada: cuando el reponedor detecta un faltante en una estantería, registra otros artículos que podrían necesitar un refuerzo en su exhibición. Luego se dirige al depósito y recoge las unidades necesarias de todos los artículos para hacer la reposición.

### **5.6.2. Descripción del modelo**

En esta sección se detalla en lenguaje natural la versión final del modelo, de forma tal que la comprensión de este sea más accesible.

El objetivo principal del modelo es hallar la combinación de *facings* que permita maximizar los beneficios para la organización, considerando, la elasticidad de la demanda, el costo de inventario de la exhibición y los costos de reposición.

Si bien la psicología detrás del consumo escapa del alcance de este proyecto, es importante considerar la forma que tiene el despliegue de los productos en la estantería. Debe existir un orden de manera que el cliente pueda encontrar una manera amigable de recorrer el surtido que se está exponiendo. La falta de orden puede tener consecuencias negativas en la percepción del consumidor y por consecuente, perjudicar la operación. Además, también es importante tener en cuenta las definiciones estratégicas que define la organización para ordenar mercadería, como se define en la Sección 4.1.2. Estos dos puntos, son importantes para que la herramienta a ser desarrollada resulte útil y aplicable en la toma de decisiones. Considerando estos lineamientos, se realizan ciertas definiciones sobre el funcionamiento del el modelo y estas a modo de ejemplo, se ilustran en la siguiente figura:



Figura 3: Ejemplo de una estantería optimizada. Elaboración propia.

En la Figura 3 se puede observar un ejemplo ficticio de una estantería optimizada por el modelo. Se cuenta con dos fracciones que constituyen el total de la estantería, una para cada una de las dos marcas que componen a la familia de productos considerada. Una parte considerable de la complejidad del modelo recae en la creación de variables y restricciones que permitan modelar dicho comportamiento.

En primer lugar, el modelo define la fracción ocupada por cada marca. Esta fracción establece que solamente se podrán colocar en cada estante una combinación de productos cuya fracción sumada no supere la fracción definida para la marca. Por el otro extremo, no se permite dejar espacios libres más allá de una tolerancia permitida. Estos dos puntos son claves, puesto que de ello depende el poder ordenar el arreglo resultante de productos en la estantería según los criterios de la organización.

Una observación respecto de la fracción ocupada por marca es que al forzar que la suma de las fracciones de las marcas fuera exactamente igual a uno, en la mayoría de los casos, se generaba una solución no factible. Esto se debe a la naturaleza discreta del tamaño de los productos. Para abordar este problema, se decidió relajar la restricción permitiendo que la suma de las fracciones de las marcas supere levemente el espacio disponible o pueda no ocupar la totalidad de este. Esta relajación se puede aplicar en la práctica ajustando la disposición de los productos para ocupar todo el espacio disponible.

A partir de la fracción definida para cada marca es que se verifica el cumplimiento de los acuerdos comerciales. El modelo asegura que la fracción definida para una marca sea mayor o igual a la fracción acordada por el proveedor en el acuerdo comercial. Esta característica del modelo es especialmente útil para la operación, dado que se aseguran de que el planograma resultante cumple con los acuerdos comerciales vigentes de cada proveedor.

Finalmente, el modelo coloca en cada estante productos del mismo formato para cada marca.

Esto permite, por un lado, que para cada marca se mantenga la coherencia visual, donde solamente hay productos de un formato por estante de dicha marca. Por otro lado, permite que, en el mismo estante, para otra marca, se puedan colocar otro tipo de productos. Este aspecto permite mayor libertad al modelo para la asignación de espacios y productos, puesto que no está forzado a definir un formato para todo el estante. A su vez, algunas marcas que no cuentan con algún formato en particular no generan no factibilidad para el problema. Al no contar con un formato de presentación la marca debía dejar el espacio vacío en un estante donde estaba definido en su totalidad ese formato, algo que no es viable en la práctica.

Dadas las restricciones mencionadas, el modelo devuelve una solución donde están definidas la cantidad de *facings* a exponer de cada producto y en qué estantes serán expuestos. Además, genera un archivo que sirve como base para elaborar el planograma, detallado en la siguiente sección.

### 5.6.3. Planograma de la estantería

Para generar una representación visual del planograma de la estantería, se creó un *script* que grafica la ocupación de los estantes. Dicho código toma como insumo los datos de la solución del modelo y genera una gráfica de la ocupación de cada estante diferenciando las marcas por color. Por momentos se mantuvo esta componente dentro del modelo, dada la facilidad de implementación en *Python*. Sin embargo, se optó por quitarlo del código principal, para evitar tener que esperar la resolución completa del modelo para obtener la representación. De esta manera, es posible ejecutar el código auxiliar tantas veces como sea necesario, de forma casi instantánea.

### 5.6.4. Modelos previos

En esta sección se detalla como el modelo fue incorporando nuevas funcionalidades de manera incremental. El proceso iterativo fue fundamental para ganar conocimiento sobre la forma de resolución, a la vez que permitió capturar una mejor interpretación de la realidad paso a paso. Esta forma de trabajo permitió entender las limitaciones de cada versión y entender que aspectos debían ser mejorados.

El primer modelo desarrollado era el más sencillo: maximizar la función objetivo en función del espacio total, considerando un máximo y mínimo de frentes por producto. Este modelo no tenía restricciones para las reposiciones, el espacio de cada estante, los acuerdos comerciales ni para asegurar el posterior ordenamiento de la mercadería en las estanterías. El desarrollo de este modelo permitió comprender mejor las herramientas con las que se estaba trabajando para poder continuar a la siguiente iteración.

La segunda versión introdujo dos conceptos importantes. En primer lugar, se definen los estantes que conforman la estantería. Esto permite agregar restricciones sobre la capacidad de los estantes, y asegurando que la suma de la ocupación de estos no exceda la capacidad total de la estantería. En segundo lugar, se agrega el concepto de formato de presentación por estante. Esto implica que cada estante tiene definido un formato, y solamente se pueden colocar productos de dicho formato en ese estante. La adición de formato de presentación al modelo es el primer acercamiento de orden que tiene el modelo.

En esta versión se incorporan dos cambios importantes producto de las posibilidades que brinda el formato de cada producto. En primer cambio fue la incorporación de la variable binaria  $\delta_{i,w}^3$ , que define la cantidad de *facings* a ubicar por estante de cada producto. Dado que esta variable puede valer uno solamente para una cantidad de frentes, se logra que cada producto tenga la misma cantidad de frentes en todos los estantes donde está exhibido. El segundo cambio fue

agregar una restricción para que la cantidad de estantes donde se exhibe el producto sea menor o igual a la cantidad de estantes con el formato asignado de dicho producto.

Hasta este punto, el modelo ofrecía resultados aceptables para familias pequeñas en cantidad de artículos. Sin embargo, al realizar pruebas en familias como alfajores, el modelo ofrecía soluciones imposibles de exhibir en la práctica siguiendo los lineamientos de presentación.

Es entonces que se desarrolla la versión final del modelo. Uno de los principales problemas era que algunos formatos de presentación no eran comercializados por todas las marcas. Por este motivo, el modelo completaba algunos estantes siempre con las mismas marcas, pero luego no era posible generar un planograma donde la exhibición fuera coherente con las prácticas de la organización.

La versión final del modelo incorpora la variable fracción ocupada por marca. De este modo el modelo debe definir una fracción entre cero y uno que le asignará a una marca, y luego, asignar productos de cada marca de forma tal que no se supere la fracción asignada, ni se permitan espacios vacíos (con cierta tolerancia). Una interpretación de este cambio es considerar que se fragmenta la estantería a partir de cortes verticales, obteniendo estanterías más pequeñas, que deberán ser llenadas con una sola marca de productos. En dichas estanterías pequeñas se mantiene la noción de formatos de presentación únicos por estante. Pero a nivel total de la estantería considerada es posible que en el mismo estante coexistan formatos diferentes, en la medida en que estos sean de marcas diferentes.

A partir de las definiciones y adiciones hasta este modelo, se tiene que cada producto se exhibe en bloques, dado que la cantidad de *facings* por estante de cada producto es fija; pero además se tiene que la marca también forma un bloque rectangular a menos de una tolerancia. También, a partir de la definición de fracción marca, es aún más fácil restringir los acuerdos comerciales. La restricción resultante implica que la fracción ocupada por la marca debe ser mayor o igual a la fracción acordada en el acuerdo comercial.

Las iteraciones previamente descritas permitieron alcanzar el modelo final utilizado para la obtención de resultados de este proyecto. Una importante ventaja de esta metodología de trabajo es la posibilidad de continuar agregando restricciones, variables y parámetros para capturar otros aspectos de la realidad. A su vez, es posible realizar cambios en las restricciones ya existentes para permitir otros tipos de arreglos o combinaciones que persigan otros objetivos.

## 5.7. Validación del modelo

El objetivo de esta sección es definir casos de prueba sencillos y analizar el resultado del modelo para determinar la validez de este. Los casos de prueba serán conjuntos de datos para los que se espera una solución intuitiva y se compara esta solución con el resultado del modelo. La definición de casos de prueba será suficientemente amplia para evaluar los aspectos funcionales del modelo. Por otro lado, también interesa corroborar que se respetan las restricciones del modelo. Para lo que se utilizará un conjunto reducido de datos como los que luego serán usados en implementación, pero con el objetivo de verificar el cumplimiento de dichas restricciones.

Los datos de entrada de los casos de validación, así como los resultados de las implementaciones y los arreglos de la estantería se detallan en Anexo A.

Prueba N°	Descripción del caso
1	<b>Espacio insuficiente:</b> Un único producto (no apilable) que cuenta con una estantería con solo un estante, dicho estante tiene una capacidad inferior a la cantidad máxima de <i>facings</i> . Dado que la demanda aumenta a la par que el número de <i>facings</i> , se espera que el modelo ocupe todo el estante para maximizar ingresos.
2	<b>Asignación a estantes:</b> Un único producto (no apilable) que cuenta con una estantería con dos estantes, dicho estante tiene una capacidad inferior a la cantidad máxima de <i>facings</i> , pero mayor a la mitad de la cantidad máxima de <i>facings</i> . Análogamente a el caso anterior, se espera que coloque la mayor cantidad de <i>facings</i> posibles.
3	<b>Producto estrella:</b> Varios productos (no apilables) con distintas demandas y márgenes. Se cuenta con un “producto estrella” en el surtido que cuenta demanda y margen mucho mayor a el resto. El espacio de exhibición es acotado, se espera que el modelo maximice la exposición del producto estrella y complete el resto en función de los parámetros de los demás productos, buscando maximizar la rentabilidad de estos.
4	<b>Márgenes negativos:</b> Se asigna un margen negativo a todos los productos (no apilables). Se espera que el modelo asigne el mínimo número posible de <i>facings</i> y deje espacio vacío en la estantería para evitar pérdidas.
5	<b>Productos equivalentes:</b> El surtido cuenta con varios productos (no apilables), los cuales cuentan todos con el mismo margen y demanda, además de tener las mismas características físicas. La mitad de los productos son de una marca y la otra mitad de otra. Se espera que el distribuya el espacio de exposición de manera equitativa.
6	<b>Estantes con un único formato:</b> El surtido consta de dos productos (no apilables) de la misma marca con distinto formato y el espacio de exposición disponible es un único estante. Se espera que, al respetar la unicidad de formato por marca, el modelo no encuentre solución factible.
7	<b>Asignación de formatos a estantes:</b> El surtido consta de cinco productos (no apilables), dos posibles marcas y tres posibles formatos. Se espera que el modelo separe la estantería en dos bloques, uno para cada marca, dentro del bloque de cada marca, se debe respetar la unicidad del formato del estante.

Prueba N°	Descripción del caso
8	<b>Acuerdos comerciales:</b> Se cuenta con un surtido con distintos productos (no apilables), entre los que un producto de una determinada marca tiene una demanda y margen bajo comparado con el resto del surtido, pero cuenta con un acuerdo comercial que impone un mínimo de 25 % de espacio en estantería. Se espera que el modelo asigne el número mínimo de <i>facings</i> necesarios para cumplir con los acuerdos comerciales y luego distribuya el resto del espacio disponible en la estantería para maximizar los ingresos.
9	<b>Acuerdos comerciales no factibles:</b> Dentro del surtido, se encuentra un acuerdo comercial que impone una cantidad mínima de <i>facings</i> de un producto mayor a la cantidad máxima de <i>facings</i> . Se espera que el modelo informe que no encuentre ninguna solución factible.
10	<b>Costo de inventario elevado:</b> El surtido cuenta con distintos productos (no apilables), todos con costos de inventario altos y costo de reposición nulos. Se espera que el modelo asigne un solo <i>facing</i> por producto, minimizando el inventario en exhibición.
11	<b>Costo de reposiciones elevado:</b> El surtido cuenta con distintos productos (no apilables), en particular un producto tiene una demanda mucho mayor al resto, pero un margen muy inferior. Por otra parte, el costo de reponer es muy alto. Se espera que el modelo asigne el máximo número de <i>facings</i> del producto de alta demanda y complete la estantería con el resto de los productos.
12	<b>Apilabilidad de productos:</b> Un único que es apilable (dos unidades por posición) producto que cuenta con una estantería con solo un estante, dicho estante tiene una capacidad inferior a la cantidad máxima de <i>facings</i> , pero mayor a la mitad de la cantidad máxima de <i>facings</i> . Se espera que el modelo coloque la cantidad máxima de <i>facings</i> posible, aprovechando la capacidad de apilar productos, dejando parte de la estantería ociosa.
13	<b>Fracción del estante ocupado:</b> El surtido cuenta con dos productos (no apilables), del mismo formato y un único estante. Cualquiera de los dos productos ocupa más de la mitad del estante. Se espera que el modelo no encuentre ninguna solución factible.

Tabla 5: Resumen de las pruebas de validación. Elaboración Propia

Luego de la ejecución de cada uno de los casos de validación se efectuaron los cambios necesarios a través de iteraciones para llegar a la versión final del modelo. De este modo, fue posible alcanzar un resultado que cumple con las validaciones necesarias para asegurar el correcto funcionamiento.

## 6. Implementación del modelo

En esta sección se detallan algunas consideraciones importantes para la implementación del modelo matemático con el *solver* elegido. A su vez, se describe el proceso y las decisiones tomadas para obtener los datos de los casos de estudio.

### 6.1. Selección de los casos de estudio

Para implementar el modelo, fue necesario realizar un profundo relevamiento de datos e información. A modo de resumen, se visitaron distintas sucursales para entender la lógica de la exhibición de los distintos productos; se consultó con referentes del departamento de *Supply Chain* de la organización acerca de la forma de trabajo en la operación; se reunió información sobre las tareas en la operación de las sucursales y material fotográfico sobre las exhibiciones actuales; y, por último, se definieron las bases de datos desde dónde reunir la información necesaria para la implementación del modelo.

Como se mencionó en el marco teórico, una práctica fundamental para una cadena de supermercados es la gestión por categorías. En este contexto, la organización donde se realiza este proyecto tiene definidas las secciones, categorías, subcategorías y familias que estructuran el surtido de productos.

Dadas las numerosas opciones para trabajar y la imposibilidad de abarcarlas todas, fue necesario definir familias de productos para extraer datos e implementar el modelo. La definición de las categorías a analizar se alcanzó en función de los siguientes criterios:

- **Casos de interés para la organización:** La organización tenía casos de interés donde aplicar el modelo. Principalmente, subcategorías o familias de artículos donde la exhibición de productos es comparable a las ventas en un período de 30 días. Estos casos se pueden ver beneficiados por los resultados del modelo, exhibiendo más de aquello que se vende y reduciendo la presencia de artículos con menor venta.
- **Muestra representativa:** lograr elegir una cantidad abaricable de casos puntuales, pero que sean lo suficientemente diferentes para poder generalizar a la mayoría de familias dentro del surtido donde luego podría utilizarse el modelo. Algunos factores que se consideraron fueron: la cantidad de artículos en la exhibición de dicha subcategoría o familia, cantidad de estanterías destinadas a la exhibición, el volumen de ventas, la variedad de secciones (limpieza, comestibles, entre otros), variedad de marcas, existencia de acuerdos comerciales para exhibición, los costos de los productos y márgenes de contribución.

#### 6.1.1. Selección de productos

Para seleccionar los productos a analizar, se identificó la estabilidad de la demanda como un factor esencial a considerar antes de la implementación del modelo, como fue descrito en la Sección 4.2.2. En efecto, los productos estacionales en general son gestionados de manera diferente en el punto de venta, aumentando la exhibición en los períodos de interés, factor que dificulta el análisis. Resulta complejo poder estudiar ambos factores por separado y definir en qué porcentaje el aumento es por el aumento de la exhibición y en qué porcentaje por la temporada. Por lo tanto, se eligió trabajar sobre categorías con una demanda relativamente estable a lo largo del tiempo.

La elección de los casos de estudio fue la siguiente:

- **Aguas cloradas:** producto de limpieza con una variedad reducida (menor a 20 artículos) y, en general, una exhibición moderada en todas las sucursales. Es un caso relativamente sencillo y replicable en otras categorías, lo que hace que el caso sea interesante. En general,

son artículos no apilables con distintos tamaños y un número reducido de marcas. Los tamaños de los productos son prácticamente iguales para productos de mismo formato.

- **Alfajores:** comestible de impulso con gran variedad de artículos (más de 70 artículos) y presentaciones. Es apilable y modular en tamaño, puesto que la fracción de ocupación del estante es similar para todos los alfajores que se venden de forma individual o en cajas. Al tener tantos *SKUs* y presencia de acuerdos comerciales, resulta una categoría desafiante para modelar y también para el trabajo del jefe de piso que, hoy en día, debe tomar una decisión basándose en empirismos.
- **Jabones líquidos de ropa:** productos con acuerdos comerciales con altos porcentajes de exhibición. La variedad es moderada (alrededor de 30 artículos) dentro de esta familia. Sin embargo, existen cuatro tamaños sensiblemente diferentes que agregan complejidad a la resolución. Son productos no apilables y con alto costo de adquisición y precio de venta, por lo que interesa no mantener existencias excesivas de productos de baja rotación.

Es importante definir el tratamiento y la determinación de las marcas de cada producto. Para el modelo, cada producto pertenece a una marca y esta es parte de los datos de entrada del mismo. Como parte de los resultados, cada marca obtiene una fracción del total del espacio disponible donde se podrán exhibir sus productos. Esto implica que para dicha fracción, se ubicarán productos de la marca desde el estante inferior al superior. Si una marca tiene escasos productos, modelarla individualmente puede forzar al modelo a sobreexhibir la mercadería, dado que debe ocupar su fracción. Por este motivo, es conveniente agrupar bajo la marca “Otros.<sup>a</sup> aquellos productos que en el punto de venta tienen una presencia mínima, en algunos estantes solamente y con pocas unidades. Este aspecto es ejemplificado en la Figura 2b. Por otro lado, aquellas marcas que en la realidad ocupan estanterías completas o gran parte de ellas, serán consideradas como marcas individuales. A se vez, aquellas marcas que tengan vigente un acuerdo comercial también serán modeladas de forma individual para asegurar su cumplimiento.

### 6.1.2. Selección de sucursales

Con el objetivo de conocer si en algún contexto específico el modelo obtiene resultados sensiblemente diferentes, se optó por recabar datos de diferentes tipos de sucursales para realizar las pruebas del modelo.

Como criterio de distinción y para lograr controlar sesgos asociados al tamaño de la sucursal, su público objetivo, la ubicación o características físicas, se optó por una clasificación en sucursales pequeñas, medianas y grandes.

La clasificación por tamaño reúne varios aspectos del punto de venta. Como fue descrito previamente, las sucursales más pequeñas cuentan con un surtido reducido, apuntan a un público diferente al de las grandes superficies y una compra promedio de monto menor. Para el caso de las sucursales grandes, aplica el escenario inverso, cuentan con surtidos más amplios, el público dedica más tiempo a la compra y, por ende, las compras promedio son por un monto más elevado. Estos dos extremos describen un espectro donde se ubican las sucursales de tamaño mediano.

Previo a la selección final, se decidió seleccionar sucursales ubicadas en el área metropolitana de Montevideo. Esta decisión se tomó con el fin de minimizar el impacto de los incrementos repentinos de demanda estacionales que se generan en temporada de verano y cuyos datos deberían ser considerados aparte como fue mencionado en la sección 4.2.2.

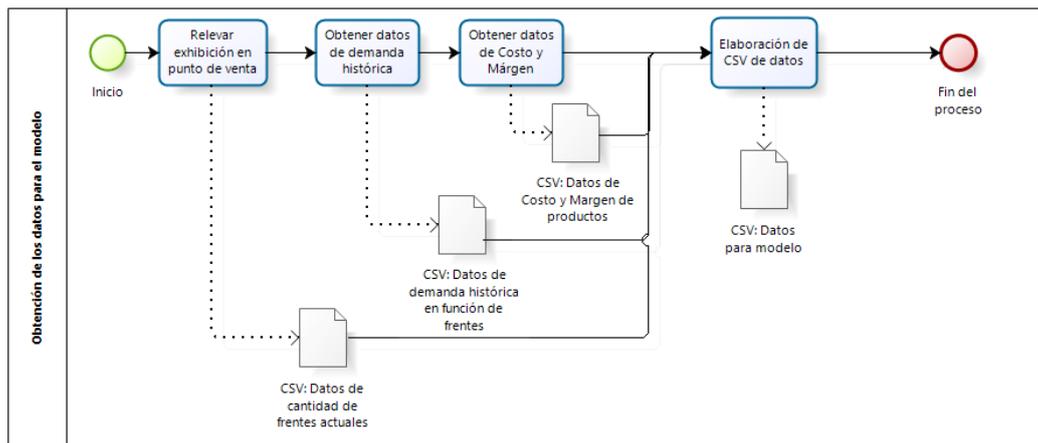
## 6.2. Relevamiento de datos y determinación de parámetros

Una vez seleccionadas las subcategorías y familias de productos a analizar, se recopilaron todos los datos necesarios para ejecutar el modelo. Este proceso implica identificar y reunir información relevante que abarque distintos aspectos de las categorías seleccionadas. La organización dispone de varios sistemas de gestión y reportes que facilitan esta tarea.

A partir de los reportes de datos y la evidencia fotográfica, es posible generar la base de datos que es insumo para la ejecución del modelo. Además, los registros históricos de ventas proporcionan una base sólida para analizar la demanda, estando disponibles los registros de años anteriores.

Para que la muestra de la demanda de las familias de productos a analizar fuera representativa del comportamiento usual, se tomaron algunas consideraciones. En primer lugar, se tomó una muestra de la demanda de treinta días en un periodo de tiempo en el que no existieron acciones promocionales relevantes. Por otra parte, se consideró únicamente la exhibición fija, excluyendo exhibiciones temporales de artículos en promoción o cabeceras de góndola. De esta manera, se busca aislar los datos considerados para este caso de estudio de acciones puntuales dirigidas a estimular la demanda de algunos productos.

El proceso de relevamiento se resume en el siguiente diagrama:



Powered by  
**bizagi**  
Modeler

Figura 4: Proceso de obtención de datos para el modelo computacional. Elaboración propia.

Cabe destacar que en el archivo generado se incluye el código del producto en el archivo de datos y que no es utilizado directamente por el modelo, pero que podría ser de interés para futuras aplicaciones. Los datos incluidos son: código del producto, descripción, marca, formato (tamaño de presentación), proveedor, *facings* actuales, demanda de 30 días, costo de adquisición, costo de inventario, precio de venta, margen, unidades apilables, fracción ocupada de una estantería por una unidad, cantidad de *facings* de ese producto que se pueden ubicar por estante, cantidad de estantes definidos para los artículos estudiados, la profundidad que hay en cada frente (cuántas unidades hay por cada frente) y la cantidad de estanterías disponibles para la selección de artículos.

Este archivo es el insumo principal de entrada del modelo, a partir del que se genera la línea de base para comparar (se hace el análisis con la cantidad de *facings* actuales) y luego se obtienen los resultados de la optimización.

### 6.2.1. Determinación del costo de reposición

Para calcular el costo de una reposición, es necesario conocer la mano de obra necesaria para llevar a cabo la tarea. A través del intercambio con la organización, registrado en el Acta No. 5 (C.5), se tomó conocimiento de un estudio de tiempos donde se relevó el tiempo promedio necesario para reponer un módulo de estantería. La tarea relevada es realizada por un solo operario en condiciones normales.

Tomando este dato, la cantidad de estanterías dispuestas para la selección de productos analizada y el costo de la hora hombre, se puede determinar el costo de reposición como el producto entre el tiempo de reposición de cada estantería (en horas), el número de estanterías y el costo de la hora hombre.

### 6.2.2. Determinación del costo de inventario

Los costos de mantener inventario pueden ser agrupados en tres categorías principales: costos de capital, costos de almacenamiento y costos de obsolescencia, deterioro y pérdidas.

Los costos de capital se asocian al costo de oportunidad, ya que el dinero invertido en inventario no puede ser utilizado en otras inversiones. La tasa de interés para grandes empresas al primero de octubre de 2024 es de 10,02 % anual en pesos (Banco Central del Uruguay (2024)). Se asume que el costo de oportunidad del capital invertido en inventario es igual a la tasa de interés sobre dicho capital 10,02 % anual.

Los costos de almacenamiento son aquellos relacionados con el mantenimiento adecuado de los productos, como seguros, espacio físico, control de temperatura y sistemas de seguridad, entre otros. Estos costos son independientes de la cantidad de productos en *stock* y se asocian a los costos operativos del almacén.

Por último, los costos de obsolescencia, deterioro y pérdidas se refieren a aquellos productos que, con el paso del tiempo, pueden volverse obsoletos, sufrir daños o ser objeto de pérdidas en el centro de distribución o en el almacén.

Para este trabajo, se considerará el costo de inventario como un porcentaje del precio de compra del producto. Esta aproximación permite consolidar los costos de inventario en un solo valor representativo, que puede ser integrado en la función objetivo del modelo.

El valor definido para el costo de inventario es el 1 % del costo del artículo para el horizonte de tiempo de un mes considerado para la resolución del modelo. Considerando el interés compuesto, se traduce a un 12,68 % anual, coherente con la bibliografía y con los referentes de la organización. Este porcentaje considera las tres categorías de costos mencionadas anteriormente.

## 6.3. Selección de *solver*

La selección de un *solver* que sea capaz de soportar el modelo que se propone, fue un gran desafío dentro del proyecto. Hubo tres factores principales a considerar:

- naturaleza no lineal de componentes del modelo
- cardinalidad de los conjuntos que componen al problema
- accesibilidad y facilidad de uso del *solver*

Dada la naturaleza no lineal de algunas restricciones (se verifica la existencia de productos de variables), inmediatamente la lista de *solvers* factibles de ser utilizados se vio limitada, ya que muchos *softwares* de código abierto, como el caso de *GLPK*, no soportan componentes no lineales en su formulación.

Otro factor considerado fue el tamaño y la complejidad de los conjuntos involucrados en el modelo. Este modelo maneja un gran número de parámetros, restricciones y variables, lo que resulta en una estructura de datos extensa y difícil de procesar. La cardinalidad de los conjuntos representa un reto adicional, ya que muchos *solvers* presentan limitaciones en el número de variables y restricciones que pueden gestionar eficientemente. Este fue, por ejemplo, el caso del *solver* disponible en la librería de *Python OR-TOOLS*, disponible en *Google Colab*. Si bien este es capaz de soportar la no linealidad en restricciones y en la función objetivo, la complejidad del modelo, las cantidades de restricciones y de parámetros no permitía llegar a la solución.

El último factor evaluado fue la accesibilidad y la facilidad de uso de las herramientas disponibles. Esto incluía no solo la disponibilidad del *solver* en términos de licencia y costos, sino también su integración con lenguajes de programación familiares para el equipo de trabajo. Debido a esto, se decidió utilizar una patente educativa de *IBM CPLEX Optimization Studio*. Se trata de un programa de optimización creado para solucionar problemas complejos en diferentes campos, tales como la logística, planificación, programación de producción y distribución de recursos. Es particularmente eficaz en la solución de problemas relacionados con la programación lineal (*LP*), la programación integral (*ILP*) y la programación no lineal (*NLP*), entre otras. El *solver* incorpora una variedad de algoritmos de resolución, con utilidad para diferentes tipos de problemas. Entre los más utilizados, se encuentran el método *Simplex*, el método de puntos interiores, *branch and bound*, y *branch and cut*.

Una gran ventaja de este *software* es la posibilidad de programar haciendo uso de sus capacidades a través de su *API* para *Python*. Lograr formular y ejecutar el modelo de esta forma permitió acelerar el avance en el proyecto. A su vez, esto también representa una ventaja para la posterior implementación. No obstante, dada la complejidad del modelo y el número de restricciones, es necesario contar con una licencia de acceso completo. Esta puede ser adquirida simplemente con un correo electrónico de dominio educativo, evitando un costo importante mientras se cursan etapas tempranas de implementación y pruebas de concepto en la organización.

## 7. Análisis de resultados

En esta sección se presentan los resultados de la aplicación del modelo a los casos de estudio seleccionados. Fue necesario ejecutar el modelo individualmente para cada caso, debido a la naturaleza de la formulación. Se notó un aumento significativo de los tiempos de resolución con la cantidad de productos. El modelo se ejecutó en una PC con un procesador *AMD Ryzen 7 5700U* a 1.80 GHz y 12 GB de memoria *RAM* instalada. Esta configuración permitió ejecutar el modelo en todos los casos, con tiempos de resolución que oscilan entre los 6 segundos para el caso más sencillo, hasta más de cinco horas en los casos con mayor volumen de datos. Para los casos de mayor complejidad los resultados alcanzados fueron subóptimos, y se presentan con su respectivo *gap* de optimalidad.

Para todos los casos analizados, primero se verifica la ocupación por marca del espacio de exhibición con los datos recabados en los puntos de venta. Este proceso busca determinar si existe alguna desviación significativa en las exhibiciones entre las sucursales estudiadas. Las marcas de mayor exhibición deberían mantenerse en todas las tiendas en porcentajes similares. Este punto es clave para comparar las soluciones de las diferentes sucursales en la misma familia de productos. De haber alguna diferencia significativa en la línea de base, es posible que con algunos cambios puntuales el beneficio incremente más que en otros casos.

Los resultados presentados comparan la variación de la función objetivo del arreglo de productos propuesto por el modelo con la realidad observada al recabar los datos. Tanto para los beneficios esperados como para las reposiciones esperadas, se compara con la situación inicial.

Como objetivo específico del proyecto, se planteó alcanzar un formato de presentación de los resultados que fuera de lectura sencilla para poder replicarse en la operación. El formato de presentación de los resultados está formado por dos componentes: una imagen que representa cómo queda la disposición de las estanterías analizadas y un archivo en formato Excel que indica la cantidad de frentes por estante que se deben exhibir de cada artículo. Dado que para un artículo la cantidad de frentes es constante, el operario solamente debe revisar para cada producto del planograma el valor asociado en la orden de trabajo. En cada lugar donde se encuentra un producto, se colocan tantos frentes como indica la orden de trabajo. A través de estos documentos es que quienes se encargan del armado de las exhibiciones pueden ejecutar la sugerencia en la realidad.

Es importante destacar que, por motivos de confidencialidad acordados entre el equipo de trabajo y la organización donde se desarrolla este proyecto, los resultados se presentan en variaciones porcentuales. De este modo, se garantiza el cumplimiento de lo establecido entre ambas partes sin comprometer información sensible para la organización.

### 7.1. Aguas cloradas

El primer caso de aplicación analizado es la familia de aguas cloradas. La extensión de las exhibiciones varía entre tres estanterías de seis estantes para la sucursal grande y una estantería de cuatro estantes para la pequeña. El surtido de productos no varía significativamente en las distintas tiendas analizadas, especialmente para los más vendidos, pero la variedad en productos sustitutos incrementa en las sucursales grandes. El estudio de la situación inicial para la ocupación por marca se presenta en la siguiente tabla:

Marca	Pequeña	Mediana	Grande
Marca A	31 %	48 %	43 %
Marca B	26 %	19 %	12 %
Marca P	19 %	11 %	23 %
Otros	24 %	22 %	22 %

Tabla 6: Ocupación relevada por marca en la estantería de aguas cloradas en los distintos tipos de sucursal. Elaboración propia.

A partir de la Tabla 6 es posible afirmar que la situación inicial para aguas cloradas no presenta mayores desviaciones en las sucursales analizadas. Puntualmente, Marca P presenta una baja importante en la sucursal mediana respecto a las dos restantes. A su vez, Marca B presenta un porcentaje sensiblemente inferior en la sucursal grande. El resto de los casos son consistentes, con un claro predominio inicial de Marca A, seguido de Marca B, Otros y Marca P.

Para esta familia de productos, se trabajó con una cantidad mínima de *facings* ( $K_{min}$ ) igual a uno y máxima ( $K_{max}$ ) igual a veinticuatro.

#### 7.1.1. Sucursal grande

En primer lugar, se ejecutó el modelo para la sucursal de tamaño grande. El tiempo de resolución fue de 797 segundos para hallar la solución óptima. La siguiente tabla compara los valores de la solución para el caso estudiado con los valores hallados para la situación inicial:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+7,4 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-1,9 %

Tabla 7: Resultados de la función objetivo y valor de R para aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

El primer punto para destacar es el aumento del beneficio a través de la exhibición sugerida por el modelo. El incremento de 7,4 % de los beneficios es coherente con resultados obtenidos en los casos de estudio citados en la revisión bibliográfica. Si bien el valor de las reposiciones disminuye, la variación es prácticamente nula. Es importante destacar que la disminución de la cantidad de reposiciones no es el aspecto que se quiere optimizar. De hecho, es posible que el modelo ofrezca soluciones con aumento de beneficios que requieran más reposiciones.

A su vez, resulta interesante conocer cómo varían las fracciones de ocupación para cada marca. Esta comparación es un buen indicador de cómo se están tomando las decisiones para armar el planograma en las sucursales actualmente.

Marca	Optimizado	Línea de Base	Variación
Marca A	44 %	43 %	+1 %
Marca B	10 %	12 %	-2 %
Marca P	21 %	23 %	-2 %
Otros	25 %	22 %	+3 %

Tabla 8: Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal grande. Elaboración propia.

De la Tabla 8 se observa que las variaciones a nivel de marca son moderadas, pero con leves variaciones es posible obtener un cambio significativo en los beneficios. Cabe mencionar que la suma del espacio optimizado supera el 100%. Esto se debe a pequeñas tolerancias que se le permiten al modelo para poder hallar una solución factible. En la práctica, esto no genera ninguna dificultad de implementación.

A continuación se presenta la figura del planograma sugerido a la operación para la sucursal estudiada:

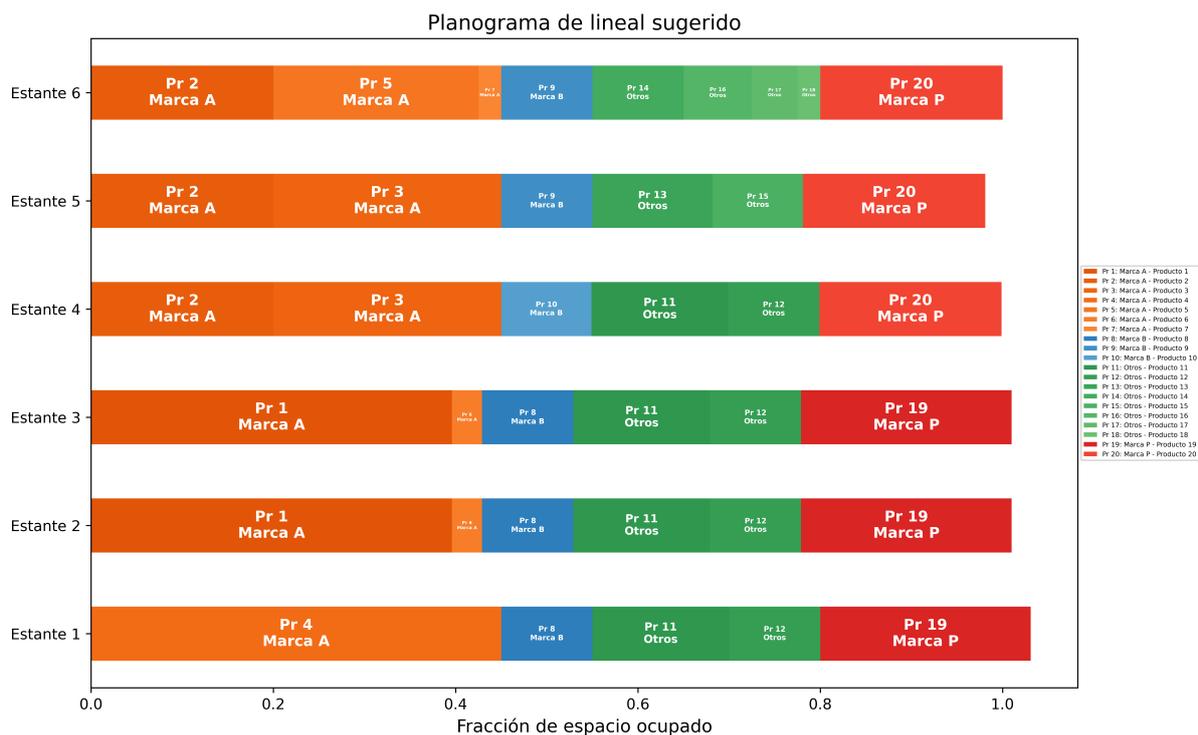


Figura 5: Planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

Debido a que los nombres de cada producto pueden generar distorsión visual en la imagen, se optó por incluir una breve referencia junto con la marca y una leyenda donde se puede encontrar de qué artículo se trata. También se utiliza una paleta de colores para cada marca, facilitando la interpretación para el armado.

Adeas, dado que la leyenda del planograma puede resultar difícil de leer en la figura, se presenta

una versión ampliada en el Anexo B, Figura 23. Además, en la Tabla 62 se encuentra disponible la orden de trabajo generada para el caso. Todas las órdenes de trabajo y leyendas ampliadas de esta sección y las siguientes se encuentran en el Anexo B.

Es posible notar que algunos estantes parecen estar ocupados a más del total de su capacidad. Este aspecto es consecuencia de los redondeos en las fracciones de ocupación de cada artículo. Como se mencionó en el caso del espacio optimizado por marca, que podrían superar el 100 %, se trata de una tolerancia para evitar la no factibilidad del modelo. En adelante, no se mencionará este aspecto, dando por entendido que se repite en todos los casos de estudio.

### 7.1.2. Sucursal mediana

Para la resolución de este caso, el *solver* halló la solución óptima en 28 segundos. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+19,3 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-65,1 %

Tabla 9: Resultados de la función objetivo y valor de R para aguas cloradas, sucursal mediana. Elaboración propia.

A diferencia del caso anterior, el aumento del beneficio es bastante mayor, del 19,3 %. Sin embargo, profundizando el análisis, se identificó el motivo. En la situación inicial, la cantidad de reposiciones era elevada, causada por una referencia con altas ventas pero poco espacio de exhibición. Este artículo era exhibido en tres frentes, pero con una demanda superior a 200 unidades al mes. Por este motivo, era necesario reponer, en promedio, cuatro veces al día. Al aumentar la exhibición, se mejora el resultado de la función objetivo por la combinación de los dos factores: mejor exhibición y menor cantidad de reposiciones. Esto logra explicar mejor el elevado aumento en los resultados de la sección analizada. Si bien es probable que en la práctica no se observe este comportamiento idéntico para los beneficios, es notable que el modelo propone una solución que evita estar reponiendo varias veces al día.

Por otra parte, la variación a nivel fracción ocupada por una marca va en la línea del caso anterior, aumentando la fracción de las marcas que, a nivel general, resultan más rentables. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos:

Marca	Optimizado	Línea de Base	Variación
Marca A	39 %	48 %	-9 %
Marca B	24 %	19 %	+5 %
Marca P	18 %	11 %	+7 %
Otros	19 %	22 %	-3 %

Tabla 10: Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal mediana. Elaboración propia.

Según los resultados exhibidos en la Tabla 10, no se identifican desplazamientos importantes y transferencias de una marca a otra. Esto podría indicar que el trabajo que se hace actualmente en base a la intuición y las ventas es acertado, no obstante, algunos pequeños ajustes pueden significar una interesante mejora para la organización. A su vez, cabe recordar que los productos de mayor potencial de rendimiento en la función objetivo son aquellos cuyas ventas son mayores en relación con el espacio asignado. Esto podría explicar los aumentos de asignación en marcas que originalmente tienen baja exhibición, pero tienen ventas que respaldan el aumento.

El planograma sugerido puede verse en la siguiente figura:

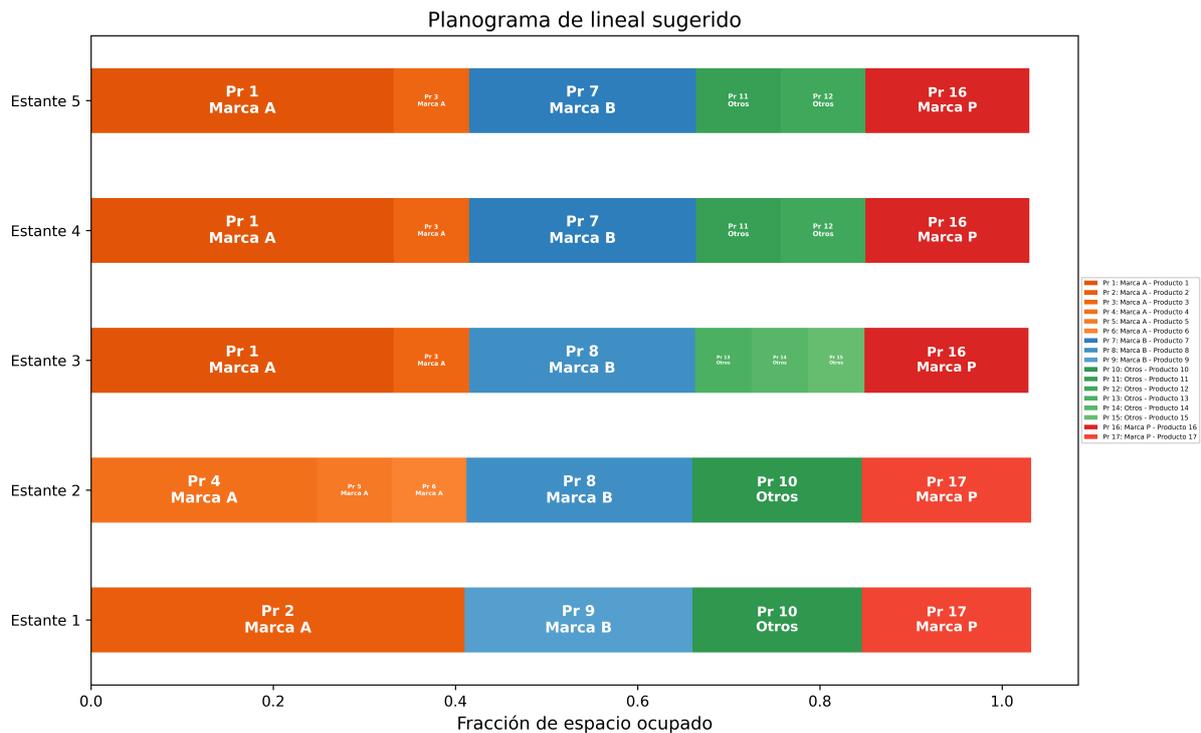


Figura 6: Planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 24 junto con la orden de trabajo generada en la Tabla 63.

### 7.1.3. Sucursal pequeña

Por último, el caso de estudio de la sucursal pequeña es el más sencillo de esta selección, contando con solo cuatro estantes y 13 referencias. La solución óptima fue hallada luego de 6 segundos. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+11,6 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-52,0 %

Tabla 11: Resultados de la función objetivo y valor de R para aguas cloradas, sucursal pequeña. Elaboración propia.

El incremento del beneficio resulta moderadamente elevado respecto a valores contrastados en la bibliografía. No obstante, dado lo reducido del surtido de esta familia de productos, es posible que con leves arreglos la mejora teórica de resultados sea sustancial. Favorecer los productos de mayor venta frente a la exhibición de variedad puede resultar en mayores beneficios. Si bien por motivos de confidencialidad no es posible mostrar las imágenes de situación inicial en comparación a la sugerencia de planograma, es claro que el modelo busca optimizar el espacio disponible aumentando de manera significativa la exhibición de aquellos artículos que venden más. En comparación con la sucursal grande, se prioriza colocar más frentes de los productos que venden más, frente a aumentar la variedad. En otras palabras, la falta de espacio disponible hace que el modelo se enfoque en lo esencial. Este aspecto resulta de especial interés, justificando de forma matemática la elección de un surtido proporcional al tamaño de la sucursal.

A continuación, se presenta la variación de la fracción de cada marca para la sucursal pequeña:

<b>Marca</b>	<b>Optimizado</b>	<b>Línea de Base</b>	<b>Variación</b>
Marca A	39 %	31 %	+8 %
Marca B	25 %	26 %	-1 %
Marca P	18 %	19 %	-1 %
Otros	18 %	24 %	-6 %

Tabla 12: Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal pequeña. Elaboración propia.

Siguiendo la lógica anterior sobre el aumento de exhibición para las marcas más rentables, el cambio principal es el traspaso de exhibición para la Marca A desde Otros. Esto resulta consistente con el análisis anterior puesto que, como fuera explicado previamente, la marca Otros agrupa productos con baja exposición y bajas ventas.

Por último, resta enseñar el planograma sugerido para la familia analizada:

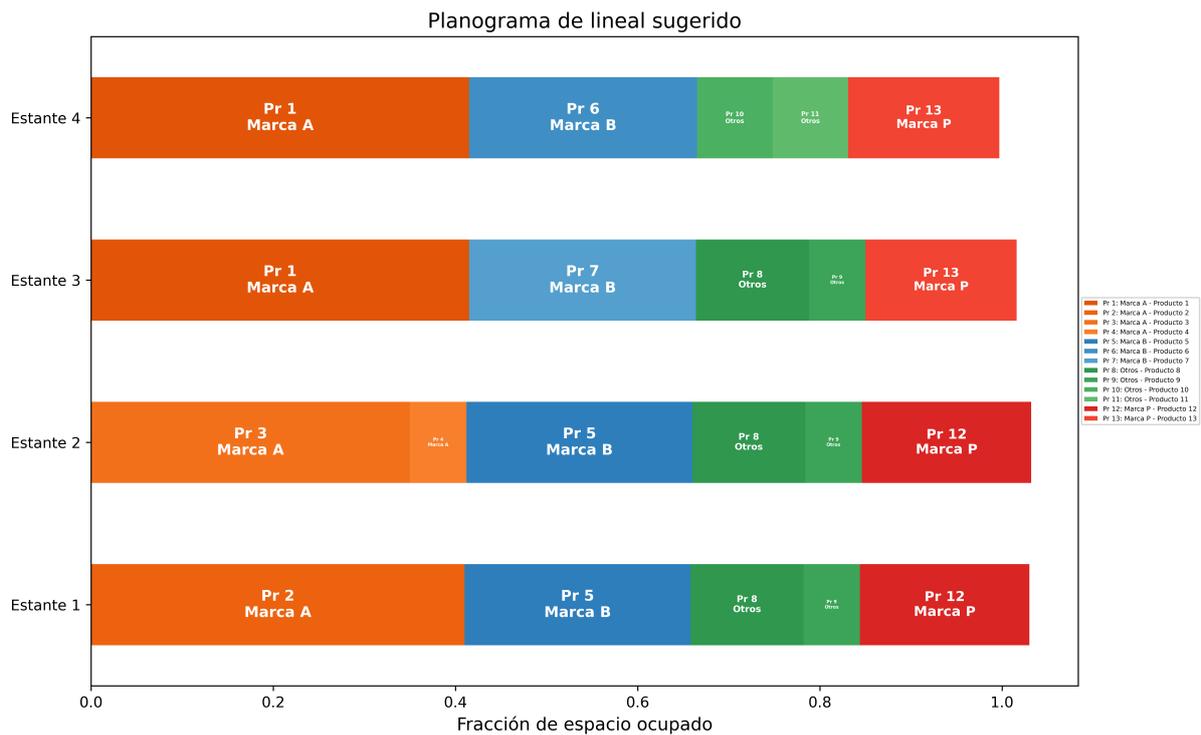


Figura 7: Planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal pequeña. Elaboración propia.

En el planograma anterior resulta evidente el predominio mencionado de la Marca A por sobre las demás.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 25 junto con la orden de trabajo generada en la Tabla 64.

#### 7.1.4. Comparación entre sucursales

En esta sección se analizan las mejoras obtenidas en los distintos tipos de sucursales, tanto para el beneficio económico como para la variación en la cantidad de reposiciones. A continuación, se presentan los resultados de aumento de beneficios para las distintas sucursales:

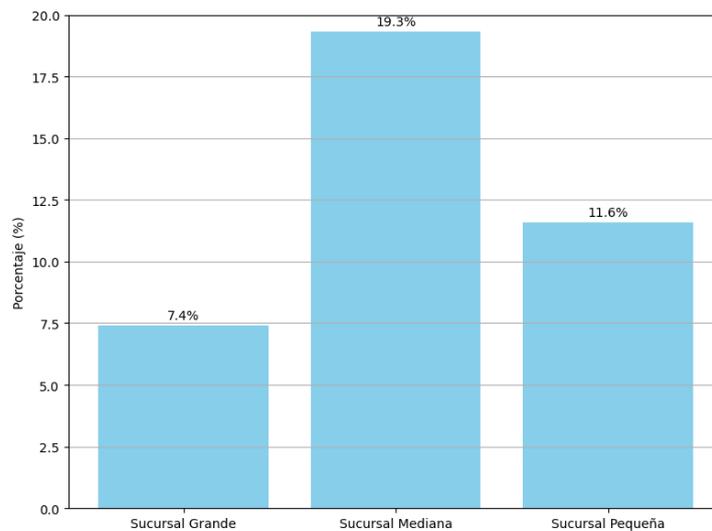


Figura 8: Comparación de beneficios obtenidos en aguas cloradas. Elaboración propia.

En todos los casos, los resultados han sido positivos, presentando mejoras en los beneficios de entre 7 y 19%. El mejor resultado se obtiene en la sucursal mediana, mientras que el menor se obtiene en la sucursal grande. Los resultados están dentro de los esperados respecto a lo que describe la literatura. Cabe destacar que, aunque en la sucursal mediana los resultados superan ampliamente lo relevado en la bibliografía, esto es explicado a partir de la exhibición relevada en la situación inicial. Esta contaba con una referencia que era exhibida en un espacio muy reducido con una venta elevada. Al aumentar la exhibición, se reduce la necesidad de reponer con tanta frecuencia, resultando en un incremento de los beneficios. Esta situación es esperable al analizar una familia de productos en particular exhibidos en una única estantería, donde un único producto puede hacer una importante diferencia.

Respecto a la variación en la cantidad de reposiciones, los resultados obtenidos son los siguientes:

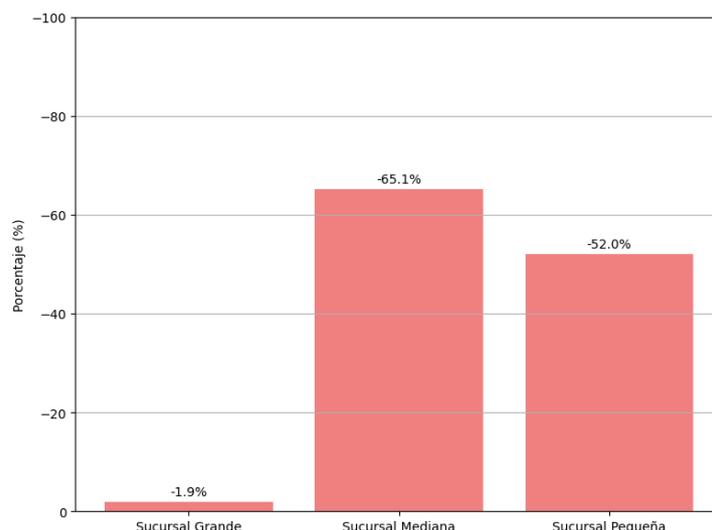


Figura 9: Comparación de la variación en la cantidad de reposiciones en aguas cloradas. Elaboración propia.

En lo que respecta a la cantidad de reposiciones, la Figura 9 indica que las dos sucursales que presentan mayor variación a la baja (sucursales mediana y pequeña), son las que obtienen el

mejor resultado económico. El modelo puede mejorar el valor de la función objetivo mediante un aumento de los términos de ganancia como una reducción de costos. Por ello, en los casos donde los costos se reducen significativamente, es esperable un aumento de los beneficios obtenidos.

Si bien no es el aspecto de principal interés de este trabajo, el modelo logra incorporar el término de mano de obra a las exhibiciones. Esto se ve claramente en los resultados y puede ser una recomendación importante para la organización: si se exhiben mejor los productos más vendidos, se reduce la cantidad de trabajo de reposición a realizar y se aumentan los beneficios. En la mayoría de las ocasiones, esto corresponde solo a mejorar la exhibición de un conjunto reducido de productos.

## 7.2. Alfajores

En este segundo caso de aplicación, nos enfocamos en la categoría de alfajores, que destaca por su diversidad de productos, con aproximadamente 70 referencias. Estos productos se presentan tanto en unidades individuales como en cajas, lo que añade una dimensión interesante al análisis. Aunque los márgenes de ganancia de los alfajores tienden a ser bastante homogéneos, la demanda muestra variaciones significativas según la presentación y el tipo de producto.

Es importante destacar que los alfajores individuales ocupan menos espacio que las cajas, lo que puede influir en su estrategia de exhibición. Sin embargo, las cajas de alfajores ofrecen márgenes de ganancia mucho más atractivos en comparación con las unidades individuales.

La situación inicial para la ocupación de la góndola por marca se resume en la siguiente tabla:

Marca	Pequeña	Mediana	Grande
Marca A	12 %	17 %	31 %
Marca B	33 %	28 %	25 %
Marca P	12 %	14 %	11 %
Otros	43 %	41 %	34 %

Tabla 13: Ocupación relevada por marca en la estantería de alfajores en los distintos tipos de sucursal. Elaboración propia.

Esta categoría cuenta con un acuerdo comercial para la Marca A que establece que al menos el 30 % de la estantería deba ser asignada a la misma. Se observa que dicho acuerdo se cumple en la sucursal grande, pero no en las otras. El incumplimiento en la sucursal mediana es de mucho menor magnitud que en la sucursal pequeña y puede ser producto de un error en el control, dado que esto se verifica de manera visual por los reponedores. En la sucursal pequeña el incumplimiento es grande y denota falta de control en el despliegue. Es importante mencionar que a las marcas les interesa el cumplimiento de los acuerdos en todos los puntos de venta, pero principalmente las sucursales grandes, que son las que más visitan y que representan la mayor cantidad de ventas. Por ello no debe sorprender la desviación en la sucursal pequeña y mediana, dado que seguramente no sean visitadas con frecuencia y no se note la falta de exhibición.

Para esta segunda categoría de productos, el parámetro  $K_{min}$  fue definido como uno y el  $K_{max}$  como venticuatro.

### 7.2.1. Sucursal grande

Para la categoría Alfajores en la sucursal grande se obtuvo una solución subóptima tras cinco horas de ejecución. La solución obtenida tiene una diferencia con el problema dual de 0,72 %, una diferencia aceptable dada la complejidad del problema. El tiempo prolongado de ejecución es producto de la cantidad de productos que presenta esta categoría, lo que dificulta la obtención de la solución óptima. Los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente tabla:

<b>Descripción</b>	<b>Resultado obtenido</b>
Variación de la función objetivo	+8,0 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-65,1 %

Tabla 14: Resultados de la función objetivo y valor de R para alfajores, sucursal grande. Elaboración propia.

La primera conclusión que se obtiene de los resultados es que el modelo obtuvo una solución con un rango de mejora coherente con la bibliografía estudiada.

Por otra parte, hay una importante caída en la cantidad de reposiciones a realizar causada por la duplicación de *facings* del producto que marcaba la frecuencia de reabastecimiento de la estantería. Además, la diferencia entre el segundo producto con más rotación de *stock* en estantería y el primero, es más del 100 %.

En la Tabla 15, se detalla la variación de la exposición de las distintas marcas evaluadas:

<b>Marca</b>	<b>Optimizado</b>	<b>Línea de Base</b>	<b>Variación</b>
Marca A	32 %	31 %	+1 %
Marca B	27 %	25 %	+2 %
Marca P	8 %	11 %	-3 %
Otros	32 %	34 %	-2 %

Tabla 15: Variación de fracciones ocupadas en la estantería de alfajores por marca, sucursal grande. Elaboración propia.

En líneas generales, no se observan variaciones de magnitud importante en lo que es la fracción de estantería asignada a las distintas marcas. Por lo que se concluye que, en este caso particular, la mejora radicó en la optimización de la exposición de los productos dentro de cada fracción y que la distribución inicial de las marcas era acertada.

En la Figura 10, se presenta el planograma sugerido para la familia de productos:

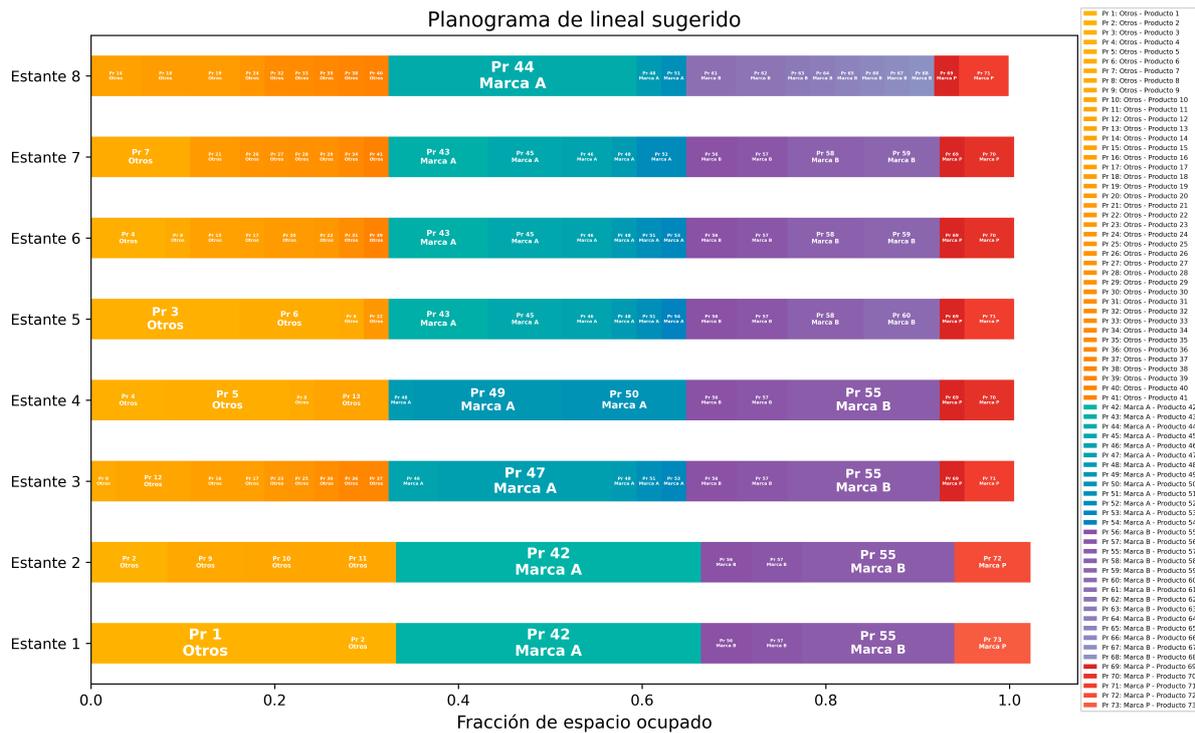


Figura 10: Planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal grande. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en las Figuras 26 y 27 junto con la orden de trabajo generada en la Tabla 65.

### 7.2.2. Sucursal mediana

En segundo lugar, se evaluó el modelo para la familia en cuestión en la sucursal mediana. Con un tiempo de ejecución de quince minutos, se obtuvo una solución subóptima con una diferencia de 0,33% con el problema dual.

La diferencia en el tiempo de cómputo entre este caso y el anterior se debe a que se flexibilizó la restricción de formato. Esto se debe a que, al ejecutar este caso contemplando que las cajas o *packs* fueran un formato distinto a las unidades, el modelo no llegaba a soluciones con errores aceptables en intervalos de ejecución mayores a seis horas.

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+13,5%
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-62,5%

Tabla 16: Resultados de la función objetivo y valor de R para alfajores, sucursal grande. Elaboración propia.

Nuevamente se obtienen mejoras en los beneficios, aunque con un aumento mayor que en la sucursal grande. Este punto está fuertemente ligado a la disminución de las reposiciones, que baja a menos de la mitad. Esto representa un ahorro significativo de costos de mano de obra.

Esta mejora en la frecuencia de reposiciones se debe al aumento de la exposición de dos productos particulares. El resto de los productos marcaban una frecuencia de reposición, menor al 50 % de estos. Además, la mejora en la exposición no solo implicó importantes ahorros en el mantenimiento de la categoría, sino que potenció estos productos de alta demanda y buen margen de ganancia.

A continuación se presentan las variaciones del espacio asignado entre la optimización y la situación inicial:

Marca	Optimizado	Línea de Base	Variación
Marca A	29 %	17 %	+12 %
Marca B	33 %	28 %	+5 %
Marca P	11 %	14 %	-3 %
Otros	27 %	41 %	-14 %

Tabla 17: Variación de fracciones ocupadas en la estantería de alfajores por marca, sucursal mediana. Elaboración propia.

En este caso, existieron variaciones importantes en el espacio adjudicado a las distintas marcas. El primero y más importante es el aumento a 29 % de espacio para la Marca A. Esto se debe a la restricción comercial, ya que dicha marca tiene acordado un 30 % de la estantería. El 1 % de diferencia es explicado por las tolerancias del modelo. Se recuerda que el modelo asigna fracciones de estantería y luego coloca productos dentro de la fracción, pudiendo asignar productos cuya fracción ocupada no sea exactamente la fracción ocupada por la marca. Mientras, la Tabla 17 muestra el porcentaje ocupado por esa marca del total asignado, despreciando cualquier tipo de espacio vacío. Mas allá de esto, se entiende que el modelo solo coloca productos de la Marca A, dada la restricción comercial y que es probable que, sin esta, la fracción expuesta sea menor.

Por otro lado, también aumentó la exposición de la Marca B, que cuenta con productos de alta demanda. El aumento no fue tan grande como en la Marca A, pero también es verdad que la línea de base presentaba una exposición importante de productos de esta marca.

Finalmente, estos aumentos de exposición fueron en detrimento de la exhibición del resto de productos, pero principalmente aquellos que pertenecen a la marca Otros, que pierde 14 puntos porcentuales de exhibición respecto a la situación inicial.

A continuación, se presenta el planograma que fue resultado de la ejecución del modelo matemático.

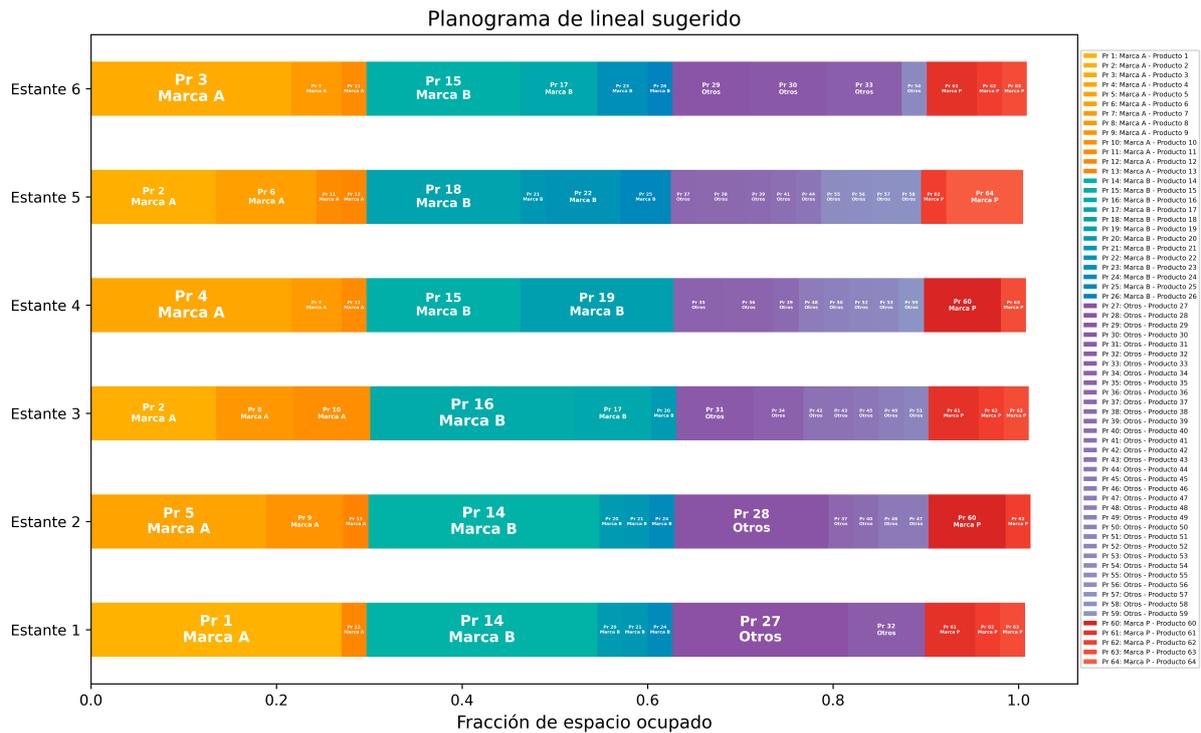


Figura 11: Planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal mediana. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 28 junto con la orden de trabajo generada en la Tabla 66.

### 7.2.3. Sucursal pequeña

Por último, se ejecutó el modelo con los datos de la sucursal pequeña. Se obtuvo una solución subóptima con una diferencia de 0,13% con la solución dual en 900 segundos de ejecución. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+15,8 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-85,5 %

Tabla 18: Resultados de la función objetivo y valor de R para alfajores, sucursal pequeña. Elaboración propia.

Se destacan dos aspectos en el resultado. El primero, una importante mejora en el rendimiento de la categoría y, el segundo, una baja sensible en la cantidad de reposiciones.

El aumento de los beneficios para la categoría en la sucursal pequeña fue aún mayor que en los dos casos anteriores. Aproximadamente un tercio de esta mejora es consecuencia directa de la baja en el costo de reposición, mientras que el resto es debido a la optimización de la estantería y la consecuente mejora esperada de las ventas. El aprovechamiento del espacio que inicialmente estaba vacío también fue clave para aumentar la exposición de los productos de

mayor margen y/o demanda. De esta forma, sin necesidad de disputar el espacio disponible, mejora el rendimiento de los productos que impulsan a la categoría.

Por otra parte, la disminución en las reposiciones se debe a que en el despliegue inicial de la estantería se observó que, si bien todos los productos son apilables, no siempre se aprovechaba el espacio disponible. En ocasiones, se colocaba una unidad sola por posición, habiendo espacio para dos. Debido a que es posible apilar estos productos, en la solución se aprovecha ese espacio ocioso para aumentar la exhibición. Así es posible evitar una cantidad significativa de las reposiciones. También es importante aclarar que esto puede llegar a ser problemático dependiendo el caso, ya que, si un producto es sobre expuesto puede correr riesgo de expirar en la estantería. Se recuerda que, en secciones anteriores, se aclaró que la vida útil de un producto no será contemplada y es una limitación del modelo.

A continuación, se presentan las variaciones en la fracción del espacio asignada a cada marca respecto a la situación inicial:

Marca	Optimizado	Línea de Base	Variación
Marca A	28 %	12 %	+16 %
Marca B	22 %	33 %	-11 %
Marca P	12 %	12 %	+0 %
Otros	38 %	43 %	-5 %

Tabla 19: Variación de fracciones ocupadas en la estantería de alfajores por marca, sucursal pequeña. Elaboración propia.

En este análisis, al igual que en el anterior, se presenta una situación similar con el acuerdo comercial de la Marca A. Se asigna una fracción del 30 %, pero aún quedan espacios vacíos. Para cumplir con la restricción comercial, fue necesario que las Marcas B y Otros pierdan presencia, mientras que el espacio de la Marca P se mantuvo casi sin cambios.

Por último, se presenta el ultimo planograma sugerido para este caso:

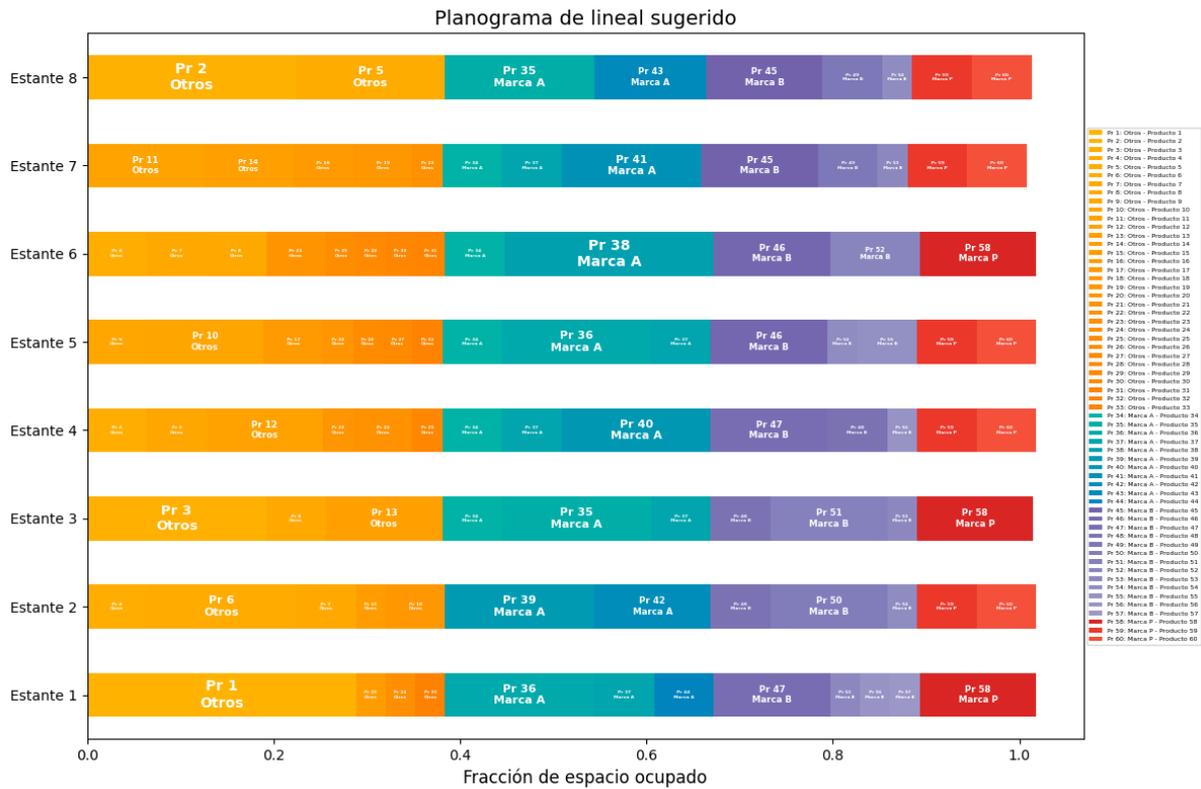


Figura 12: Planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal pequeña. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 29 y la orden de trabajo generada en la Tabla 67.

### 7.2.4. Comparación entre sucursales

A continuación, se presentan las comparaciones de resultados obtenidos en cada tipo de sucursal. En primer lugar, las variaciones de los beneficios obtenidos:

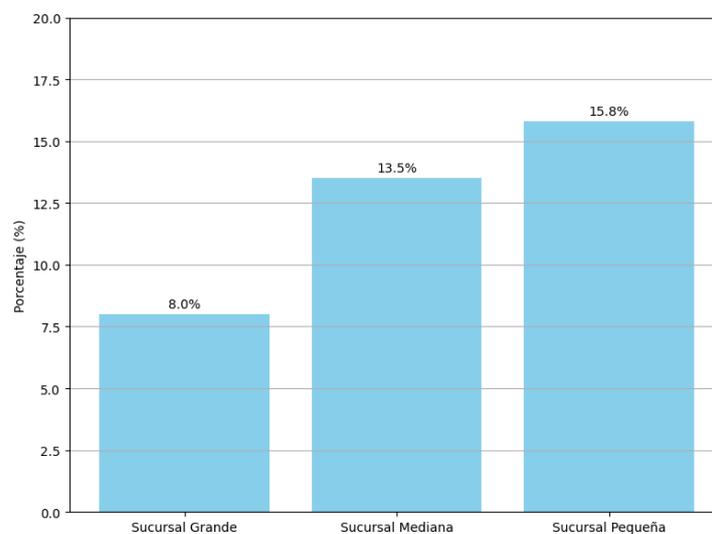


Figura 13: Comparación de la variación en la cantidad de reposiciones en alfajores. Elaboración propia.

Los alfajores son la familia que presenta mayor variedad de productos, por lo que los posibles arreglos de exhibición son mayores y el modelo resulta más complejo de resolver. Los resultados reflejan mejoras consistentes en el desempeño global de la familia de productos en todas las sucursales. Dentro del espectro de resultados obtenidos, las sucursales mediana y pequeña están algo desviadas de lo esperado en la bibliografía. En el caso de la sucursal mediana, hay un disminución a menos de la mitad de las reposiciones de la situación inicial. Esto podría indicar una desviación significativa en la situación inicial respecto al óptimo, haciendo que con pequeñas correcciones se pueda mejorar el resultado. En el caso de la sucursal pequeña, permitir la apilabilidad permite reducir las reposiciones a la quinta parte, ahorrando una cifra importante en costos de mano de obra.

Es importante destacar que las condiciones de venta no son uniformes entre las sucursales, debido a diferencias tanto comerciales como físicas, lo que influye en los resultados. Estas variaciones hacen que sea difícil realizar comparaciones directas más allá de la mejora observada en la ganancia esperada, sin caer en posibles sesgos. Las conclusiones obtenidas deben interpretarse en función de estas particularidades, reconociendo que cada tienda tiene su propio contexto que impacta los resultados finales.

Para continuar el análisis, se presentan la gráfica de variación de reposiciones:

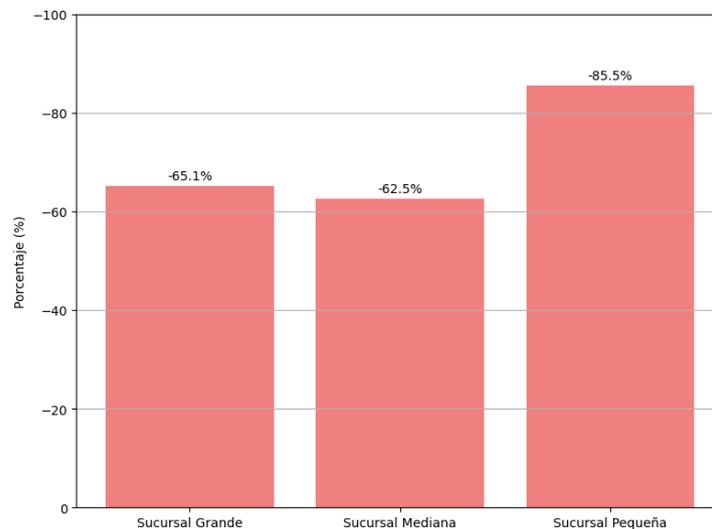


Figura 14: Comparación de ahorro de costo de reposiciones en alfajores. Elaboración propia.

En primer lugar, la sucursal pequeña muestra un ahorro significativamente mayor al del resto de las tiendas en la categoría de alfajores, lo que se explica por el potencial que presentaba el espacio ocioso en las estanterías. Este espacio es utilizado en la solución, al apilar los productos, resultando en una mejora económica considerable.

Por otro lado, los ahorros obtenidos en las otras dos sucursales son semejantes. Estos resultados están impulsados principalmente por el aumento en la exposición de aquellos productos con una alta demanda. Este enfoque de priorizar la exposición de los productos más vendidos sigue una lógica similar a la aplicada en casos anteriores, donde se optimizó el uso del espacio en función del comportamiento de la demanda.

Cabe destacar que se trata de una familia de productos con acuerdos comerciales vigentes. El modelo logra optimizar la exhibición en cumplimiento con dichos acuerdos. Esta es una característica valorada de la solución por parte de la organización, dado que asegura al equipo de operaciones que el planograma sugerido está en cumplimiento con los acuerdos vigentes.

Esta es una diferencia sustantiva respecto a las prácticas actuales de exhibición, donde es difícil asegurar de antemano que la exhibición propuesta está cumpliendo los acuerdos con las marcas.

### 7.3. Jabón líquido para lavarropas

El tercer y último caso de aplicación que se aborda en este proyecto es la familia de jabones líquidos para lavarropas. Existen varios motivos para estudiar esta categoría. En primer lugar, es una categoría con un buen margen de ganancia, pero, al tratarse de productos costosos, es de interés de la organización no almacenarlos excesivamente. En segundo lugar, los acuerdos comerciales vigentes totalizan un porcentaje importante de la exhibición. Esto obliga a que la optimización se extienda a los productos dentro de cada marca, con un contexto rígido para modificar las fracciones ocupadas por cada marca. Esta combinación de factores hace que la optimización de esta categoría sea de especial interés para la organización así como para el equipo de trabajo.

Para esta última categoría, el factor de *facings* mínimo  $K_{min}$  sigue siendo uno y el máximo  $K_{max}$ , se definió como veinte unidades.

La distribución del surtido observado en las estanterías de las sucursales donde se aplicó el modelo son las siguientes:

Marca	Pequeña	Mediana	Grande
Marca A	66 %	53 %	68 %
Marca B	22 %	18 %	19 %
Otros	12 %	29 %	13 %

Tabla 20: Ocupación relevada por marca en la estantería de jabones líquidos para lava ropas en los distintos tipos de sucursal. Elaboración propia.

En este caso, se destaca el hecho de que existen dos acuerdos comerciales distintos: Marca A tiene el 70 % de la estantería y Marca B el 10 %. Resulta interesante destacar que en ninguna de las tiendas relevadas se cumple con el acuerdo comercial de la Marca A. Tanto para la tienda pequeña como para la tienda grande, la diferencia es menor y puede que se deba a el criterio de quien organiza las estanterías que posiblemente no pueda detectar visualmente la diferencia. Para el caso de la tienda mediana la diferencia es mayor, el incumplimiento es apreciable a simple vista y debería ser corregido.

Como se mencionó anteriormente, el hecho de contar con dos acuerdos comerciales que abarquen el 80 % del espacio de exhibición, deja poco lugar a otros productos. Dada la realidad presentada anteriormente en que los acuerdos comerciales no se cumplen, el resultado del modelo cobra mayor interés pudiendo mostrar si el cumplimiento del acuerdo comercial genera un beneficio o un costo para la organización.

#### 7.3.1. Sucursal grande

El primero de los casos analizados fue el de la tienda grande. El tiempo de ejecución se limitó a 900 segundos, encontrando una solución que dista de la solución del problema dual un 0,27 %. Si bien no es la solución óptima del problema, el resultado se considera aceptable. En la Tabla 21 se expresan los resultados obtenidos:

<b>Descripción</b>	<b>Resultado obtenido</b>
Variación de la función objetivo	+12,5 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-61,3 %

Tabla 21: Resultados de la función objetivo y valor de R para jabones líquidos para lava ropas, sucursal grande. Elaboración propia.

Se destaca que la mejora del beneficio es de un 12,5 % y se reduce la cantidad de reposiciones un 61,3 %. La mejora en el rendimiento es superior a lo que se indica en la bibliografía, pero se considera aceptable. Por otra parte, las reposiciones disminuyeron notoriamente. Esto se debe al comportamiento del producto que marcaba la frecuencia de las reposiciones de la categoría. Este contaba con pocos *facings* en el despliegue inicial, pero una demanda muy alta, lo que provoca una cantidad importante de reposiciones. El aumento de la exposición de este producto no solo potencia sus ventas, sino que reduce la cantidad de reposiciones.

En la Tabla 22, se indican las variaciones observadas a nivel de marcas en este caso de estudio.

<b>Marca</b>	<b>Optimizado</b>	<b>Línea de Base</b>	<b>Variación</b>
Marca A	73 %	68 %	+5 %
Marca B	12 %	19 %	-7 %
Otros	15 %	13 %	+2 %

Tabla 22: Variación de fracciones ocupadas para jabón líquido por marca, sucursal grande. Elaboración propia.

Se constata el cumplimiento de los comerciales. Además, se amplían los espacios de exhibición para la Marca A y otras, en detrimento de la Marca B. Aunque los productos de la Marca B cuentan con un margen relativamente alto, al ponderar de manera conjunta el margen y la demanda, resulta más rentable potenciar los productos de otras marcas. Como resultado, la exposición de la Marca B se ha reducido, apenas superando en la actualidad el límite inferior establecido por el acuerdo comercial.

En la siguiente figura se puede observar el planograma generado con el modelo:

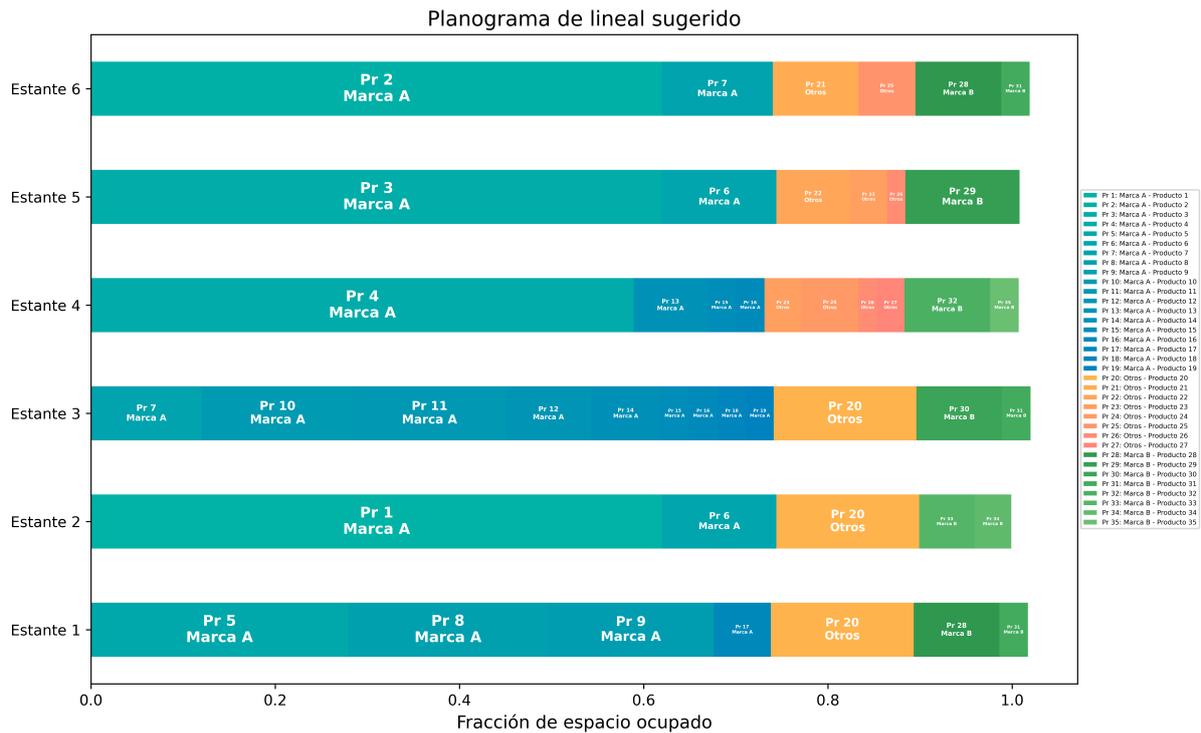


Figura 15: Planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal grande. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 30 junto con la orden de trabajo generada en la Tabla 68.

### 7.3.2. Sucursal mediana

El segundo caso estudiado en esta categoría es en la sucursal mediana. El tiempo de ejecución fue de 900 segundos y el modelo devolvió una solución que presenta una diferencia con la solución dual de 0,5%. Tanto en este caso como en el anterior, se detuvo el modelo antes de hallar una solución óptima, dado que la diferencia se consideraba aceptable.

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+14,6%
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-65,7%

Tabla 23: Resultados de la función objetivo y valor de R para jabones líquidos para lava ropas, sucursal mediana. Elaboración propia.

Respecto a los resultados, se observan valores muy similares a los de la sucursal grande, aunque en este caso la variación tanto de ganancias esperadas y de reposiciones tienen una magnitud un poco mayor.

El efecto del modelo en las reposiciones es muy similar al caso anterior. En este caso existe un producto en particular con una alta demanda y solamente un *facing*, lo cual hacía que la

rotación fuera muy alta. En la solución se aumentan al máximo los *facings* de este producto, reduciendo los costos de reposición asociados.

Al analizar cómo se compone la mejora en el rendimiento económico derivada de las ventas, se observa que solo algunos productos se destacan por superar las cien unidades vendidas. En estos casos, las ventas se potencian significativamente al aumentar al máximo posible el espacio de exposición. Por otro lado, hay productos que, aunque no presentan una demanda o un margen particularmente altos, cuentan con un espacio de exhibición relevante. La combinación de estos factores contribuye al resultado global de la categoría, logrando un impacto positivo en el desempeño económico.

A continuación, se presentan las variaciones del espacio asignado por marca en la estantería:

Marca	Optimizado	Línea de Base	Variación
Marca A	68 %	53 %	+15 %
Marca B	12 %	18 %	-6 %
Otros	20 %	29 %	-9 %

Tabla 24: Variación de fracciones ocupadas por marca, sucursal mediana. Elaboración propia.

En líneas generales, la sugerencia de exhibición es muy similar al caso previo. Se destaca que hay un aumento importante en la exposición de la Marca A, ya que inicialmente el compromiso comercial con dicha marca no se estaba cumpliendo en esta y el modelo corrige esta situación.

Es importante destacar que, al calcular el porcentaje de la estantería ocupado por las marcas, parece que se cumple el acuerdo con la Marca B, pero que no se respeta el de la Marca A. Esto se debe a que el modelo asigna fracciones de estantería a cada marca y luego distribuye los productos dentro de esas fracciones, pudiendo asignar productos que no sumen exactamente la fracción de la marca. En este caso, se ha asignado el 70 % de la estantería a la Marca A, pero, debido a la variación de tamaños de los productos, quedan pequeños espacios vacíos que hacen que no se alcance el valor acordado exactamente. En este caso, considerando la mínima diferencia, se asume que se está en cumplimiento del acuerdo comercial.

En la siguiente figura se muestra el planograma del despliegue propuesto:

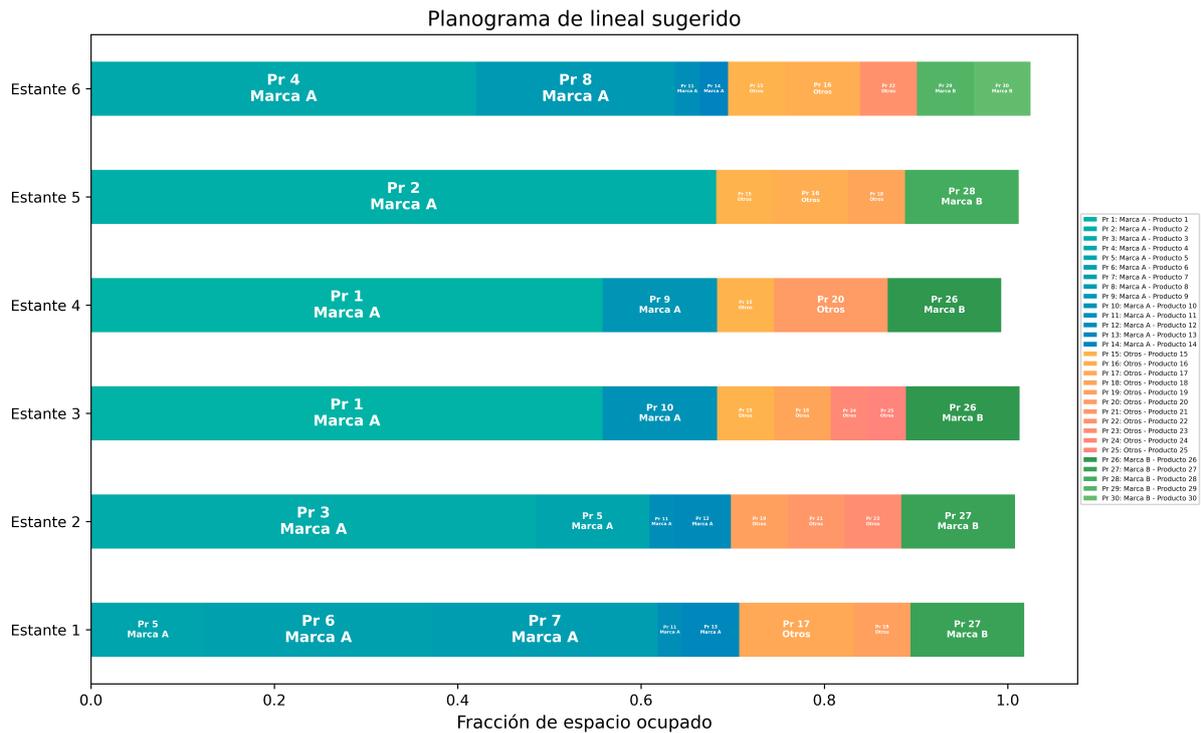


Figura 16: Planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal mediana. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 31 junto con la orden de trabajo generada en la Tabla 69.

### 7.3.3. Sucursal pequeña

Por último, el caso de estudio de la sucursal pequeña, contando con solo cinco estantes y 39 referencias. La solución óptima fue hallada luego de 900 segundos. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+7,2 %
Variación de R (cantidad de reposiciones)	+0,0 %

Tabla 25: Resultados de la función objetivo y valor de R para Jabones Líquidos para lava ropas, sucursal pequeña. Elaboración propia.

Se destaca que hubo un aumento en el beneficio de esta familia de productos, aunque de magnitud considerablemente menor al obtenido en la sucursal grande y la mediana. Por otro lado, no hay variación en la cantidad de reposiciones. Esto podría indicar que no hay desviaciones importantes en la situación inicial, con productos con alta demanda pero con muy poco espacio de exhibición. De lo contrario, una corrección en la exhibición de dichos productos impulsaría una mejora en los costos de reposición.

Otro punto por destacar es que en esta sucursal tienen un espacio significativamente menor que

en las otras estudiadas. Eso es coherente con la demanda, dado que es un producto de rotación mucho más baja que en sucursales de mayor extensión. En línea con esto, el modelo se ve forzado a ubicar un surtido relativamente amplio en un espacio muy limitado, por lo que potencia a los mejores productos y da un espacio de exposición mínima al resto (57 % de los productos solo cuentan con un *facing*).

A continuación, se presenta la variación de la fracción de cada marca para la sucursal pequeña:

Marca	Optimizado	Línea de Base	Variación
Marca A	62 %	66 %	-4 %
Marca B	13 %	22 %	-9 %
Otros	25 %	12 %	+13 %

Tabla 26: Variación de fracciones ocupadas para jabón líquido por marca, sucursal pequeña. Elaboración propia.

El primer punto a considerar es el hecho de que la restricción comercial para la Marca A no era factible. Por esto, se decidió relajar la cota inferior de la fracción de estantería a ser adjudicada a esta Marca de 70 % a 50 %. Una vez flexibilizado el acuerdo, se obtuvo una solución factible donde a la Marca A se le otorga el 62 % del espacio asignado. Esta situación se debe a que el espacio que se le destina a esta categoría en esta sucursal de menores dimensiones es considerablemente menor. Mas allá de esto, se repite el patrón de respetar el acuerdo comercial con la Marca B, sin adjudicar excesivamente más espacio del acordado y optimizando el resto del espacio de exhibición entre la Marca A y Otros. En línea con este punto, se puede observar el pasaje de espacio de exhibición hacia la marca Otros, siendo que esta era la menos exhibida en la situación inicial.

Por último, se presenta el planograma sugerido para el caso estudiado:

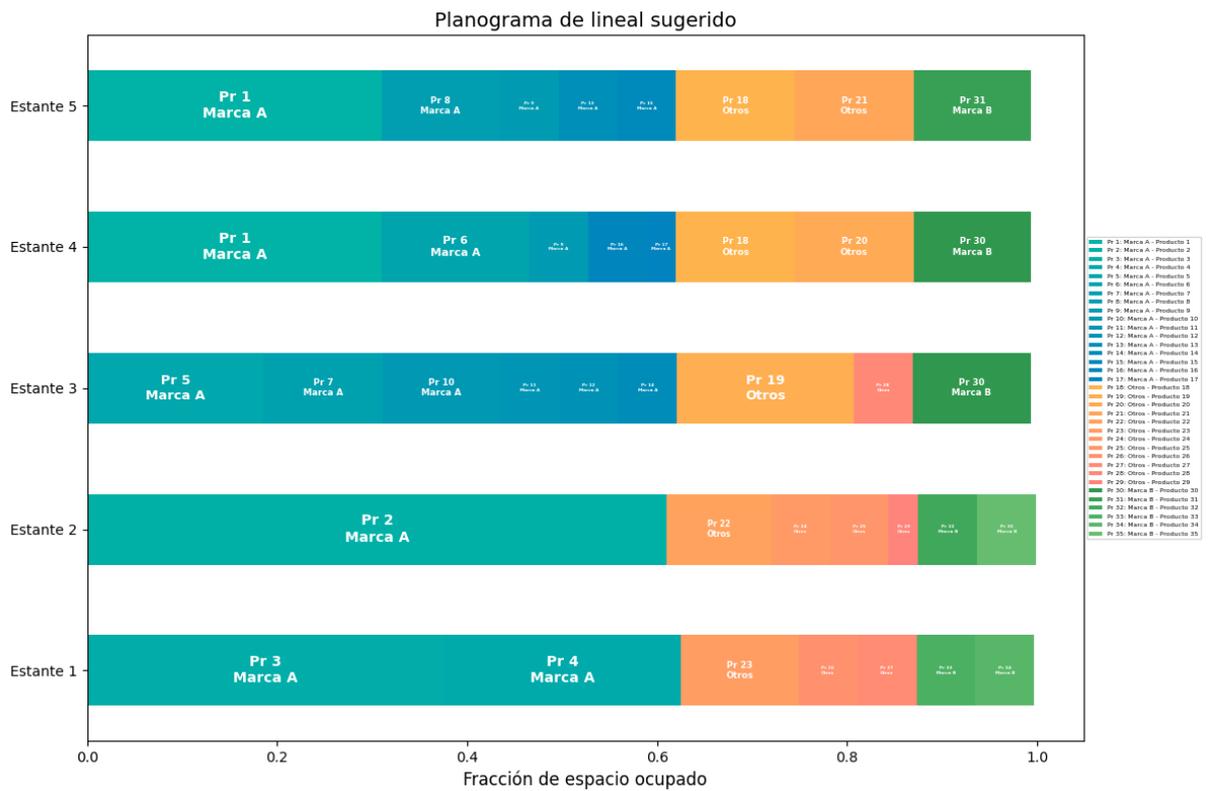


Figura 17: Planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal pequeña. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 32 junto con la orden de trabajo generada en la Tabla 70.

### 7.3.4. Comparación entre sucursales

En último lugar, se realiza un análisis comparativo de los resultados de esta familia de productos. A continuación se presenta la comparación de resultados:

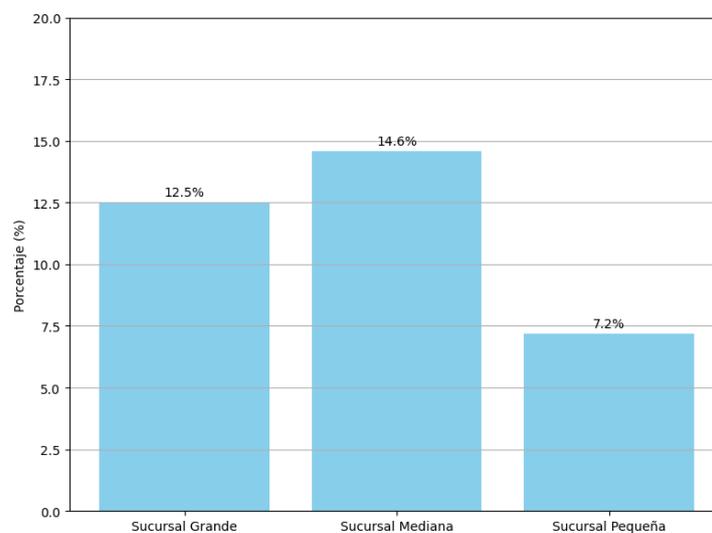


Figura 18: Comparación de beneficios obtenidos en jabón líquido. Elaboración propia.

Como en los casos anteriores, se vuelve a obtener un aumento de los beneficios en todas las sucursales analizadas. La sucursal con mayores beneficios es la mediana, seguida de la grande y la pequeña. La sucursal pequeña presenta las mejoras más modestas en los tres casos de estudio presentados. Sin embargo, esto podría ser debido a la estabilidad de los casos y un menor margen de mejora ligado al reducido espacio disponible. En las sucursales grande y mediana, las exhibiciones y la variedad de artículos son mayores. Esto permite encontrar productos con interesante potencial de mejora que el modelo puede explotar a favor de los beneficios.

A continuación, están detalladas las variaciones en la cantidad de reposiciones en cada sucursal:

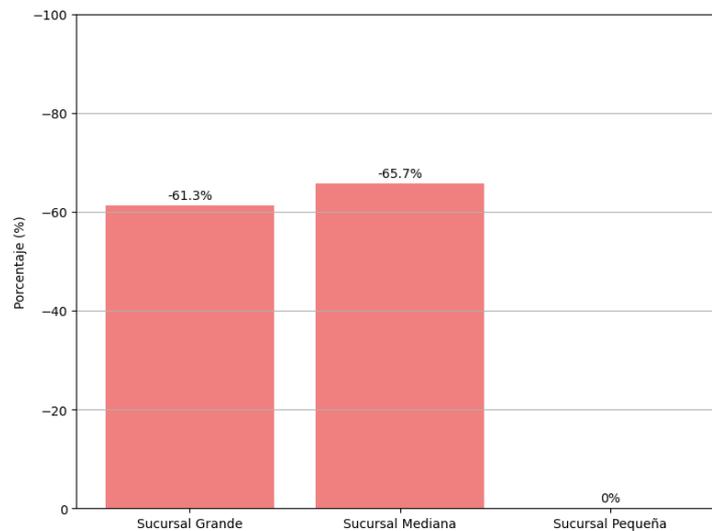


Figura 19: Comparación de la variación en la cantidad de reposiciones en jabón líquido. Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, la sucursal pequeña mantuvo las reposiciones sin cambios. Esto se debe a que no hay productos con alta demanda y baja exhibición en la situación inicial, y al limitado espacio de exposición disponible. Esto limita considerablemente las posibilidades del modelo de adoptar configuraciones que reduzcan el costo de reposición. Estas condiciones limitan la optimización casi exclusivamente a la exhibición de productos que mejoren ligeramente sus ventas y que tengan un margen de contribución mayor.

Por otro lado, en las sucursales mediana y grande, se observa un patrón similar al de otras categorías analizadas, con ahorros en los costos de reposición de magnitud significativa. En estos casos, el aumento en la exposición de productos con mayor rotación, combinado con una mejor utilización del espacio disponible, permitió reducir la frecuencia de reposición y a la vez potenciar las ventas.

## 8. Análisis de sensibilidad

El objetivo de esta sección es analizar cómo responde el modelo frente a cambios en los parámetros. De esta manera, se busca evaluar y conocer profundamente cómo el modelo resuelve a partir de la formulación propuesta.

El modelo desarrollado puede requerir de cuantiosos recursos en términos de cómputo para algunas familias de productos, como fue visto en la sección anterior. Por lo que realizar el análisis de sensibilidad para todas las familias de productos estudiadas en este proyecto, sumado a la variación por cada tamaño de sucursal, presenta un costo demasiado elevado. A su vez, esto no permite profundizar lo suficiente el análisis, puesto que los criterios deberían ser reducidos. Por estos motivos, se seleccionó el caso de aguas cloradas en la sucursal grande para desarrollar el análisis de sensibilidad. De esta manera, es posible abarcar un mayor número de casos de interés sin perder la validez y capacidad de generalizar para otros casos más adelante. La elección de la sucursal grande se da principalmente porque es la que tiene mayor variedad de productos para la familia seleccionada. Pero también debido al espacio para dicha familia, permitiendo más configuraciones. De este modo, se logra captar la esencia de familias de mayor volumen en un número reducido de productos.

Previo a comenzar el análisis, se debe mencionar que el costo computacional y tiempo consumido para ejecutar el modelo y alcanzar la solución no son excluyentes con la realidad de una cadena de supermercados. Es decir, llevado a la práctica, es posible que el análisis completo de una sucursal lleve algunas semanas o incluso meses para optimizar y luego aplicar los cambios. Se menciona este aspecto para aclarar que no se busca solamente ahorrar tiempo con la reducción de casos de estudio en el análisis de sensibilidad, dado que esto podría ser un problema más adelante. El objetivo es poder abarcar más casos de interés y en mayor profundidad, manteniendo la aplicabilidad de los resultados obtenidos para futuros estudios y para la implementación en otras familias de productos y sucursales.

### 8.1. Elasticidad de la demanda

En primer lugar, resulta interesante el estudio de cómo afecta la elasticidad de la demanda al modelo planteado. El valor utilizado para  $\beta$  fue de 0,2 según la bibliografía (Eisend (2013) & Hübner y Kuhn (2023)). Según otros autores, los productos de alta impulsividad (dulces, refrescos o golosinas) en general presentan una elasticidad mayor, mientras que los artículos básicos una significativamente menor. Dado que el caso de aplicación es aguas cloradas, un producto básico de limpieza, hace mayor sentido estudiar cómo responde el modelo frente a una disminución de la elasticidad. Igualmente, para evaluar la respuesta del modelo, también se analizó un caso de incremento de la elasticidad, aunque no sea coherente con la familia analizada.

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para la variación de la función objetivo y la cantidad de reposiciones. En todos los casos se compara contra el caso base (situación inicial). Se vuelven a presentar los resultados para el caso optimizado, con  $\beta = 0,2$ , con el objetivo de comparar los hallazgos de este análisis de sensibilidad con aquellos obtenidos en la sección anterior.

Descripción	Valor de $\beta$			
	0,1	0,15	0,2	0,25
Función objetivo	+4,1 %	+5,4 %	+7,4 %	+8,3 %
Valor de R (Cantidad de reposiciones)	-1,9 %	-1,9 %	-1,9 %	-1,9 %

Tabla 27: Resultados del análisis de sensibilidad para la elasticidad de la demanda en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

El primer punto para considerar de los resultados es la consistencia de estos. Por un lado, en ningún caso es posible que el modelo proponga una solución que empeore los resultados de la línea de base. Esto es porque, en el peor de los casos, debería proponer mantener todo exactamente como está en la realidad. Por otro lado, es consistente que a medida que aumenta la elasticidad del espacio aumente el beneficio.

Frente a un crecimiento de la elasticidad del espacio, se favorecen mayores exhibiciones de productos con potencial. Estos productos son aquellos que tienen una venta elevada en comparación con el espacio asignado, respecto a otros productos de la misma estantería. Por este motivo, cabe esperar que frente a un aumento progresivo de la elasticidad aumente también el beneficio.

Para todos los casos de variación de  $\beta$ , la función objetivo presenta mejoras coherentes respecto a la bibliografía, especialmente para valores menores del parámetro que son esperables en productos de necesidad básica como las aguas cloradas. Si bien no es esperable percibir una elasticidad mayor, el caso de  $\beta = 0,25$  también ofrece una solución coherente.

Respecto a las reposiciones, los valores se mantienen para todos los casos y para todos ellos la cantidad máxima de reposiciones es determinada por el mismo producto. Este comportamiento no es necesariamente el esperado, pero está dentro de los escenarios posibles. Dado que al disminuir la elasticidad las ventas crecen en menor medida con el espacio asignado, podría esperarse que la cantidad de reposiciones disminuya al disminuir la elasticidad. Sin embargo, estas se mantienen en todos los casos. No obstante, es importante destacar que las reposiciones no aumentaron, lo que es consistente con la formulación del modelo. Nuevamente, si la demanda aumenta en menor medida con el espacio, no cabe esperar un aumento en la cantidad de reposiciones.

Por último, es conveniente evaluar las variaciones en la exhibición más allá de las variaciones de la función objetivo y cantidad de reposiciones. Debido a la cantidad de análisis realizados, se presentan únicamente tablas de resumen de variación de las fracciones por marca para identificar alguna modificación significativa. Los valores presentados en la tabla representan la fracción asignada a la marca para el valor de  $\beta$  indicado en la columna.

Marca	Valor de Beta			
	0,1	0,15	0,2	0,25
Marca A	44,1 %	41,9 %	44,1 %	41,5 %
Marca B	9,9 %	9,9 %	9,9 %	9,9 %
Marca P	21,4 %	21,4 %	21,4 %	21,4 %
Otros	24,6 %	26,7 %	24,6 %	27,1 %

Tabla 28: Valor de la fracción ocupada por marca para diferentes valores de  $\beta$  para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia.

La Tabla 28 presenta claramente que, frente a una variación en la elasticidad de la demanda, no hay mayores modificaciones en la asignación del espacio por marcas. Esto parece indicar que, en el caso inicial, donde  $\beta$  tiene un valor de 0,2, el sistema ya está saturado, maximizando la exhibición de productos con mayor potencial. Frente a una disminución del parámetro, este estado se mantiene, variando muy levemente la fracción de exhibición de la Marca A para Otros.

## 8.2. Costo de reposición

El segundo caso analizado se enfoca en el costo de reposición. Dicho costo es calculado en función de las horas que demora el operario en realizar la tarea. Por este motivo, un aumento o una disminución del costo de reposición puede ser causado por dos factores: la productividad por hora y el costo por hora. Si a través de cambios en los procesos se disminuye o aumenta el tiempo de reposición, se están afectando los costos. Sucede lo mismo en el caso en que disminuye o aumenta el costo por hora. Si bien es posible obtener mejoras en los procesos que puedan disminuir el costo reposición, este caso es generalmente más difícil de alcanzar. Por este motivo, interesa evaluar principalmente las soluciones del modelo frente a aumentos progresivos del costo de reposición. Sin perjuicio de ello, se analizó también un caso de reducción del costo, donde se pueda brindar visibilidad a la empresa de posibles beneficios de mejorar sus procesos.

Por otra parte, resulta de interés analizar este parámetro, ya que fue señalado por la organización como un factor relevante para la optimización. A su vez, es el costo de mayor impacto en la función objetivo, si se lo compara con el costo de inventario.

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos en los casos analizados:

Descripción	Variación del costo de reposición			
	-25 %	0 %	+25 %	+50 %
Función objetivo	+8,4 %	+7,4 %	+4,9 %	+3,2 %
Valor de R (Cantidad de reposiciones)	-1,9 %	-1,9 %	-1,9 %	-1,9 %

Tabla 29: Resultados del análisis de sensibilidad para el costo de reposición en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

En primer lugar, la evolución de la función objetivo frente al aumento del costo de reposición es acorde a lo esperado. Al incrementar el costo de reposición, se penaliza la función objetivo, disminuyendo los beneficios. Resulta interesante que, frente a un incremento del 50 % del costo, el beneficio se reduce más de un 55 %. Si bien es improbable que en el corto plazo se produzcan cambios semejantes en los costos, se plantea una advertencia frente a la baja productividad.

En segundo lugar, se destaca que no hay cambio en la cantidad de reposiciones frente al caso optimizado de la sección 7.1.1. Como en el primer caso de análisis de sensibilidad, se trata de un escenario posible, pero quizás no el más esperado. A mayor costo de mano de obra, parece probable que el modelo opte por arreglos que requieran menos reposiciones y, por ende, menor gasto. No obstante, analizando el artículo que condiciona las reposiciones, se ve que en todos los casos continúa siendo el mismo, pero que además tiene la mayor cantidad de frentes posibles ya asignados. Este punto es especialmente importante, puesto que no se pueden reducir las reposiciones de este artículo agregando más frentes. Una posibilidad sería combinar el análisis del aumento de costos de reposición con variaciones en la cantidad máxima de frentes que se pueden colocar.

A continuación se presentan las variaciones de la fracción asignada a cada marca, para cada caso estudiado de este análisis:

Marca	Variación del costo de reposición			
	-25 %	0 %	+25 %	+50 %
Marca A	42,1 %	41,9 %	44,3 %	41,9 %
Marca B	10,0 %	9,9 %	10,0 %	9,9 %
Marca P	21,5 %	21,5 %	21,4 %	21,4 %
Otros	26,4 %	26,7 %	24,2 %	26,7 %

Tabla 30: Valor de la fracción ocupada por marca para diferentes valores de  $\beta$  para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia.

Se destaca que para cualquiera de las variaciones en el costo de reposición, las asignaciones son prácticamente iguales. Esto es esperable, puesto que no es posible responder al aumento en el costo de reposición de manera efectiva. El producto que condiciona las reposiciones está exhibido al máximo, haciendo imposible bajar el costo de mano de obra.

### 8.3. Umbral de reposiciones

El tercer caso analizado es el umbral de reposiciones definido. Como fue mencionado previamente, este parámetro se relaciona directamente con el nivel de servicio al que se aspira en la organización. El valor representa la fracción del total exhibido de un artículo que puede ser vendido sin necesitar una reposición. El umbral utilizado para la optimización es de 20 %. Un umbral superior permite una estantería más vacía, sujeto a una apariencia visual comprometida. Dado que para la organización la apariencia de la exhibición es fundamental, conocer las variaciones en las soluciones frente a variaciones en el umbral resulta de especial interés.

El análisis de sensibilidad sobre este parámetro permite entender cómo afecta el nivel de servicio brindado a la función objetivo. El objetivo final debe ser conseguir el mayor nivel de servicio

posible, manteniendo las reposiciones controladas. Es importante destacar que las reposiciones no solamente tienen un costo que afecta el beneficio, pero también interrumpen el flujo natural de compras de los clientes. Por ello, no es conveniente estar constantemente reponiendo, aunque el beneficio sea difícil de cuantificar.

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para distintos valores de umbral estudiados:

Descripción	Valor del umbral de reposición				
	30 %	25 %	20 %	15 %	10 %
Función objetivo	+9,0 %	+8,2 %	+7,4 %	+4,4 %	-0,6 %
Valor de R (Cantidad de reposiciones)	-34,6 %	-21,2 %	-1,9 %	+30,8 %	+98,1 %

Tabla 31: Resultados del análisis de sensibilidad para el umbral de reposición de aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

A diferencia de los análisis anteriores, era esperable obtener beneficios menores a los de la línea de base (previo a la optimización) en algunos casos. Esto es porque al definir valores de umbral más pequeños, serán necesarias más reposiciones. Sin embargo, para valores mayores de umbral, se incrementan significativamente los beneficios. Este resultado también es esperable, puesto que se reponen menos veces.

La primera tendencia a analizar es la disminución progresiva de los beneficios a medida que se disminuye el umbral de reposición. Este resultado es esperable y coherente con la realidad: para mantener un nivel de servicio más alto, los costos son cada vez mayores. De hecho, es cada vez más costoso disminuir el umbral. Parte de este análisis de sensibilidad refuerza la teoría de que 20 % es un valor adecuado de exigencia para garantizar disponibilidad y mantener la correcta apariencia de la exhibición.

La segunda tendencia a analizar es el aumento vertiginoso de las reposiciones con la disminución del umbral. Para los casos donde se aumenta el umbral (25 % y 30 %), los beneficios mejoran un punto porcentual en cada caso. Sin embargo, al seguir disminuyendo a 15 % y 10 %, el nivel de exigencia de disponibilidad incrementa notoriamente las reposiciones a casi el doble con un umbral de 10 % comparado con el caso base de 20 %.

Para continuar analizando, se presenta la tabla de variación de las fracciones por marca para cada valor de umbral planteado:

Marca	Umbral de reposición				
	30 %	25 %	20 %	15 %	10 %
Marca A	44,0 %	46,3 %	41,9 %	46,3 %	41,5 %
Marca B	9,9 %	9,9 %	9,9 %	9,9 %	9,9 %
Marca P	21,4 %	21,4 %	21,5 %	21,5 %	21,4 %
Otros	24,6 %	22,4 %	26,7 %	22,4 %	27,2 %

Tabla 32: Valor de la fracción ocupada por marca para diferentes valores de  $\beta$  para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

De la Tabla 32 se deduce que los únicos cambios de fracción son entre Marca A y Otros, puesto que Marca B y Marca P mantienen sus valores en todos los casos. Sin embargo, al tratarse de cambios mínimos, se puede afirmar que no impactan sensiblemente los beneficios. Esto refuerza la teoría de que los planogramas optimizados originalmente son las mejores opciones, a pesar de las diversas penalizaciones o relajaciones que se puedan hacer. A modo de ejemplo, la reducción del umbral plantea escenarios donde podría ser conveniente exhibir productos menos convenientes, dado que van a venderse menos y podría evitarse reponer. No obstante, por la naturaleza de los pesos relativos de cada factor, sigue siendo mejor exponer de la manera en que se maximicen los beneficios y se pague el costo que sea necesario.

#### 8.4. Cantidad de frentes

En varios de los casos estudiados, el modelo asigna los extremos de frentes posibles: el mínimo o el máximo. Estudiar la respuesta del modelo frente a una variación de la cantidad máxima de frentes que se pueden colocar puede ser útil para encontrar oportunidades de mejora. La cantidad máxima posible de *facings* está definida como un criterio para evitar la sobre exhibición de algunos artículos en detrimento de la exhibición de otros. Para el análisis, se evalúan los resultados de dos incrementos y una disminución del parámetro.

El caso de la disminución del parámetro es un caso poco realista que busca conocer los resultados del modelo frente a una exhibición que es forzada a ser más equilibrada. Los casos de incremento resultan de mayor interés, puesto que pueden ofrecer mayores beneficios que los hallados inicialmente.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las siguientes variaciones en la cantidad máxima de frentes:

Descripción	Variación del máximo de frentes			
	-50 %	0 %	+25 %	+50 %
Función objetivo	-9,2 %	+7,4 %	+9,3 %	+10,5 %
Valor de R (Cantidad de reposiciones)	+73,1 %	-1,9 %	-17,3 %	-28,8 %

Tabla 33: Resultados del análisis de sensibilidad para la cantidad máxima de frentes de aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

Como se comentaba anteriormente, en varios casos la cantidad máxima de frentes fue asignada por el modelo. Por este motivo, se espera que un aumento en dicho parámetro permita obtener mejores configuraciones tanto por aumento de ventas, como por reducción del costo de reposición. Por el contrario, se espera que, frente a una disminución del parámetro, la solución hallada sea peor. Esto se da tanto por la obligación de exponer productos con baja venta, como por la necesidad de reponer excesivamente aquellos que venden mejor.

Resulta de interés el crecimiento de los beneficios obtenido a partir del aumento del parámetro  $K_{max}$ . Si bien el aumento en la cantidad máxima de frentes es significativo, en unidades es perfectamente aplicable. Dado que para todos los casos de estudio de este informe se utiliza  $K_{max}$  de 20 a 24 unidades, es perfectamente posible aumentar este número a 30 o 36 unidades respectivamente.

A continuación, se presenta la variación de las fracciones ocupadas por cada marca frente a los cambios del parámetro  $K_{max}$ :

Marca	Variación del máximo de frentes			
	-50 %	0 %	+25 %	+50 %
Marca A	38,3 %	41,9 %	38,9 %	35,5 %
Marca B	19,8 %	9,9 %	9,9 %	10,1 %
Marca P	9,9 %	21,5 %	25,4 %	32,0 %
Otros	32,0 %	26,7 %	25,8 %	22,4 %

Tabla 34: Valor de la fracción ocupada por marca para las variaciones de cantidad máxima de frentes para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia.

En este caso, por primera vez se ve una variación algo más significativa en las fracciones ocupadas por cada marca. Para el caso de disminución, la Marca B aumenta sus exhibiciones casi al doble, a costa de una disminución de Marca P. Tanto la Marca A como Otros varían moderadamente sus fracciones.

Para los casos de aumento de  $K_{max}$ , se ve beneficiada principalmente la Marca P. Cabe recordar que el producto que condiciona las reposiciones en el caso base de optimización pertenecía a dicha marca. Con cada aumento, la Marca P aumenta su participación en la estantería. Este

aumento se da a partir de leves pérdidas en la fracción de Marca A y Otros. El motivo para el aumento en los beneficios está parcialmente explicado por la disminución de la cantidad de reposiciones de -28,8% respecto al caso base.

## 8.5. Orden de las estanterías

Por último, se analiza el efecto de los criterios propuestos para la exhibición de mercadería en la estantería. Los criterios incorporados por el modelo son el formato de presentación, que busca forzar al modelo a colocar productos de similar tamaño en los mismos estantes, y la marca. Estos criterios fueron incorporados posterior al relevamiento de las exhibiciones en el punto de venta y validación con los equipos comerciales, *supply chain* y operaciones.

Debido a la dificultad de implementación, la incorporación de dichos criterios de ordenación al modelo se realizó en etapas posteriores. Por este motivo, fue posible explorar soluciones alternativas en etapas tempranas que no incluían restricciones que permiten ordenar la mercadería fácilmente. Para el análisis de sensibilidad, resulta interesante conocer si hay un beneficio potencial detrás de la relajación de las restricciones de orden.

El análisis se desarrolla en tres etapas: relajar solo el formato, permitiendo diferentes formatos coexistir en los estantes; relajar solo la fracción por marca, manteniendo el formato por estante, pero permitiendo que la fracción ocupada por cada marca varíe en cada estante; y relajar ambas simultáneamente.

Por último, es importante destacar que el análisis de todas estas variantes no es directamente aplicable a la realidad, más puede representar una recomendación para explorar soluciones similares para las propuestas de exhibición. En todos los casos se presenta el planograma sugerido para enseñar la falta de organización en la solución propuesta.

### 8.5.1. Relajación de formatos

En primer lugar, se relajan las restricciones de formato aplicando el mismo formato para todos los productos en el archivo de datos. Esto permite colocar productos de diferentes formatos en el mismo estante, pero manteniendo la fracción por marca. En la práctica, esta es una de las primeras versiones del modelo que podría ser funcional. Se mantiene coherencia visual con los tamaños y, al haber poca variedad, se forman bloques que pueden ser aceptables. A continuación, se presentan los resultados obtenidos frente a la línea de base:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+11,2%
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	-1,9%

Tabla 35: Resultados de la función objetivo y valor de R para relajación de formatos en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

Como se mencionó previamente, se debe comparar la solución hallada con la optimización realizada en la sección anterior. El aumento de los beneficios es notable, creciendo de 7,4% a 11,2%. No hay modificaciones en cuanto a las reposiciones respecto al caso optimizado de la sección anterior.

A continuación, se presenta el planograma sugerido para continuar el análisis:

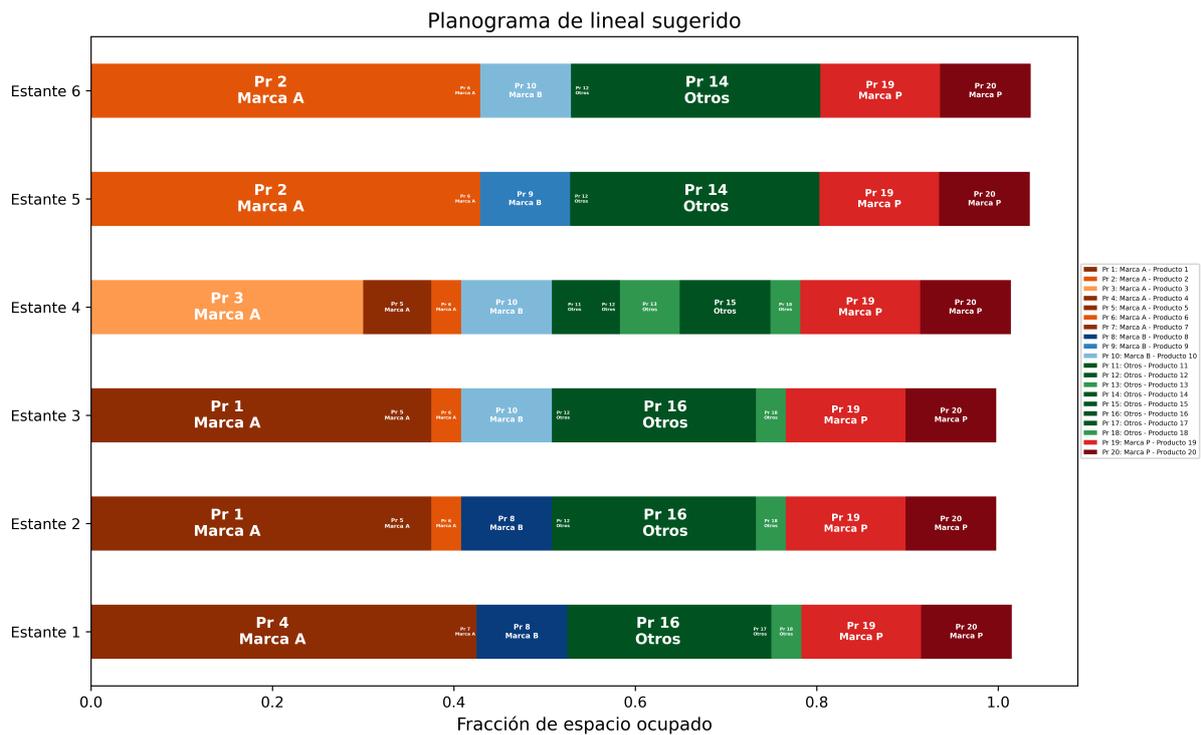


Figura 20: Planograma de ocupación sugerido con fracción marca con más de un formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 33.

Para presentar los resultados se optó por un color por marca y una tonalidad diferente por formato para lograr diferenciar las presentaciones. Al presentar los resultados en la sección anterior, en cada estante hay productos del mismo formato, por lo que no era necesaria dicha diferenciación.

Visualmente, este arreglo continúa siendo aplicable en la práctica, pero se verían ciertas inconsistencias que pueden ser percibidas como cierto desorden. No obstante, parece interesante considerar esta posibilidad o alguna combinación intermedia entre formatos, teniendo en cuenta los posibles beneficios.

### 8.5.2. Relajación de marcas

En segundo lugar, se relajan las restricciones de fracción ocupada por marca. Esto permite al modelo resolver solamente respetando los formatos por estante. Al crecer la variedad de productos se dificulta notoriamente la ordenación si no se incorpora la fracción de ocupación marca. El resultado obtenido se resume en la siguiente tabla:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+8,1 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	+13,5 %

Tabla 36: Resultados de la función objetivo y valor de R para relajación de fracción ocupada por marca en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

Si se comparan los resultados con el resultado optimizado en la sección anterior de +7,4% para el beneficio y -1,9% para las reposiciones, el resultado no es muy prometedor, especialmente con la dificultad que presenta luego para ordenar. Para continuar el análisis, se presenta el planograma sugerido para dicha solución:

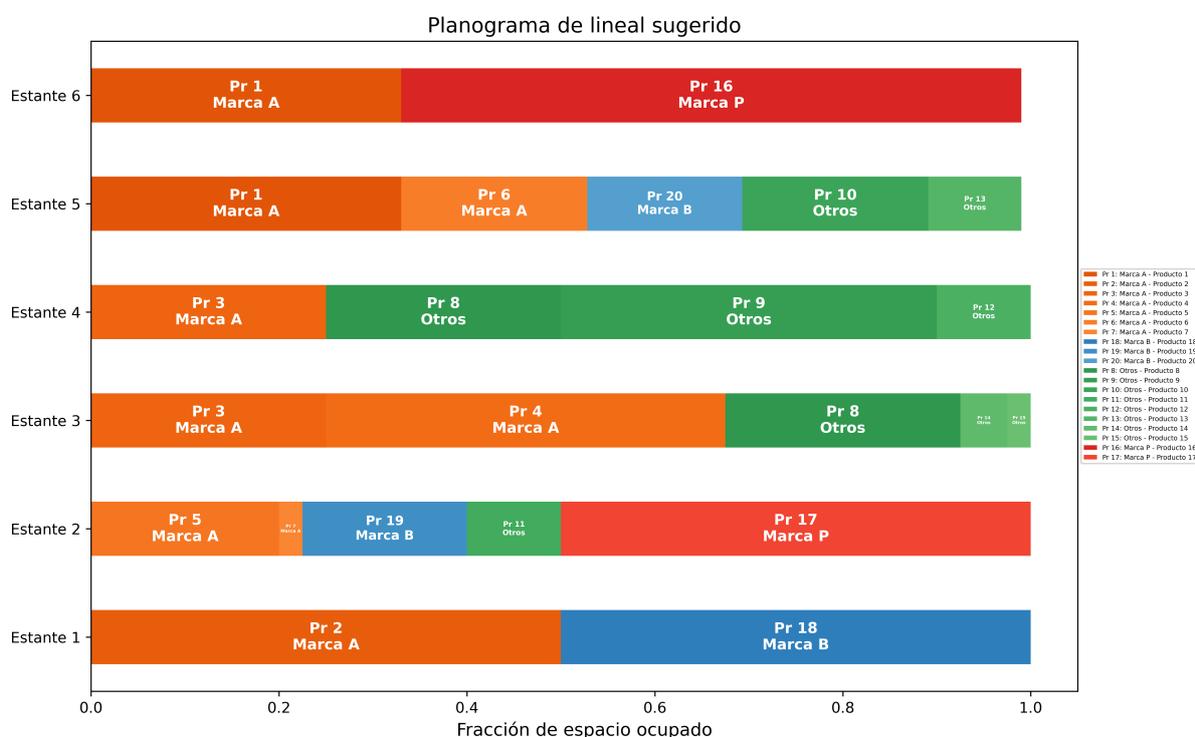


Figura 21: Planograma de ocupación sugerido sin fracción marca, respetando formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 34.

Al no forzar la participación de todas las marcas en cada estante, se generan inconsistencias importantes como se ve en el estante superior y en la mayoría de los intermedios. Está claro que el universo de posibilidades de ordenación no está cubierto completamente por las opciones propuestas en este trabajo. Existe la posibilidad de unir las marcas o realizar balances diferentes entre las asignaciones para lograr mejorar la exhibición en la práctica. Sin embargo, parte importante del trabajo propuesto es desarrollar una herramienta sistemática de toma de decisiones. Esto implica necesariamente definir criterios que sean robustos para poder ser aplicados en casos de diversas familias de productos, pero a la vez flexibles para los desafíos que estas familias plantean individualmente. Es posible que la solución propuesta para el caso donde no se considera la fracción por marca y solo se considera el formato escape a las posibilidades del modelo desarrollado. Si se busca optimizar específicamente este caso, es probable que haga falta incluir nuevas restricciones y modificar las existentes.

Respecto a la mejora, parece que el costo a nivel de orden es mayor que el posible beneficio (+0,5%). Por este motivo, no sería recomendable avanzar sin considerar la fracción ocupada por marca.

### 8.5.3. Libre ordenación

Para el último caso de estudio, se eliminan las restricciones de formato y de fracción ocupada por marca. Teniendo en cuenta el caso anterior, la eliminación de la fracción ocupada por marca

no parece ser el mejor camino por explorar. Sin embargo, interesa conocer si es posible encontrar un mejor orden y un mayor beneficio al liberar el formato en las restricciones. Los resultados obtenidos son moderadamente mejores que en el caso anterior, como se presentan en la siguiente tabla:

Descripción	Resultado obtenido
Variación de la función objetivo	+8,5 %
Variación de R (Cantidad de reposiciones)	+13,5 %

Tabla 37: Resultados de la función objetivo y valor de R para relajación de fracción ocupada por marca y formatos por estante en aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.

Resta verificar si es posible una mejor ordenación de los artículos que justifique esta posibilidad. El planograma sugerido es el siguiente:

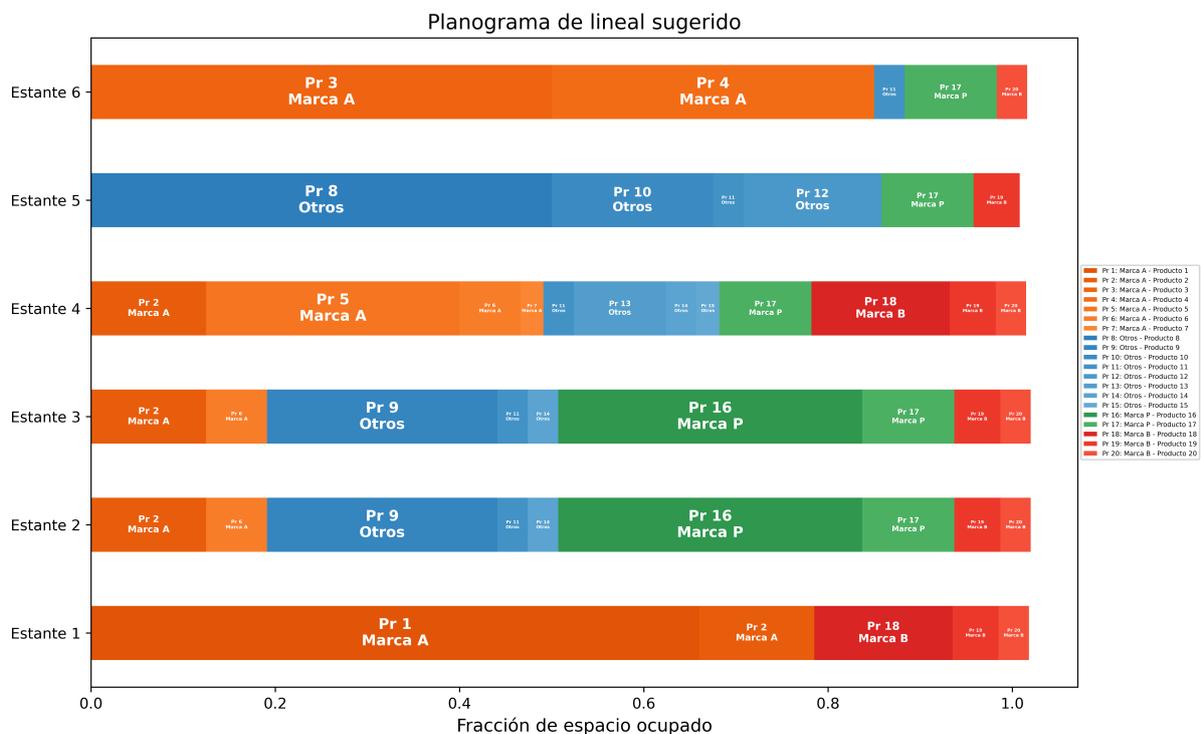


Figura 22: Planograma de ocupación sugerido sin fracción marca ni formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

La leyenda ampliada correspondiente al planograma anterior está disponible en la Figura 35.

Nuevamente, el orden propuesto es deficiente y no cumple con las directrices de la cadena de supermercados. Además, con la mejora limitada de beneficios ofrecida, no se poseen suficientes fundamentos para sugerir explorar esta posibilidad. Cabe mencionar que, a primera vista, el observador podría reordenar ciertos bloques con mínimos cambios en la cantidad de frentes. Sin embargo, esto constituye un paso en la dirección opuesta a lo que se busca con el trabajo: una herramienta sistemática para la toma de decisiones.

En resumen, respecto al análisis de sensibilidad para las opciones de ordenación, resulta recomendable explorar en una única dirección: mantener la fracción por marca, pero eliminar la restricción de los formatos. Esta parece ser la única propuesta que ofrece mejoras sensibles en los resultados sin mayores efectos adversos en la exhibición y la apariencia de las estanterías. El resto de las opciones ofrecen una mejora limitada que no justifica el desorden generado.

## 8.6. Conclusiones del análisis de sensibilidad

Para finalizar, se repasan los principales hallazgos y recomendaciones en función del análisis llevado a cabo. Se analizaron variaciones en cinco aristas de interés del modelo: elasticidad de la demanda, costos de reposición, umbral de reposiciones, cantidad máxima de frentes y los tipos de ordenación de los artículos.

En primer lugar, los primeros tres casos analizados no modifican sensiblemente la asignación de espacios por artículo o marca. En los tres casos, la forma del problema se mantiene: el término positivo de la función objetivo mantiene su peso relativo frente al resto de los términos. Por ello, el modelo no escatima en exhibir menos o hacer cambios significativos en las exhibiciones para reducir los costos. Por el contrario, mantiene la asignación de espacios, asumiendo los costos correspondientes cada vez. Es importante destacar este punto porque, a partir de cierto punto, la modificación de costos puede afectar sensiblemente los resultados de asignación. A modo de ejemplo, si el costo de reposición se multiplica por diez, es posible que el modelo empiece a considerar exponer productos de menor venta con tal de reponer menos. Aunque también es claro que una disminución del espacio exige reponer más veces en algunos casos. Sin embargo, estos casos no parecen alcanzarse en este análisis de sensibilidad. Este punto refuerza la validez de los datos obtenidos en buena medida, dado que el modelo se adapta bien a variaciones esperables de los parámetros.

En los siguientes dos casos se ven resultados más interesantes. Por un lado, el aumento de la cantidad máxima de frentes ofrece interesantes alternativas que puede valer la pena explorar para aumentar los beneficios. En muchos casos, poder colocar más frentes de algunos artículos puede descomprimir la presión de reposición. No obstante, es posible que a nivel comercial el costo sea exponer menos variedad de productos en términos de espacio. Los productos más vendidos se llevarían la gran mayoría de la ocupación. La vertiente que deseen perseguir es decisión de la cadena.

En cuanto a la ordenación, como se mencionó previamente, la recomendación podría ser explorar posibilidades de exhibición que permitan varios formatos por estante. Este aspecto podría ser profundizado, siendo que es posible desarrollar algunas variantes del modelo para obtener aún mejores resultados. Respecto a la fracción ocupada por marca, no es recomendable prescindir de su uso, puesto que es el elemento principal que asegura poder organizar de manera coherente la exhibición.

## 9. Consideraciones finales

En esta sección final se plantean tres ejes de discusión. En primer lugar, se plantea un breve plan de implementación de la herramienta en la organización. Se trata de un compendio de recomendaciones que el equipo de trabajo entiende que pueden facilitar la adopción y el uso de la herramienta. En segundo lugar, se discuten las conclusiones del trabajo final. Por último, se plantean las líneas de posibles trabajos futuros, complementarios a este trabajo.

Por otra parte, en esta sección final se presenta el acceso al repositorio digital en *Google Drive* con el modelo utilizado e información de interés. Por motivos de confidencialidad, no es posible compartir abiertamente los datos de entrada del modelo en cada caso.

### 9.1. Plan de implementación

El plan de implementación de la herramienta en la organización es clave para garantizar el mayor provecho en un entorno real. El proceso que lleva desde la solución matemática del modelo hasta el armado de la estantería en la tienda se detalla a continuación. El diagrama de flujo del proceso se puede visualizar en la Figura 36. Por cuestiones del dimensionado de la figura, se adjunta en el Anexo D.

El primer paso es la capacitación a los analistas de *supply chain*. Los analistas deberán familiarizarse con las herramientas proporcionadas para poder ejecutar el modelo e interpretar los resultados. A partir de estos, realizar el armado de los planogramas y las órdenes de trabajo.

Una vez capacitados los colaboradores del departamento, se recomienda seleccionar una tienda piloto que esté bajo el control directo de los actores encargados del proyecto dentro de la organización. Además, para realizar el proceso de relevamiento, es conveniente que la fuente de los datos sea fácilmente accesible para los analistas. Para la selección de la familia de productos, es importante que en el periodo a analizar no se registren acciones promocionales que afecten la demanda de dicha familia. Por otra parte, es esencial seleccionar familias de productos que no tengan un comportamiento estacional, ya que esta característica puede influir en los resultados.

Para relevar los datos necesarios, el analista deberá tener en cuenta dos fuentes principales de información. Por un lado, la base de datos del departamento de *supply chain* y, por otro, los datos que deben ser obtenidos en la sucursal. Una vez recopilados estos datos, el analista los utilizará para generar el archivo “CSV: Datos para modelado”, el cual será el insumo principal para ejecutar el modelo matemático.

De la base de datos del departamento de *supply chain* se extraen el código del *SKU*, nombre del producto asociado al mismo, marca, proveedor, demanda, costo y precio de venta. Datos como el nombre del producto son indiferentes para el modelo; sin embargo, sin este dato, el resultado del modelo no podría ser traducido a una orden de trabajo para el armado de las exhibiciones en el punto de venta.

Por otro lado, en la sucursal se relevará la cantidad de frentes actuales, la apilabilidad de cada producto, la profundidad, y la cantidad de estantes y estanterías. Esto puede realizarse a través del registro fotográfico en el punto de venta. En el futuro, se espera que el equipo de *category* cuente con registros actualizados y disponibles de las exhibiciones en cada sucursal para evitar este relevamiento. Este esfuerzo es indispensable para que los resultados de este proyecto puedan extenderse a todas las sucursales y múltiples familias de productos.

El archivo generado a partir de estos datos se utiliza como insumo para el modelo. Una vez que el *solver* obtiene la solución, devuelve dos archivos con los resultados en un formato conveniente. El primero se usa para generar una representación visual de la estantería, utilizando el código proporcionado para ese fin. El segundo archivo es una orden de trabajo que indica la cantidad

de frentes de cada uno de los productos que deben ser exhibidos en la estantería. En dicha orden se indica el nombre del producto, la referencia que aparece en el gráfico para facilitar su identificación, la marca y la cantidad de frentes que deben ser exhibidos en cada posición.

Para extender el uso de este modelo a más sucursales y familias de productos, es necesario hacer una evaluación de los resultados obtenidos. Se obtendrá una demanda esperada para el caso de estudio, que deberá contrastarse con la realidad observada en la tienda en los meses siguientes. En la tienda piloto, se reorganizará la exhibición de la familia de productos piloto según la solución del modelo, y se analizará si la demanda en los meses posteriores a la implementación se ajusta a lo esperado.

En la medida en que los resultados avancen según lo esperado, es conveniente probar los resultados en la misma familia en diferentes sucursales. Implementar la herramienta para una variedad de familias en una sucursal a la vez podría ser ineficiente, dado que resultados similares podrían no ser obtenidos en otras sucursales. Si esto es alertado a tiempo, es posible realizar modificaciones que permitan mejorar la aplicación de la herramienta. Idealmente, se debe proceder de forma incremental, validando los supuestos en cada punto de venta para cada familia previo a avanzar.

## 9.2. Conclusiones

El objetivo de este proyecto final de grado era lograr desarrollar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la exhibición de productos en supermercados. Para ello, se estudió la bibliografía relativa a modelos para la asignación de espacio de estanterías en el contexto de supermercados. Este problema es conocido como *Shelf Space Allocation Problem*. Se modeló la realidad de las exhibiciones de una cadena de supermercados uruguaya a través de un modelo matemático. A partir de los datos relevados en los puntos de venta y registros históricos se ejecutó el modelo buscando maximizar los beneficios en función de la exhibición y se analizaron resultados.

Los objetivos del trabajo se cumplieron ampliamente, tanto por conformidad de la organización como del equipo de trabajo. Se alcanzó una herramienta funcional de apoyo a la toma de decisiones de exhibición, se relevaron los aspectos principales de la operación y de la realidad de las exhibiciones y se hizo un relevamiento bibliográfico profundo para poder abordar el problema.

Tanto el estudio del caso como el desarrollo del modelo resultaron satisfactorios, brindando un gran valor a la organización. En esta línea, hay dos aspectos clave destacar. En primer lugar, la capacidad del modelo de ofrecer soluciones que mejoran las operaciones en el punto de venta, lo que mejora la experiencia del cliente al reducir la congestión en los espacios de tránsito. En segundo lugar, la robustez del modelo, que permite contemplar diferentes realidades presentes en cualquier sucursal, sin restringirse solamente a algunos casos particulares. Esto representa un salto de calidad en la definición de las exhibiciones y contribuye a mejorar los resultados globales de la organización.

Los resultados obtenidos son positivos en todos los casos y consistentes con la bibliografía, con la excepción de algunos resultados puntuales. A pesar de obtener resultados algo por encima de los valores esperados, estos están fundamentados en observaciones de la realidad. El principal hallazgo a partir de la aplicación de la herramienta es que los cambios en la exhibición favorecen el aumento de ventas a través de la asignación de espacio, pero también se promueven cambios que hacen más eficiente el proceso de reposición de las familias estudiadas. Ambos factores contribuyen al aumento de los beneficios.

Se destaca también, que más allá de los acuerdos comerciales, no fue posible detectar un criterio claro para la exhibición de productos a través de diferentes familias y puntos de venta. Esto

refuerza la hipótesis inicial de que la exhibición está fundamentalmente definida a través de la experiencia de algunos actores. A partir de este trabajo se puede asegurar que en todos los casos el modelo presenta oportunidades de mejora a considerar por la organización.

Como parte del trabajo, se presentó un plan de implementación para el uso de la herramienta. Este plan deberá ser revisado oportunamente con la organización donde se aplique la solución para buscar la menor cantidad de resistencias y garantizar el mejor uso posible de la herramienta.

Existen algunas limitaciones del modelo que se deben mencionar. Una de las principales es que no considera aspectos como el vencimiento de los productos. No obstante, es posible incluir dichos efectos a través de nuevas restricciones o penalizaciones en la función objetivo.

Es también una limitación que al momento no cuenta con una interfaz amigable para un usuario que desconoce cómo utilizarla. Se necesita una persona con algunos conocimientos básicos de programación para poder ejecutar el código y procesar los resultados. La herramienta se beneficiaría notoriamente de incluir una interfaz de trabajo sencilla pero que recorte las distancias para su uso. Por este punto es que se recomienda que el código sea ejecutado a nivel administrativo por un analista calificado, y no en el punto de venta.

Por último, una limitación considerable sobre la cual se debe trabajar es que aún existen algunas decisiones subjetivas inherentes al modelado. Una de ellas es la determinación de los productos que integran la marca “Otros” en cada caso, y la definición de los formatos de cada producto. Si bien en la mayoría de los casos es claro el criterio que utilizar, existen algunos productos o presentaciones que no pueden ser categorizados de manera clara y objetiva. Este aspecto constituye una clara oportunidad de mejora a futuro.

A pesar de las limitaciones, la herramienta cumple con el objetivo de brindar una respuesta clara y sencilla para ser aplicada en los puntos de venta. Este punto fue cubierto en la reunión final con la organización, donde se expresó conformidad por el trabajo realizado, su aplicabilidad y la similitud con de los resultados alcanzados con las prácticas en otras cadenas de supermercados a nivel mundial. Si bien no hay garantía de que se cumplan las estimaciones de beneficios, es un hecho que se va a obtener un arreglo de exhibición más adecuado según las ventas. Por otro lado, es posible ejecutar el modelo tantas veces como sea necesario, lo que permite hacer pruebas con distintos parámetros.

A través del análisis de sensibilidad se percibe la posibilidad de mejorar los resultados del modelo a través de la relajación de ciertas restricciones de ordenación, principalmente los formatos de presentación de productos. Este es un punto que merece la pena ser explorado. Sin embargo, la definición de fracción por marca probó ser una decisión acertada y que favorece el cumplimiento de las políticas de exhibición de la cadena.

### **9.3. Líneas de trabajo futuro**

En las distintas etapas del proyecto se modificó el alcance y fue necesario excluir algunas componentes de la herramienta desarrollada. Por ello, corresponde presentar algunas líneas de trabajo futuro que podrían favorecer el uso y desarrollo de la herramienta, que no fueron consideradas en este proyecto.

En primer lugar, sería interesante incluir modelos de demanda que incluyan la estacionalidad y permitan trabajar con pronósticos, en lugar de solamente con datos históricos. Esto permitiría preparar exhibiciones en función de lo que se espera de la demanda, considerando productos que hayan aumentado sus ventas en los últimos meses o productos novedosos. Este aspecto podría incorporar la consideración de aumentos repentinos de la demanda y cómo deberían estar preparadas las exhibiciones para ello. No obstante, este punto puede requerir importantes modificaciones, puesto que puede ser necesario cambiar algunos aspectos claves del modelo.

En segundo lugar, el modelo podría verse muy beneficiado del uso de herramientas de aprendizaje automático para la determinación de la relación entre el espacio y la demanda. Para esta herramienta, la relación entre las ventas y el espacio depende solamente del dato histórico de ventas para cada producto y la cantidad de frentes con la que se alcanzaron. Si en lugar de esto, se utiliza aprendizaje automático para definir como varían las ventas de cada producto en función del espacio asignado, los resultados del modelo serían notablemente más precisos. Para ello es necesario un importante trabajo de relevamiento y experimentación en el punto de venta.

## A. Anexo A - Validación del modelo

### A.1. Caso de Validación N° 1

Producto	Marca	Demanda	Margen	Fracción	Estantes Def
Producto 1	Marca A	181	51,22	0,063	1

Tabla 38: Datos del caso de validación N° 1. Elaboración propia.

Producto	Frentes	Estante	Fracción Ocupada	Formato	Marca
Producto 1	15	1	0,945	1	Marca A

Tabla 39: Resultados del caso de validación N° 1. Elaboración propia.

### A.2. Caso de Validación N° 2

Producto	Marca	Demanda	Margen	Fracción	Estantes Def
Producto 1	Marca A	181	51.22	0,063	2

Tabla 40: Datos del caso de validación N° 2. Elaboración propia.

Producto	Frentes	Estante	Fracción Ocupada	Formato	Marca
Producto 1	10	1	0,63	1	Marca A
Producto 1	10	2	0,63	1	Marca A

Tabla 41: Resultados del caso de validación N° 2. Elaboración propia.

### A.3. Caso de Validación N° 3

Producto	Marca	Demanda	Margen	Fracción	Estantes Def
Producto Estrella	Marca A	250	1000	0,063	3
Producto 1	Marca B	200	10	0,063	3
Producto 2	Marca B	20	10	0,063	3
Producto 3	Marca A	2	10	0,063	3

Tabla 42: Datos del caso de validación N° 3. Elaboración propia.

Producto	Frentes	Estante	Fracción Ocupada	Formato	Marca
Producto Estrella	10	1	0,63	1	Marca A
Producto Estrella	10	2	0,63	1	Marca A
Producto 1	5	1	0,315	1	Marca B
Producto 1	5	2	0,315	1	Marca B
Producto 1	5	3	0,315	1	Marca B
Producto 2	1	1	0,063	1	Marca B
Producto 2	1	2	0,063	1	Marca B
Producto 2	1	3	0,063	1	Marca B
Producto 3	10	3	0,063	1	Marca A

Tabla 43: Resultados del caso de validación N° 3. Elaboración propia.

#### A.4. Caso de Validación N° 4

Producto	Marca	Demanda	Margen	Fracción	Estantes Def
Producto 1	Marca A	50	-19	0,063	3
Producto 2	Marca B	50	-29	0,063	3
Producto 3	Marca B	50	-39	0,063	3
Producto 4	Marca A	50	-49	0,063	3

Tabla 44: Datos del caso de validación N° 4. Elaboración propia.

<b>Producto</b>	<b>Frentes</b>	<b>Estante</b>	<b>Fracción Ocupada</b>	<b>Formato</b>	<b>Marca</b>
Producto 1	1	3	0,063	1	Marca A
Producto 1	2	3	0,063	1	Marca A
Producto 1	3	3	0,063	1	Marca A
Producto 2	1	2	0,063	1	Marca B
Producto 2	2	2	0,063	1	Marca B
Producto 2	3	2	0,063	1	Marca B
Producto 3	1	1	0,063	1	Marca B
Producto 3	2	1	0,063	1	Marca B
Producto 3	3	1	0,063	1	Marca B
Producto 4	1	1	0,063	1	Marca A
Producto 4	2	1	0,063	1	Marca A
Producto 4	3	1	0,063	1	Marca A

Tabla 45: Resultados del caso de validación N° 4. Elaboración propia.

#### A.5. Caso de Validación N° 5

<b>Producto</b>	<b>Marca</b>	<b>Demanda</b>	<b>Margen</b>	<b>Fracción</b>	<b>Estantes Def</b>
Producto 1	Marca A	50	50	0,063	3
Producto 2	Marca B	50	50	0,063	3
Producto 3	Marca B	50	50	0,063	3
Producto 4	Marca A	50	50	0,063	3

Tabla 46: Datos del caso de validación N° 5. Elaboración propia.

<b>Producto</b>	<b>Frentes</b>	<b>Estante</b>	<b>Fracción Ocupada</b>	<b>Formato</b>	<b>Marca</b>
Producto 1	4	1	0,252	1	Marca A
Producto 1	4	2	0,252	1	Marca A
Producto 1	4	3	0,252	1	Marca A
Producto 2	4	1	0,252	1	Marca B
Producto 2	4	1	0,252	1	Marca B
Producto 2	4	1	0,252	1	Marca B
Producto 3	4	1	0,252	1	Marca B
Producto 3	4	2	0,252	1	Marca B
Producto 3	4	3	0,252	1	Marca B
Producto 4	4	1	0,252	1	Marca A
Producto 4	4	2	0,252	1	Marca A
Producto 4	4	3	0,252	1	Marca A

Tabla 47: Resultados del caso de validación N° 5. Elaboración propia.

#### A.6. Caso de Validación N° 6

<b>Marca</b>	<b>Formato</b>	<b>Cant Fac Est</b>	<b>Estantes Def</b>
Marca A	1	16	1
Marca A	2	11	1

Tabla 48: Datos del caso de validación N° 6. Elaboración propia.

**Resultado del caso de validación N° 6:** Solución no factible.

### A.7. Caso de Validación N° 7

Producto	Marca	Formato	Cant Fac Est	Estantes Def
Producto 1	Marca A	1	16	3
Producto 2	Marca B	2	11	3
Producto 3	Marca B	3	16	3
Producto 4	Marca B	1	9	3
Producto 5	Marca A	2	11	3

Tabla 49: Datos del caso de validación N° 7. Elaboración propia.

Producto	Frentes	Estante	Fracción Ocupada	Formato	Marca
Producto 1	7	2	0,441	1	Marca A
Producto 2	3	1	0,189	2	Marca B
Producto 2	3	2	0,189	2	Marca B
Producto 2	3	3	0,189	2	Marca B
Producto 3	6	2	0,378	3	Marca B
Producto 4	6	1	0,378	1	Marca B
Producto 5	7	1	0,441	2	Marca A
Producto 5	7	3	0,441	2	Marca A

Tabla 50: Resultados del caso de validación N° 7. Elaboración propia.

#### A.8. Caso de Validación N° 8

<b>Producto</b>	<b>Marca</b>	<b>Demanda</b>	<b>Costo</b>	<b>C_inv</b>	<b>Pventa</b>	<b>Margen</b>	<b>Acuerdo</b>
Producto 1	Marca A	50	0	0	50	50	0,00 %
Producto 2	Marca B	50	0	0	50	50	0,00 %
Producto 3	Marca C	10	0	0	1	1	25,00 %
Producto 4	Marca B	50	0	0	50	50	0,00 %
Producto 5	Marca A	50	0	0	50	50	0,00 %

Tabla 51: Datos del caso de validación N° 8. Elaboración propia.

<b>Producto</b>	<b>Frentes</b>	<b>Estante</b>	<b>Fracción Ocupada</b>	<b>Formato</b>	<b>Marca</b>
Producto 1	6	1	0,378	1	Marca A
Producto 1	6	4	0,378	1	Marca A
Producto 2	3	1	0,189	2	Marca B
Producto 2	3	2	0,189	2	Marca B
Producto 2	3	3	0,189	2	Marca B
Producto 2	3	4	0,189	2	Marca B
Producto 3	4	1	0,252	1	Marca C
Producto 3	4	2	0,252	1	Marca C
Producto 3	4	3	0,252	1	Marca C
Producto 3	4	4	0,252	1	Marca C
Producto 4	3	4	0,189	3	Marca B
Producto 4	3	4	0,189	3	Marca B
Producto 4	3	4	0,189	3	Marca B
Producto 4	3	4	0,189	3	Marca B
Producto 5	6	2	0,378	2	Marca A
Producto 5	6	3	0,378	2	Marca A

Tabla 52: Resultados del caso de validación N° 8 - Parte A. Elaboración propia.

<b>Marca</b>	<b>Fracción Ocupada</b>
Marca A	37,8 %
Marca B	18,9 %
Marca C	25,2 %

Tabla 53: Resultados del caso de validación N° 8 - Parte B. Elaboración propia.

### A.9. Caso de Validación N° 9

Marca	Formato	Margen	Estantes Def	Acuerdo
Marca A	1	50	4	0,00 %
Marca B	2	50	4	0,00 %
Marca C	1	50	4	80,00 %
Marca B	3	50	4	0,00 %
Marca A	2	50	4	0,00 %

Tabla 54: Datos del caso de validación N° 9. Elaboración propia.

**Resultado del caso de validación N° 9:** Solución no factible.

### A.10. Caso de Validación N° 10

Producto	C_inv	Margen	Estantes Def	C_reposicion
Producto 1	49	50	4	0
Producto 2	49	50	4	0
Producto 3	49	50	4	0
Producto 4	49	50	4	0
Producto 5	49	50	4	0

Tabla 55: Datos del caso de validación N° 10. Elaboración propia.

<b>Producto</b>	<b>Frentes</b>	<b>Estante</b>	<b>Fracción Ocupada</b>	<b>Formato</b>	<b>Marca</b>
Producto 1	1	1	0,063	1	Marca A
Producto 1	1	2	0,063	1	Marca A
Producto 1	1	3	0,063	1	Marca A
Producto 1	1	4	0,063	1	Marca A
Producto 2	1	1	0,063	1	Marca B
Producto 2	1	2	0,063	1	Marca B
Producto 2	1	3	0,063	1	Marca B
Producto 2	1	4	0,063	1	Marca B
Producto 3	1	1	0,063	1	Marca B
Producto 3	1	2	0,063	1	Marca B
Producto 3	1	3	0,063	1	Marca B
Producto 3	1	4	0,063	1	Marca B
Producto 4	1	1	0,063	1	Marca B
Producto 4	1	2	0,063	1	Marca B
Producto 4	1	3	0,063	1	Marca B
Producto 4	1	4	0,063	1	Marca B
Producto 5	1	2	0,063	1	Marca A
Producto 5	1	2	0,063	1	Marca A
Producto 5	1	3	0,063	1	Marca A
Producto 5	1	4	0,063	1	Marca A

Tabla 56: Resultados del caso de validación N° 10. Elaboración propia.

### A.11. Caso de Validación N° 11

Producto	Marca	Demanda	Margen	Fracción	Estantes Def
Producto 1	Marca A	250	0	0,063	4
Producto 2	Marca B	10	10	0,063	4
Producto 3	Marca B	10	10	0,063	4
Producto 4	Marca B	10	10	0,063	4
Producto 4	Marca A	10	10	0,063	4

Tabla 57: Datos del caso de validación N° 11. Elaboración propia.

Producto	Frentes	Estante	Fracción Ocupada	Formato	Marca
Producto 1	10	2	0,63	1	Marca A
Producto 1	10	3	0,63	1	Marca A
Producto 2	4	3	0,252	1	Marca B
Producto 2	4	4	0,252	1	Marca B
Producto 3	4	1	0,252	1	Marca B
Producto 3	4	2	0,252	1	Marca B
Producto 4	2	1	0,126	1	Marca B
Producto 4	2	2	0,126	1	Marca B
Producto 4	2	3	0,126	1	Marca B
Producto 4	2	4	0,126	1	Marca B
Producto 5	10	1	0,63	2	Marca A
Producto 5	10	4	0,63	2	Marca A

Tabla 58: Resultados del caso de validación N° 11. Elaboración propia.

### A.12. Caso de Validación N° 12

Producto	Marca	Demanda	Margen	Fracción	Apilabilidad	Estantes Def
Producto 1	Marca A	200	30	0,063	2	1

Tabla 59: Datos del caso de validación N° 12. Elaboración propia.

Producto	Posiciones	Frentes por posicion	Estante	Fracción Ocupada	Marca
Producto 1	10	2	1	1	Marca A

Tabla 60: Resultados del caso de validación N° 12. Elaboración propia.

### A.13. Caso de Validación N° 13

Producto	Marca	Demanda	Margen	Fracción	Estantes Def
Producto 1	Marca A	80	10	0,6	1
Producto 2	Marca B	200	30	0,6	1

Tabla 61: Datos del caso de validación N° 13. Elaboración propia.

**Resultado del caso de validación N° 13:** Solución no factible.

## B. Anexo B - Órdenes de trabajo y leyendas de planogramas

### B.1. Aguas cloradas

Marca	Producto	Referencia	Frentes por estante
Marca A	Producto 1	Pr 1	12
Marca A	Producto 2	Pr 2	8
Marca A	Producto 3	Pr 3	11
Marca A	Producto 4	Pr 4	1
Marca A	Producto 5	Pr 5	12
Marca A	Producto 6	Pr 6	3
Marca A	Producto 7	Pr 7	8
Marca B	Producto 8	Pr 8	8
Marca B	Producto 9	Pr 9	6
Marca B	Producto 10	Pr 10	4
Marca P	Producto 11	Pr 11	8
Marca P	Producto 12	Pr 12	7
Otros	Producto 13	Pr 13	2
Otros	Producto 14	Pr 14	2
Otros	Producto 15	Pr 15	12
Otros	Producto 16	Pr 16	8
Otros	Producto 17	Pr 17	12
Otros	Producto 18	Pr 18	1
Otros	Producto 19	Pr 19	4
Otros	Producto 20	Pr 20	6

Tabla 62: Orden de trabajo para aguas cloradas, sucursal grande. Elaboración propia.



Figura 23: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes por estante</b>
Marca A	Producto 1	Pr 1	4
Marca A	Producto 2	Pr 2	1
Marca A	Producto 3	Pr 3	1
Marca A	Producto 4	Pr 4	1
Marca A	Producto 5	Pr 5	1
Marca A	Producto 6	Pr 6	1
Marca B	Producto 7	Pr 7	1
Marca B	Producto 8	Pr 8	1
Marca B	Producto 9	Pr 9	1
Marca P	Producto 16	Pr 16	2
Marca P	Producto 17	Pr 17	2
Otros	Producto 10	Pr 10	4
Otros	Producto 11	Pr 11	4
Otros	Producto 12	Pr 12	3
Otros	Producto 13	Pr 13	3
Otros	Producto 14	Pr 14	3
Otros	Producto 15	Pr 15	3

Tabla 63: Orden de trabajo para aguas cloradas, sucursal mediana. Elaboración propia.

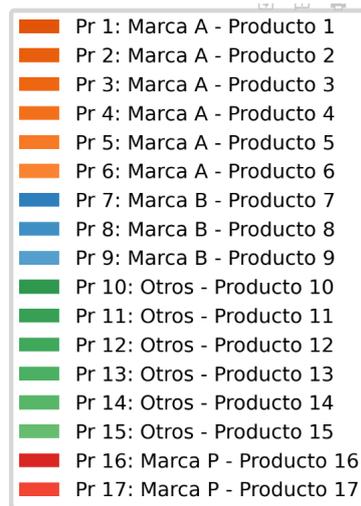


Figura 24: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal mediana. Elaboración propia.

Marca	Producto	Referencia	Frentes
Marca A	Producto 1	Pr 1	5
Marca A	Producto 2	Pr 2	3
Marca A	Producto 3	Pr 3	5
Marca A	Producto 4	Pr 4	1
Marca B	Producto 5	Pr 5	4
Marca B	Producto 6	Pr 6	2
Marca B	Producto 7	Pr 7	3
Otros	Producto 8	Pr 8	2
Otros	Producto 9	Pr 9	1
Otros	Producto 10	Pr 10	1
Otros	Producto 11	Pr 11	1
Marca P	Producto 12	Pr 12	3
Marca P	Producto 13	Pr 13	2

Tabla 64: Orden de trabajo para aguas cloradas, sucursal pequeña. Elaboración propia.

Pr 1: JANE - AGUA JANE 2 LITROS
Pr 2: JANE - AGUA JANE 4 LITROS
Pr 3: JANE - AGUA JANE 1 LITRO
Pr 4: JANE - Agua JANE Triple Poder Glaciar 1 L
Pr 5: CRISTAL - SOLUCION CRISTAL 1L
Pr 6: CRISTAL - SOLUCION CRISTAL 4L
Pr 7: CRISTAL - SOLUCION CRISTAL 2L
Pr 8: OTROS - LAVANDINA VIM GEL 700ML LAVANDA
Pr 9: OTROS - SELLO ROJO LAVANDA 1 L
Pr 10: OTROS - SELLO ROJO LAVANDA 2 L
Pr 11: OTROS - LAVANDINA SELLO ROJO 2L
Pr 12: M,P - Lavandina Hipoclorito MP 1L
Pr 13: M,P - Hipoclorito MP 2L

Figura 25: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para aguas cloradas en la sucursal chica. Elaboración propia.

## B.2. Alfajores

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca A	Producto 1	Pr 1	8
Marca A	Producto 2	Pr 2	8
Marca A	Producto 3	Pr 3	20
Marca A	Producto 4	Pr 4	6
Marca A	Producto 5	Pr 5	4
Marca A	Producto 6	Pr 6	14
Marca A	Producto 7	Pr 7	2
Marca A	Producto 8	Pr 8	12
Marca A	Producto 9	Pr 9	10
Marca A	Producto 10	Pr 10	2
Marca A	Producto 11	Pr 11	4
Marca A	Producto 12	Pr 12	2
Marca A	Producto 13	Pr 13	2
Otros	Producto 14	Pr 14	3
Otros	Producto 15	Pr 15	2
Otros	Producto 16	Pr 16	12
Otros	Producto 17	Pr 17	6
Otros	Producto 18	Pr 18	10
Otros	Producto 19	Pr 19	8
Otros	Producto 20	Pr 20	8
Otros	Producto 21	Pr 21	2
Otros	Producto 22	Pr 22	1
<i>Continúa en la siguiente página</i>			

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Otros	Producto 23	Pr 23	2
Otros	Producto 24	Pr 24	1
Otros	Producto 25	Pr 25	6
Otros	Producto 26	Pr 26	6
Otros	Producto 27	Pr 27	4
Otros	Producto 28	Pr 28	4
Otros	Producto 29	Pr 29	4
Otros	Producto 30	Pr 30	2
Otros	Producto 31	Pr 31	4
Otros	Producto 32	Pr 32	4
Otros	Producto 33	Pr 33	4
Otros	Producto 34	Pr 34	4
Otros	Producto 35	Pr 35	2
Otros	Producto 36	Pr 36	2
Otros	Producto 37	Pr 37	2
Otros	Producto 38	Pr 38	2
Otros	Producto 39	Pr 39	2
Otros	Producto 40	Pr 40	2
Otros	Producto 41	Pr 41	2
Otros	Producto 42	Pr 42	2
Otros	Producto 43	Pr 43	2
Otros	Producto 44	Pr 44	2
Otros	Producto 45	Pr 45	2

*Continúa en la siguiente página*

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Otros	Producto 46	Pr 46	2
Otros	Producto 47	Pr 47	2
Otros	Producto 48	Pr 48	2
Otros	Producto 49	Pr 49	2
Otros	Producto 50	Pr 50	2
Otros	Producto 51	Pr 51	2
Otros	Producto 52	Pr 52	2
Otros	Producto 53	Pr 53	2
Otros	Producto 54	Pr 54	2
Marca B	Producto 55	Pr 55	4
Marca B	Producto 56	Pr 56	2
Marca B	Producto 57	Pr 57	2
Marca B	Producto 58	Pr 58	2
Marca B	Producto 59	Pr 59	2
Marca B	Producto 60	Pr 60	2
Marca B	Producto 61	Pr 61	4
Marca B	Producto 62	Pr 62	4
Marca B	Producto 63	Pr 63	2
Marca B	Producto 64	Pr 64	2
Marca B	Producto 65	Pr 65	2
Marca B	Producto 66	Pr 66	2
Marca B	Producto 67	Pr 67	2
Marca B	Producto 68	Pr 68	2

*Continúa en la siguiente página*

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca P	Producto 69	Pr 69	2
Marca P	Producto 70	Pr 70	4
Marca P	Producto 71	Pr 71	4
Marca P	Producto 72	Pr 72	2
Marca P	Producto 73	Pr 73	1

Tabla 65: Orden de trabajo para alfajores, sucursal grande. Elaboración propia.

- Pr 1: Otros - Producto 1
- Pr 2: Otros - Producto 2
- Pr 3: Otros - Producto 3
- Pr 4: Otros - Producto 4
- Pr 5: Otros - Producto 5
- Pr 6: Otros - Producto 6
- Pr 7: Otros - Producto 7
- Pr 8: Otros - Producto 8
- Pr 9: Otros - Producto 9
- Pr 10: Otros - Producto 10
- Pr 11: Otros - Producto 11
- Pr 12: Otros - Producto 12
- Pr 13: Otros - Producto 13
- Pr 14: Otros - Producto 14
- Pr 15: Otros - Producto 15
- Pr 16: Otros - Producto 16
- Pr 17: Otros - Producto 17
- Pr 18: Otros - Producto 18
- Pr 19: Otros - Producto 19
- Pr 20: Otros - Producto 20
- Pr 21: Otros - Producto 21
- Pr 22: Otros - Producto 22
- Pr 23: Otros - Producto 23
- Pr 24: Otros - Producto 24
- Pr 25: Otros - Producto 25
- Pr 26: Otros - Producto 26
- Pr 27: Otros - Producto 27
- Pr 28: Otros - Producto 28
- Pr 29: Otros - Producto 29
- Pr 30: Otros - Producto 30
- Pr 31: Otros - Producto 31
- Pr 32: Otros - Producto 32
- Pr 33: Otros - Producto 33
- Pr 34: Otros - Producto 34
- Pr 35: Otros - Producto 35
- Pr 36: Otros - Producto 36
- Pr 37: Otros - Producto 37

Figura 26: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal grande, parte 1. Elaboración propia.

- Pr 38: Otros - Producto 38
- Pr 39: Otros - Producto 39
- Pr 40: Otros - Producto 40
- Pr 41: Otros - Producto 41
- Pr 42: Marca A - Producto 42
- Pr 43: Marca A - Producto 43
- Pr 44: Marca A - Producto 44
- Pr 45: Marca A - Producto 45
- Pr 46: Marca A - Producto 46
- Pr 47: Marca A - Producto 47
- Pr 48: Marca A - Producto 48
- Pr 49: Marca A - Producto 49
- Pr 50: Marca A - Producto 50
- Pr 51: Marca A - Producto 51
- Pr 52: Marca A - Producto 52
- Pr 53: Marca A - Producto 53
- Pr 54: Marca A - Producto 54
- Pr 56: Marca B - Producto 55
- Pr 57: Marca B - Producto 56
- Pr 55: Marca B - Producto 57
- Pr 58: Marca B - Producto 58
- Pr 59: Marca B - Producto 59
- Pr 60: Marca B - Producto 60
- Pr 61: Marca B - Producto 61
- Pr 62: Marca B - Producto 62
- Pr 63: Marca B - Producto 63
- Pr 64: Marca B - Producto 64
- Pr 65: Marca B - Producto 65
- Pr 66: Marca B - Producto 66
- Pr 67: Marca B - Producto 67
- Pr 68: Marca B - Producto 68
- Pr 69: Marca P - Producto 69
- Pr 70: Marca P - Producto 70
- Pr 71: Marca P - Producto 71
- Pr 72: Marca P - Producto 72
- Pr 73: Marca P - Producto 73

Figura 27: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación para otro producto en la sucursal grande, parte 2. Elaboración propia.

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca B	Producto 1	Pr 1	3
Marca B	Producto 2	Pr 2	2
Marca B	Producto 3	Pr 3	4
Marca B	Producto 4	Pr 4	1
Marca B	Producto 5	Pr 5	2
Marca B	Producto 6	Pr 6	3
Marca B	Producto 7	Pr 7	1
Marca B	Producto 8	Pr 8	1
Marca B	Producto 9	Pr 9	3
Marca B	Producto 10	Pr 10	2
Marca B	Producto 11	Pr 11	1
Marca B	Producto 12	Pr 12	2
Marca B	Producto 13	Pr 13	1
Marca A	Producto 14	Pr 14	10
Marca A	Producto 15	Pr 15	5
Marca A	Producto 16	Pr 16	8
Marca A	Producto 17	Pr 17	8
Marca A	Producto 18	Pr 18	7
Marca A	Producto 19	Pr 19	4
Marca A	Producto 20	Pr 20	2
Marca A	Producto 21	Pr 21	1
Marca A	Producto 22	Pr 22	1
Marca A	Producto 23	Pr 23	1

*Continúa en la siguiente página*

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca A	Producto 24	Pr 24	1
Marca A	Producto 25	Pr 25	1
Marca A	Producto 26	Pr 26	1
Otros	Producto 27	Pr 27	7
Otros	Producto 28	Pr 28	2
Otros	Producto 29	Pr 29	1
Otros	Producto 30	Pr 30	1
Otros	Producto 31	Pr 31	1
Otros	Producto 32	Pr 32	1
Otros	Producto 33	Pr 33	3
Otros	Producto 34	Pr 34	2
Otros	Producto 35	Pr 35	2
Otros	Producto 36	Pr 36	2
Otros	Producto 37	Pr 37	1
Otros	Producto 38	Pr 38	2
Otros	Producto 39	Pr 39	1
Otros	Producto 40	Pr 40	1
Otros	Producto 41	Pr 41	1
Otros	Producto 42	Pr 42	1
Otros	Producto 43	Pr 43	1
Otros	Producto 44	Pr 44	1
Otros	Producto 45	Pr 45	1
Otros	Producto 46	Pr 46	1

*Continúa en la siguiente página*

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Otros	Producto 47	Pr 47	1
Otros	Producto 48	Pr 48	1
Otros	Producto 49	Pr 49	1
Otros	Producto 50	Pr 50	1
Otros	Producto 51	Pr 51	1
Otros	Producto 52	Pr 52	1
Otros	Producto 53	Pr 53	1
Otros	Producto 54	Pr 54	1
Otros	Producto 55	Pr 55	1
Otros	Producto 56	Pr 56	1
Otros	Producto 57	Pr 57	1
Otros	Producto 58	Pr 58	1
Otros	Producto 59	Pr 59	1
Marca P	Producto 60	Pr 60	1
Marca P	Producto 61	Pr 61	2
Marca P	Producto 62	Pr 62	1
Marca P	Producto 63	Pr 63	1
Marca P	Producto 64	Pr 64	1

Tabla 66: Orden de trabajo para alfajores, sucursal mediana. Elaboración propia

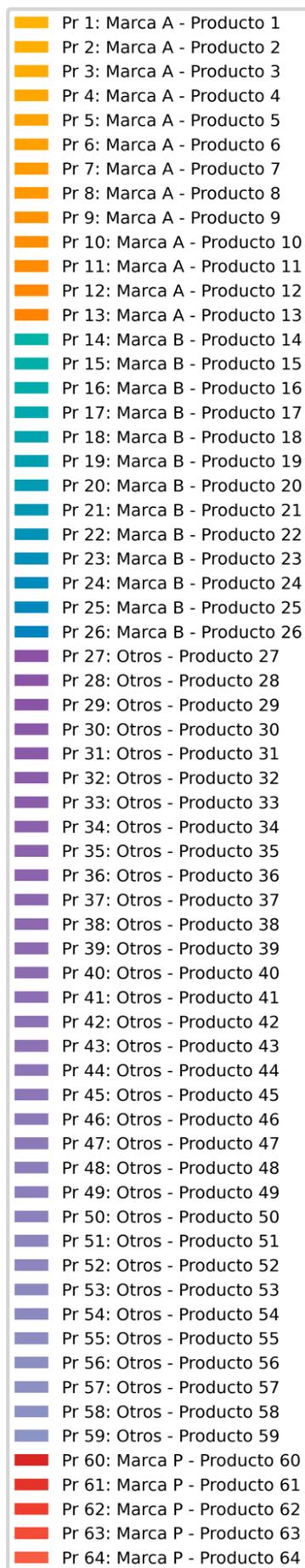


Figura 28: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal mediana. Elaboración propia.

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Otros	Producto 1	Pr 1	18
Otros	Producto 2	Pr 2	14
Otros	Producto 3	Pr 3	12
Otros	Producto 4	Pr 4	4
Otros	Producto 5	Pr 5	10
Otros	Producto 6	Pr 6	10
Otros	Producto 7	Pr 7	4
Otros	Producto 8	Pr 8	4
Otros	Producto 9	Pr 9	4
Otros	Producto 10	Pr 10	2
Otros	Producto 11	Pr 11	1
Otros	Producto 12	Pr 12	2
Otros	Producto 13	Pr 13	2
Otros	Producto 14	Pr 14	6
Otros	Producto 15	Pr 15	2
Otros	Producto 16	Pr 16	4
Otros	Producto 17	Pr 17	4
Otros	Producto 18	Pr 18	4
Otros	Producto 19	Pr 19	4
Otros	Producto 20	Pr 20	2
Otros	Producto 21	Pr 21	4
Otros	Producto 22	Pr 22	4
Otros	Producto 23	Pr 23	2

*Continúa en la siguiente página*

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Otros	Producto 24	Pr 24	2
Otros	Producto 25	Pr 25	2
Otros	Producto 26	Pr 26	2
Otros	Producto 27	Pr 27	2
Otros	Producto 28	Pr 28	2
Otros	Producto 29	Pr 29	2
Otros	Producto 30	Pr 30	2
Otros	Producto 31	Pr 31	2
Otros	Producto 32	Pr 32	2
Otros	Producto 33	Pr 33	2
Marca A	Producto 34	Pr 34	4
Marca A	Producto 35	Pr 35	10
Marca A	Producto 36	Pr 36	10
Marca A	Producto 37	Pr 37	4
Marca A	Producto 38	Pr 38	14
Marca A	Producto 39	Pr 39	10
Marca A	Producto 40	Pr 40	10
Marca A	Producto 41	Pr 41	8
Marca A	Producto 42	Pr 42	2
Marca A	Producto 43	Pr 43	6
Marca A	Producto 44	Pr 44	4
Marca B	Producto 45	Pr 45	2
Marca B	Producto 46	Pr 46	2

*Continúa en la siguiente página*

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca B	Producto 47	Pr 47	2
Marca B	Producto 48	Pr 48	4
Marca B	Producto 49	Pr 49	4
Marca B	Producto 50	Pr 50	2
Marca B	Producto 51	Pr 51	2
Marca B	Producto 52	Pr 52	6
Marca B	Producto 53	Pr 53	2
Marca B	Producto 54	Pr 54	2
Marca B	Producto 55	Pr 55	4
Marca B	Producto 56	Pr 56	2
Marca B	Producto 57	Pr 57	2
Marca P	Producto 58	Pr 58	2
Marca P	Producto 59	Pr 59	4
Marca P	Producto 60	Pr 60	4

Tabla 67: Orden de trabajo para alfajores, sucursal pequeña. Elaboración propia

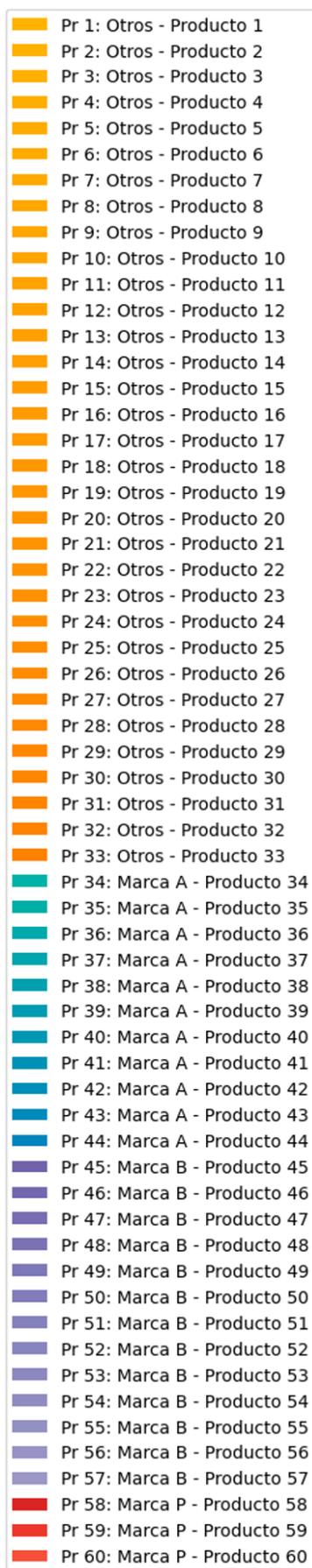


Figura 29: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para alfajores en la sucursal pequeña. Elaboración propia.

### B.3. Jabones líquidos

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca A	Producto 1	Pr 1	20
Marca A	Producto 2	Pr 2	20
Marca A	Producto 3	Pr 3	20
Marca A	Producto 4	Pr 4	19
Marca A	Producto 5	Pr 5	9
Marca A	Producto 6	Pr 6	4
Marca A	Producto 7	Pr 7	6
Marca A	Producto 8	Pr 8	7
Marca A	Producto 9	Pr 9	9
Marca A	Producto 10	Pr 10	11
Marca A	Producto 11	Pr 11	11
Marca A	Producto 12	Pr 12	3
Marca A	Producto 13	Pr 13	4
Marca A	Producto 14	Pr 14	5
Marca A	Producto 15	Pr 15	1
Marca A	Producto 16	Pr 16	1
Marca A	Producto 17	Pr 17	2
Marca A	Producto 18	Pr 18	1
Marca A	Producto 19	Pr 19	2
Otros	Producto 20	Pr 20	5
Otros	Producto 21	Pr 21	3
Otros	Producto 22	Pr 22	4
<i>Continúa en la siguiente página</i>			

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Otros	Producto 23	Pr 23	2
Otros	Producto 24	Pr 24	2
Otros	Producto 25	Pr 25	2
Otros	Producto 26	Pr 26	1
Otros	Producto 27	Pr 27	2
Marca B	Producto 28	Pr 28	3
Marca B	Producto 29	Pr 29	4
Marca B	Producto 30	Pr 30	3
Marca B	Producto 31	Pr 31	1
Marca B	Producto 32	Pr 32	3
Marca B	Producto 33	Pr 33	3
Marca B	Producto 34	Pr 34	2
Marca B	Producto 35	Pr 35	1

Tabla 68: Orden de trabajo para jabones líquidos, sucursal grande. Elaboración propia.

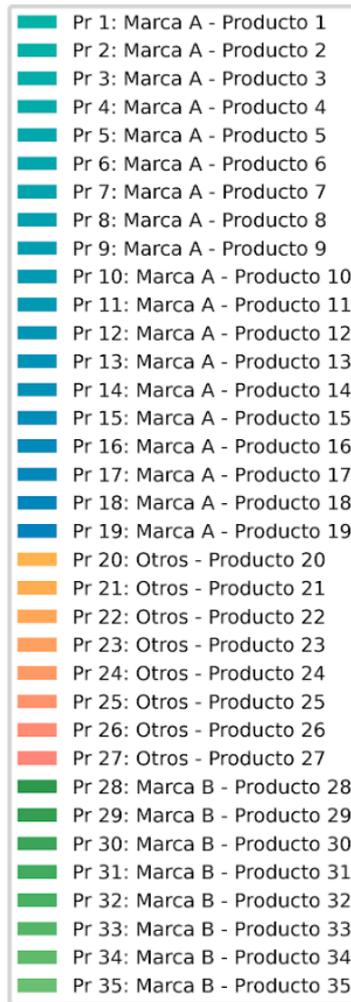


Figura 30: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal grande. Elaboración propia.

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca A	Producto 1	Pr 1	9
Marca A	Producto 2	Pr 2	11
Marca A	Producto 3	Pr 3	8
Marca A	Producto 4	Pr 4	7
Marca A	Producto 5	Pr 5	2
Marca A	Producto 6	Pr 6	4
Marca A	Producto 7	Pr 7	6
Marca A	Producto 8	Pr 8	7
Marca A	Producto 9	Pr 9	1
Marca A	Producto 10	Pr 10	1
Marca A	Producto 11	Pr 11	1
Marca A	Producto 12	Pr 12	2
Marca A	Producto 13	Pr 13	1
Marca A	Producto 14	Pr 14	1
Otros	Producto 15	Pr 15	1
Otros	Producto 16	Pr 16	2
Otros	Producto 17	Pr 17	1
Otros	Producto 18	Pr 18	1
Otros	Producto 19	Pr 19	1
Otros	Producto 20	Pr 20	2
Otros	Producto 21	Pr 21	1
Otros	Producto 22	Pr 22	1
Otros	Producto 23	Pr 23	1

*Continúa en la siguiente página*

Marca	Producto	Referencia	Frentes
Otros	Producto 24	Pr 24	1
Otros	Producto 25	Pr 25	1
Marca B	Producto 26	Pr 26	2
Marca B	Producto 27	Pr 27	2
Marca B	Producto 28	Pr 28	2
Marca B	Producto 29	Pr 29	1
Marca B	Producto 30	Pr 30	1

Tabla 69: Orden de trabajo para jabones líquidos, sucursal mediana. Elaboración propia.

■	Pr 1: Marca A - Producto 1
■	Pr 2: Marca A - Producto 2
■	Pr 3: Marca A - Producto 3
■	Pr 4: Marca A - Producto 4
■	Pr 5: Marca A - Producto 5
■	Pr 6: Marca A - Producto 6
■	Pr 7: Marca A - Producto 7
■	Pr 8: Marca A - Producto 8
■	Pr 9: Marca A - Producto 9
■	Pr 10: Marca A - Producto 10
■	Pr 11: Marca A - Producto 11
■	Pr 12: Marca A - Producto 12
■	Pr 13: Marca A - Producto 13
■	Pr 14: Marca A - Producto 14
■	Pr 15: Otros - Producto 15
■	Pr 16: Otros - Producto 16
■	Pr 17: Otros - Producto 17
■	Pr 18: Otros - Producto 18
■	Pr 19: Otros - Producto 19
■	Pr 20: Otros - Producto 20
■	Pr 21: Otros - Producto 21
■	Pr 22: Otros - Producto 22
■	Pr 23: Otros - Producto 23
■	Pr 24: Otros - Producto 24
■	Pr 25: Otros - Producto 25
■	Pr 26: Marca B - Producto 26
■	Pr 27: Marca B - Producto 27
■	Pr 28: Marca B - Producto 28
■	Pr 29: Marca B - Producto 29
■	Pr 30: Marca B - Producto 30

Figura 31: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal mediana. Elaboración propia.

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Marca A	Producto 1	Pr 1	5
Marca A	Producto 2	Pr 2	9
Marca A	Producto 3	Pr 3	3
Marca A	Producto 4	Pr 4	2
Marca A	Producto 5	Pr 5	3
Marca A	Producto 6	Pr 6	5
Marca A	Producto 7	Pr 7	1
Marca A	Producto 8	Pr 8	2
Marca A	Producto 9	Pr 9	2
Marca A	Producto 10	Pr 10	4
Marca A	Producto 11	Pr 11	1
Marca A	Producto 12	Pr 12	1
Marca A	Producto 13	Pr 13	1
Marca A	Producto 14	Pr 14	1
Marca A	Producto 15	Pr 15	1
Marca A	Producto 16	Pr 16	1
Marca A	Producto 17	Pr 17	1
Otros	Producto 18	Pr 18	1
Otros	Producto 19	Pr 19	3
Otros	Producto 20	Pr 20	1
Otros	Producto 21	Pr 21	1
Otros	Producto 22	Pr 22	2
Otros	Producto 23	Pr 23	2

*Continúa en la siguiente página*

<b>Marca</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frentes</b>
Otros	Producto 24	Pr 24	1
Otros	Producto 25	Pr 25	1
Otros	Producto 26	Pr 26	1
Otros	Producto 27	Pr 27	1
Otros	Producto 28	Pr 28	1
Otros	Producto 29	Pr 29	1
Marca B	Producto 30	Pr 30	2
Marca B	Producto 31	Pr 31	2
Marca B	Producto 32	Pr 32	1
Marca B	Producto 33	Pr 33	1
Marca B	Producto 34	Pr 34	1
Marca B	Producto 35	Pr 35	1

Tabla 70: Orden de trabajo para jabones líquidos, sucursal pequeña. Elaboración propia.

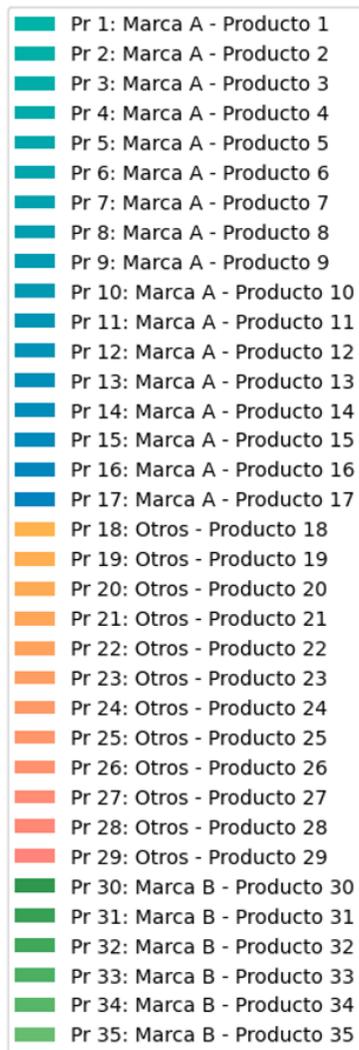


Figura 32: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido para jabones líquidos en la sucursal pequeña. Elaboración propia.



Figura 33: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido con fracción marca con más de un formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.



Figura 34: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido sin fracción marca, respetando formato por estante para aguas cloradas en sucursal grande. Elaboración propia.

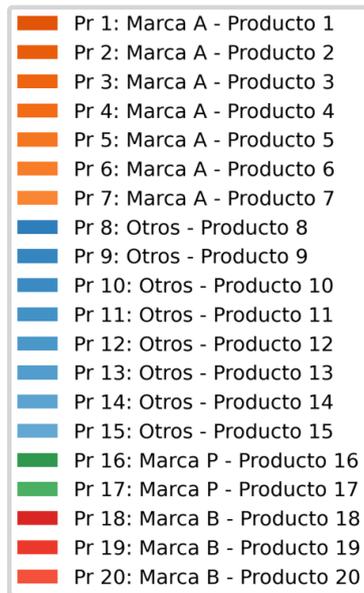


Figura 35: Leyenda ampliada correspondiente al planograma de ocupación sugerido sin fracción marca ni formato por estante para aguas cloradas en la sucursal grande. Elaboración propia.

## C. Anexo C - Actas de reunión

### C.1. Acta N°1

#### ACTA DE REUNIÓN

**Número de acta:** I

**Proyecto:** Optimización de la exhibición de productos en supermercados

**Fecha:** 26 de Junio de 2024

**Lugar:** Oficina de la organización

**Asistentes:**

- Kevin Tauber - Miembro del equipo de trabajo
- Gerente de *Supply Chain* de la organización

#### 1. Objetivos de la Reunión

- Definir los puntos clave para el inicio del proyecto de grado y los intereses de la organización en el desarrollo del modelo matemático para la optimización del despliegue de mercadería en estantería.
- 

#### 2. Temas Tratados

- **Objetivos del Proyecto:** Se revisaron los objetivos generales del proyecto, enfocados en la creación de un modelo matemático que optimice el despliegue de productos en góndolas.
  - **Intereses Clave de la Organización:** Se discutieron los factores de interés más relevantes para la empresa en este proyecto.
- 

#### 3. Decisiones Tomadas

- **Elasticidad de la demanda:** La organización considera que este es un factor crítico y desea que sea investigado y modelado con detalle, ya que impacta directamente en la rentabilidad del despliegue de productos.
  - **Costos de Inventario y Reposición:** Se determinó que otro aspecto de interés para la organización es analizar la influencia de los costos asociados al inventario y la reposición de mercadería, para integrarlos en el modelo y lograr un enfoque más completo en la optimización del proceso.
  - **Próximos pasos:** Se acordó avanzar en la construcción del modelo matemático teniendo en cuenta ambos factores clave (elasticidad de demanda y costos).
- 

#### 4. Observaciones

- Se identificaron como próximos pasos la necesidad de investigar en profundidad el comportamiento de la demanda y su elasticidad para incluirla de manera eficiente en el modelo, así como la recopilación de datos sobre los costos de inventario e investigación sobre la influencia de los costos de reposición en la operativa de un supermercado.

## C.2. Acta N°2

### ACTA DE REUNIÓN

**Número de acta:** II

**Proyecto:** Optimización de la exhibición de productos en supermercados

**Fecha:** 23 de Julio de 2024

**Lugar:** Oficina de la organización

**Asistentes:**

- Kevin Tauber - Miembro del equipo de trabajo
- Gerente de *Supply Chain* de la organización

#### 1. Objetivos de la Reunión

- Evaluación de parámetros clave para la función objetivo del modelo matemático.
- 

#### 2. Temas Tratados

- **Función Objetivo:** Se discutieron los parámetros a considerar para la función objetivo en el modelo de optimización de despliegue de mercadería en estantería.
  - **Costos de Inventario:** Se analizó el valor adecuado para representar los costos de inventario mensuales en el modelo.
- 

#### 3. Decisiones Tomadas

- Se validó con el Gerente de *Supply Chain* que el costo de inventarios mensual será representado como el 0.1 % del costo del producto en la función objetivo del modelo.
  - Este valor se utilizará como parámetro base para calcular el impacto de los costos de inventario en el despliegue de productos en las estanterías.
- 

#### 4. Observaciones

- Se continuará con la revisión de otros parámetros relevantes para la función objetivo en futuras reuniones. En particular, costos de reposición.

### C.3. Acta N°3

#### ACTA DE REUNIÓN

Número de acta: III

Proyecto: Optimización de la exhibición de productos en supermercados

Fecha: 14 de Agosto de 2024

Lugar: Sucursal central

#### Asistentes:

- Kevin Tauber - Miembro del equipo de trabajo
- Jefe de piso de la Sucursal Central

#### 1. Objetivos de la Reunión

- Comprender el proceso de reposiciones de mercadería en las estantería en la sucursal central.
- 

#### 2. Temas Tratados

- **Proceso de Reposición** : Se analizó cómo se detecta la necesidad de reponer productos.
  - **Relevamiento de *Stock***: Se discutió cómo se realiza el control de *stock* en las distintas categorías de productos.
- 

#### 3. Decisiones Tomadas

- Cuando surge la necesidad de reponer un producto, se realiza un relevamiento integral del *stock* de toda la categoría, y no solo del producto faltante.
  - La reposición es integral de la categoría, abarcando todos los productos de la misma, para optimizar el proceso.
- 

#### 4. Observaciones

- El proceso de reposición se realiza en función de toda la categoría, lo que permite mantener la exhibición uniforme y evitar desbalances en el surtido.

## C.4. Acta N°4

### ACTA DE REUNIÓN

**Número de acta:** IV

**Proyecto:** Optimización de la exhibición de productos en supermercados

**Fecha:** 10 de Septiembre de 2024

**Lugar:** Oficina de la organización

**Asistentes:**

- Kevin Tauber - Miembro del equipo de trabajo
- Gerente de *Supply Chain* de la organización

#### 1. Objetivos de la Reunión

- Selección de casos de estudio para la aplicación del modelo.
  - Evaluación de categorías de productos a incluir en el análisis.
- 

#### 2. Temas Tratados

- **Selección de casos de estudio:** Se discutieron posibles categorías de productos para aplicar el modelo.
  - **Criterios de evaluación de productos:** Se analizaron criterios para la inclusión o exclusión de determinadas categorías en base a factores de relevancia para el modelo.
- 

#### 3. Decisiones Tomadas

- Se decidió que uno de los casos de estudio será jabones líquidos para lavarropas.
  - Se descartaron bebidas alcohólicas (destilados y fermentados) como categoría para el análisis.
- 

#### 4. Observaciones

- Se deberán definir los próximos pasos para la implementación del caso de estudio seleccionado en la siguiente reunión.

## C.5. Acta N°5

### ACTA DE REUNIÓN

**Número de Acta:** V

**Proyecto:** Optimización de la exhibición de productos en supermercados

**Fecha:** 20 de Septiembre de 2024

**Lugar:** Oficina de la organización

**Asistentes:**

- Kevin Tauber - Miembro del equipo de trabajo
- Gerente de *Supply Chain* de la organización

#### 1. Objetivos de la Reunión

- Discutir cómo finalizar la valuación de las reposiciones de productos en la estantería.
- 

#### 2. Temas Tratados

- **Valuación de Reposiciones:** Se discutió el proceso para completar la valuación de las reposiciones en el modelo de optimización.
  - **Información de la Organización:** La organización facilitó información de un estudio de tiempos que determinó el tiempo necesario para la reposición en una sola estantería (un módulo). Esta información se podrá expresar en una base monetaria determinada.
- 

#### 3. Decisiones Tomadas

- Se definió que se trabajará con la información proporcionada por la organización, junto con la información relevada por el equipo sobre costeo de actividades, para determinar el último parámetro del modelo relacionado con la valuación de las reposiciones.
- 

#### 4. Observaciones

- Se acordó continuar con el análisis de la información disponible y establecer un cronograma para la integración de los datos en el modelo de optimización.

## C.6. Acta N°6

### ACTA DE REUNIÓN

Número de Acta: VI

**Proyecto:** Optimización de la exhibición de productos en supermercados

**Fecha:** 4 de Octubre de 2024

**Lugar:** Oficina de la organización

#### Asistentes:

- Kevin Tauber - Miembro del equipo de trabajo
- Gerente de *Supply Chain* de la organización

#### 1. Objetivos de la Reunión

- Validar el modelo propuesto y su funcionamiento.
- 

#### 2. Temas Tratados

- **Funcionamiento General del Modelo:** Se revisó el funcionamiento global del modelo de optimización.
  - **Formato de *Outputs*:** Se discutió el formato de los *outputs*, incluyendo ordenes de trabajo y los planogramas.
  - **Validación Funcional del Modelo:** Se abordó la validación funcional del modelo propuesto.
- 

#### 3. Decisiones Tomadas

- Se acordó la validación funcional del modelo por parte de la organización. Además, se agregó que la organización ha realizado tareas de *benchmarking* con otras cadenas de *retail* extranjeras y ha observado sistemas informáticos de características y funcionamiento similares.
- 

#### 4. Observaciones

- Se continuara trabajando en la misma línea para terminar de estudiar resultados y análisis de sensibilidad. Además, se desarrollara el plan de implementación.

## D. Anexo D - Diagramas de Flujo

### D.1. Diagrama de flujo para la implementación de la herramienta en la organización

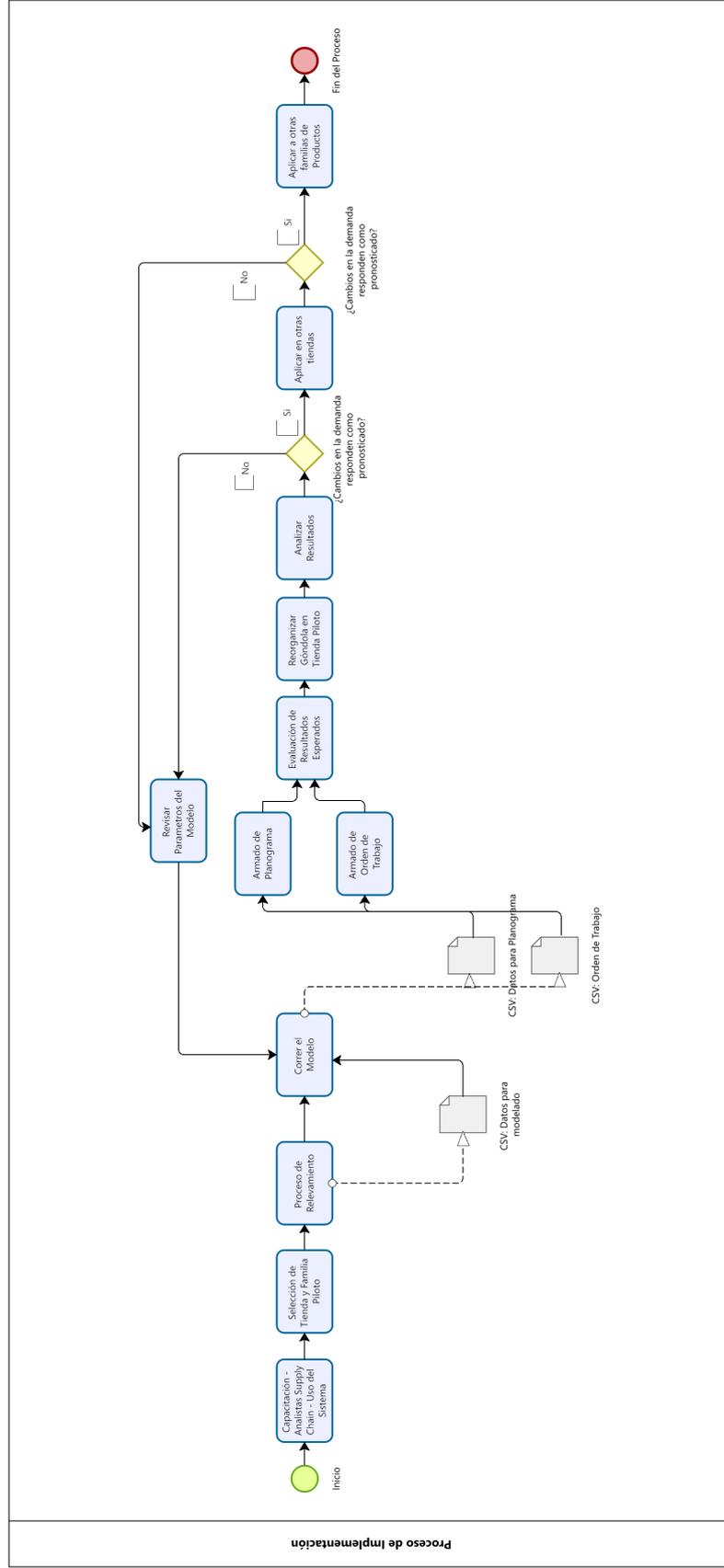


Figura 36: Proceso de Implementación en la organización

## **E. Anexo E - Documentos de gestión del proyecto**

### **E.1. Acta de constitución**

#### **ACTA DE CONSTITUCIÓN DE PROYECTO**

##### **1. Nombre del proyecto:**

- Optimización de la exhibición de productos en supermercados: desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones
- 

##### **2. Ámbito de ejecución:**

- Cadena de supermercados en Uruguay.
- 

##### **3. Objetivo del proyecto:**

- Desarrollar una herramienta de apoyo para la toma de decisiones que optimice la asignación de espacio en estanterías, eliminando la subjetividad del proceso y maximizando el beneficio comercial.
- 

##### **4. Finalidad del proyecto:**

- Se acordó continuar con el análisis de la información disponible y establecer un cronograma para la integración de los datos en el modelo de optimización.
- 

##### **5. Descripción breve:**

- Este proyecto se basa en la creación de un modelo matemático que optimiza la disposición de productos en las estanterías de supermercados, considerando factores como la elasticidad del espacio y los costos operativos.
- 

##### **6. Participantes:**

- Erik Tauber Mountford - Miembro del equipo de trabajo
- Kevin Tauber Mountford - Miembro del equipo de trabajo
- Matías Valentín Perruni Figueredo - Miembro del equipo de trabajo

## E.2. Cronograma de proyecto

Fase	Actividad	Duración	Fecha de Inicio	Fecha de Fin
<b>Inicio</b>	<b>1. Definición del proyecto</b>			
	1.1 Definición del objetivo y propuesta para el PFG	1 semana	01/05/2024	08/05/2024
	1.2 Acta de constitución del proyecto	1 semana	08/05/2024	15/05/2024
	1.3 Definición del alcance	1 semana	08/05/2024	15/05/2024
<b>Planificación</b>	<b>2. Planificación del proyecto</b>			
	2.1 Planificación del cronograma	1 semana	15/05/2024	22/05/2024
	2.2 Identificación de riesgos	1 semana	22/05/2024	05/06/2024
<b>Ejecución</b>	<b>3. Fundamentación teórica</b>			
	3.1 Estudio del estado del arte	3 semanas	05/06/2024	26/06/2024
	3.2 Construcción de marco teórico	2 semanas	26/06/2024	10/07/2024
	3.3 Construcción de revisión bibliográfica	2 semanas	26/06/2024	10/07/2024
	<b>4. Recolección de datos</b>			
	4.1 Recolección de datos sobre exhibición y ventas	3 semanas	10/07/2024	11/08/2024
	4.2 Análisis de elasticidad del espacio	3 semanas	10/07/2024	11/08/2024
	4.3 Análisis de costos operativos (inventario y reposición)	3 semanas	10/07/2024	11/08/2024
	<b>5. Desarrollo del modelo matemático</b>			
	5.1 Definición de variables y restricciones del modelo	3 semanas	11/08/2024	01/09/2024
5.2 Construcción del modelo matemático	3 semanas	11/08/2024	01/09/2024	

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha de Inicio</b>	<b>Fecha de Fin</b>
	5.3 Validación del modelo matemático	1 semana	01/09/2024	08/09/2024
<b>Monitoreo y Control</b>	<b>6. Proceso de validación</b>			
	6.1 Selección y ejecución de casos de validación	1 semana	08/09/2024	15/09/2024
	6.2 Corrección e iteración de la validación	1 semana	15/09/2024	22/09/2024
<b>Cierre y Redacción</b>	<b>7. Análisis de resultados preliminares</b>			
	7.1 Ejecución del modelo sobre datos relevados	1 semana	22/09/2024	29/09/2024
	7.2 Análisis de resultados	1 semana	29/09/2024	06/10/2024
	7.3 Redacción de conclusiones	1 semana	06/10/2024	13/10/2024
	<b>8. Redacción del informe final</b>			
	8.1 Redacción del informe	20 semanas	15/05/2024	16/10/2024
	8.2 Revisión del informe por parte de los tutores e iteración	3 semanas	16/10/2024	06/11/2024
	8.3 Entrega final del proyecto	1 día	06/11/2024	07/11/2024

Tabla 71: Versión final del cronograma de ejecución del Proyecto Final de Grado. Elaboración propia.

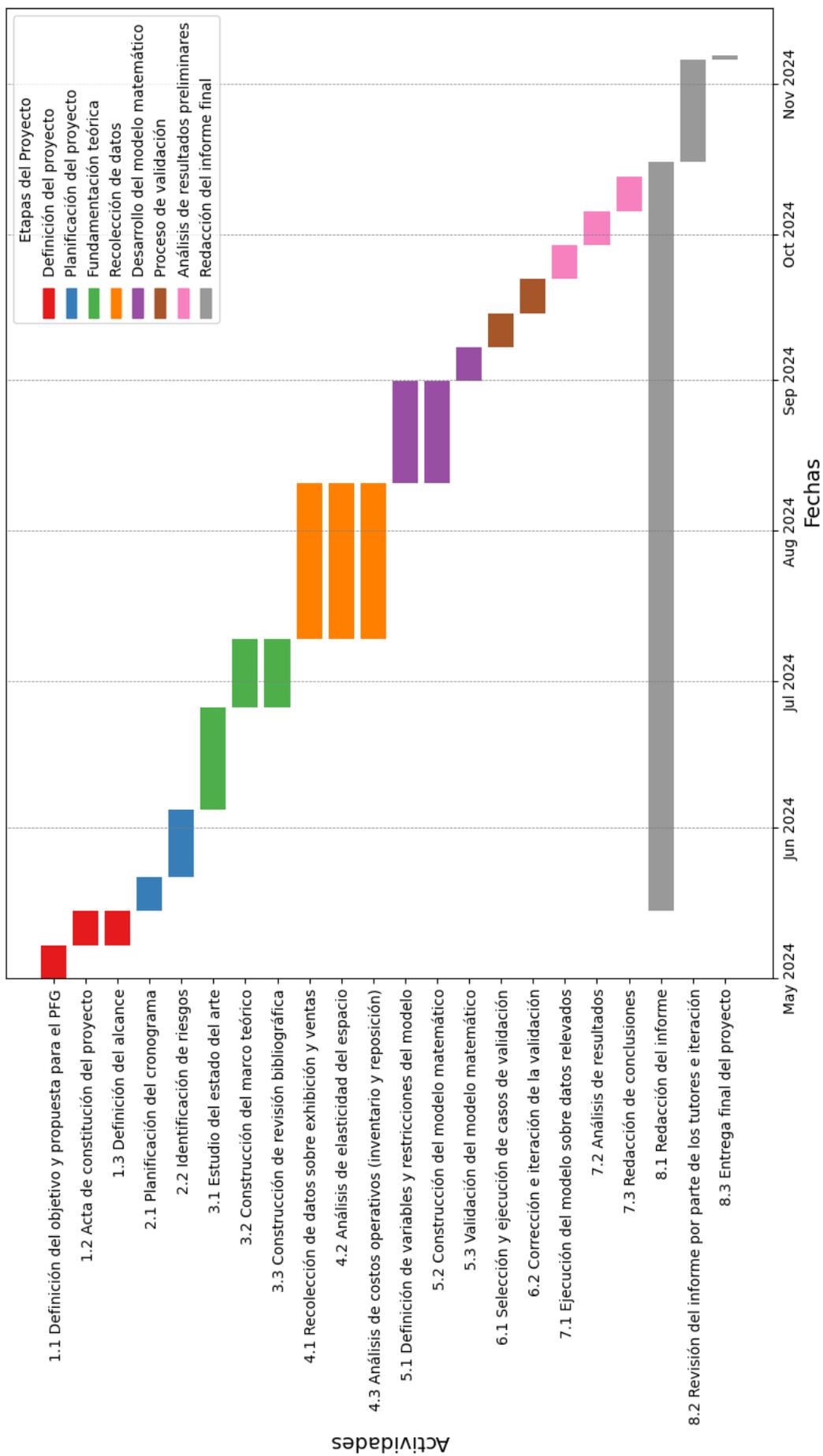


Figura 37: Diagrama de Gantt de la versión final del cronograma de ejecución del Proyecto Final de Grado. Elaboración propia.

### E.3. Matriz RACI

Tabla 72: Responsabilidades del equipo en el proyecto

Actividad	Equipo de Trabajo	Tutores	Jefes de Piso	Supply Chain	Comercial	Dirección General
1.1 Definición del objetivo y propuesta para el PFG	R	A	-	C	-	I
1.2 Acta de constitución del proyecto	R	A	-	C	-	I
1.3 Definición del alcance	R	C	-	C	I	I
2.1 Planificación del cronograma	R	A	-	C	-	I
2.2 Identificación de riesgos	R	A	C	C	C	I
3.1 Estudio del estado del arte	R	A	-	C	-	I
3.2 Construcción de marco teórico	R	A	-	I	-	I
3.3 Construcción de revisión bibliográfica	R	A	-	I	-	I
4.1 Recolección de datos sobre exhibición y ventas	R/A	I	C	I	-	I
4.2 Análisis de elasticidad del espacio	R/A	I	-	C	-	I
4.3 Análisis de costos operativos (inventario y reposición)	R/A	I	C	C	-	I
5.1 Definición de variables y restricciones del modelo	R/A	I	C	C	-	I
5.2 Construcción del modelo matemático	R/A	I	-	I	-	I

<b>Actividad</b>	<b>Equipo de Trabajo</b>	<b>Tutores</b>	<b>Jefes de Piso</b>	<b>Supply Chain</b>	<b>Comercial</b>	<b>Dirección General</b>
5.3 Validación del modelo matemático	R/A	I	-	I	-	I
6.1 Selección y ejecución de casos de validación	R/A	I	-	I	-	I
6.2 Corrección e iteración de la validación	R/A	I	-	I	-	I
7.1 Ejecución del modelo sobre datos relevados	R/A	I	C	I	-	I
7.2 Análisis de resultados	R	A	-	I	-	I
7.3 Redacción de conclusiones	R	A	-	C	-	I
8.1 Redacción del informe	R	A	-	C	-	I
8.2 Revisión del informe por parte de los tutores e iteración	R	A	-	-	-	I
8.3 Entrega final del proyecto	R	A	-	I	-	I

Tabla 72: Matriz RACI. Elaboración propia.

#### E.4. Matriz de Interés-Poder

Parte interesada	Poder	Interés	Estrategia de gestión
<b>Equipo de tutores</b>	Alto	Alto	El equipo de tutores tiene un rol fundamental de guía en el proyecto. Por este motivo se busca mantener informado y ser consultado frecuentemente. Para ello se definen reuniones bimensuales. Se establece un ritmo de trabajo alto, con avances presentados y consultas puntuales. También se enviarán actualizaciones periódicas del informe y las nuevas secciones para disminuir la carga de trabajo y revisión al final del trabajo.
<b>Jefes de piso</b>	Bajo	Medio	Esta parte comienza con un interés medio, siendo importante involucrarlos para relevar la información correcta y motivar el uso de la herramienta en el futuro. De esta manera es posible conocer como se trabaja hoy en día y posiblemente entender sus necesidades. Mantener comunicación en etapas donde incluso puedan no ser estrictamente necesarios para mejorar su interés.
<b>Referentes del departamento de <i>Supply Chain</i></b>	Alto	Alto	Colaborar estrechamente y consultar en decisiones críticas. Esta parte interesada es la que propone el proyecto. Dado su nivel de interés y conocimiento resulta fundamental involucrarse estrechamente en los desarrollos del proyecto y consultar toda la información necesaria para comprender sus necesidades. Puesto que un miembro del equipo de trabajo pertenece al departamento, la estrategia a tomar es mantener comunicación frecuente, incluso informal, para detallar los avances del proyecto.
<b>Referentes del departamento comercial</b>	Bajo	Medio	El departamento comercial es una parte interesada fundamental para el desarrollo del proyecto. Principalmente brindan información sobre ciertas prácticas que es necesario incorporar al desarrollo del proyecto, como detalles sobre la exhibición o los acuerdos comerciales. Por ese motivo, si bien su interés puede ser inicialmente medio, es necesario compartir los beneficios de la herramienta para que estén dispuestos a colaborar.

---

<b>Parte interesada</b>	<b>Poder</b>	<b>Interés</b>	<b>Estrategia de gestión</b>
<b>Dirección general</b>	Alto	Bajo	Se trata de una parte interesada prácticamente externa. Conocen del desarrollo del proyecto, pero no están involucrados en la toma de decisiones ni para el relevamiento de información, salvando excepciones. Resulta de importante mejorar el nivel de interés dado el alto poder de esta parte, para que conozcan que se está trabajando en la herramienta, los beneficios de la misma y que sea posible colaborar más adelante en una posible implementación. Para ello se harán actualizaciones bimensuales de alto nivel sobre el avance del proyecto.

---

Tabla 73: Matriz Interés-Poder. Elaboración propia.

---

## E.5. Matriz de riesgos

Categoría	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Severidad
<b>Del proyecto</b>	Demoras en la comunicación con tutores	2	3	6
	Desvinculación entre la organización y el integrante del equipo de trabajo	3	3	9
	Deficiencias en la comunicación con la organización	2	5	10
	Imposibilidad de los integrantes del equipo de trabajo de llevar el proyecto a término	3	5	15
<b>Externos</b>	Expectativas demasiado elevadas por parte de la organización	3	3	9
	Cambios en la demanda	4	4	16
	Competencia en precios	4	4	16
<b>Técnicos</b>	Escasa bibliografía sobre los temas de interés para el proyecto	2	4	8
	Falta de datos	2	5	10
	Errores en la estimación de la demanda	3	4	12
	Falta de habilidades o recursos técnicos para resolver el problema planteado	3	5	15
	El modelo encontrado no encuentra soluciones factibles en tiempos de ejecución razonables	3	5	15

Tabla 74: Tabla de ponderación de riesgos. Elaboración propia

<b>Categoría</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Estrategia de mitigación</b>
<b>Del proyecto</b>	Demoras en la comunicación con tutores	Proponer instancias de intercambio cada quince días para evacuar dudas, facilitar instancias presenciales o virtuales para mantener una comunicación tan fluida como sea posible.
	Desvinculación entre la organización y el integrante del equipo de trabajo	Determinar métodos alternativos para la comunicación con la organización, negociar acuerdos con acceso limitado a los datos relevantes para el proyecto en caso de que eso suceda.
	Deficiencias en la comunicación con la organización	Identificar roles y personas que puedan ser fuentes de información en caso de que la contraparte designada presente dificultades para la comunicación. Buscar vías alternativas de comunicación, destacar la importancia de la herramienta y cómo puede ayudar a las partes interesadas.
	Imposibilidad de los integrantes del equipo de trabajo de llevar el proyecto a término	Maximizar la colaboración y comunicación dentro del equipo de trabajo, destacar la importancia del proyecto para el cierre de la última etapa de la carrera.
<b>Externos</b>	Expectativas demasiado elevadas por parte de la organización	Comprender las expectativas por parte de la organización e intentar construir una herramienta que pueda alcanzarlas. Comunicar los avances y las posibilidades en los plazos del proyecto y capacidades del equipo de trabajo. Dejar claras las posibilidades y el alcance del proyecto en cada instancia de intercambio para evitar crear falsas expectativas.
	Cambios en la demanda	Relevamientos frecuentes de modo que sea posible ajustar los parámetros del modelo a los cambios en el comportamiento del consumidor.
	Competencia en precios	Monitorear precios de competidores evitando pérdida de competitividad.
<b>Técnicos</b>	Escasa bibliografía sobre los temas de interés para el proyecto	Explorar todas las fuentes disponibles, haciendo uso de la herramienta Timbó. En caso de no ser suficiente modificar las herramientas a ser utilizadas o modificar el alcance definido.

<b>Categoría</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Estrategia de mitigación</b>
	Falta de datos	Relevar manualmente los datos faltantes e informar a la organización para mejorar los registros. En caso de no contar con información, trabajar en conjunto con la organización para alcanzar estimados.
	Errores en la estimación de la demanda	Relevamiento exhaustivo de la bibliografía disponible de modo de encontrar un modelo que permita hacer una correcta estimación de la demanda.
	Falta de habilidades o recursos técnicos para resolver el problema planteado	Investigar la bibliografía, asesoramiento con tutores y pares de modo de comprender los conceptos y poder aplicar las herramientas necesarias para resolver el problema planteado.
	El modelo encontrado no encuentra soluciones factibles en tiempos de ejecución razonables	Relajar el problema buscando que se presente la realidad tanto como sea posible. Buscar otras herramientas que permitan encontrar una solución en un tiempo razonable.

Tabla 75: Tabla de estrategias de mitigación de riesgos. Elaboración propia.

## Referencias

- ACNielsen, John Karolefski y Al Heller (2006). *Consumer-Centric Category Management: How to Increase Profits by Managing Categories Based on Consumer Needs*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-471-70359-4.
- Anderson, Evan E. (ene. de 1979). «An Analysis of Retail Display Space: Theory and Methods». En: *The Journal of Business* 52.1. Accessed: 22/06/2024, págs. 103-118. URL: <https://www.jstor.org/stable/2352666>.
- Armstrong, Gary y Philip Kotler (2013). *Marketing: An Introduction*. México, D.F.: Pearson Education.
- Ballou, Ronald H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. 5.<sup>a</sup> ed. México: Pearson Educación. ISBN: 970-26-0540-7.
- Banco Central del Uruguay (2024). *Tasas medias de interés*. [PDF]. URL: <https://www.bcu.gub.uy/Servicios-Financieros-SSF/Tasas-Medias/tasas-medias-interes.pdf>.
- Barry Berman, Joel R. Evans Patrali Chatterjee (2019). *Retail Management: A Strategic Approach*. Decimotercera edición. UK: Pearson Education. ISBN: 1-292-21467-8.
- Borin, Norm, Paul W. Farris y James R. Freeland (1994). «A model for determining retail product category assortment and shelf space allocation». En: *Decision Sciences* 25.3, págs. 359-384. DOI: 10.1111/j.1540-5915.1994.tb00809.x.
- Conforti, Michele, Gérard Cornuéjols y Giacomo Zambelli (2014). *Integer Programming*. Cham: Springer. ISBN: 978-3-319-11007-3. DOI: 10.1007/978-3-319-11008-0.
- Corstjens, Marcel y Peter Doyle (1981). «A model for optimizing retail space allocations». En: *Management Science* 27.7, págs. 822-833. DOI: 10.1287/mnsc.27.7.822. URL: <http://www.jstor.org/stable/2630921>.
- Curhan, Ronald C. (1972). «The relationship between shelf space and unit sales in supermarkets». En: *Journal of Marketing Research* 9.4, págs. 406-412. DOI: 10.2307/3149304. URL: <http://www.jstor.org/stable/3149304>.
- Desmet, Pierre y Valérie Renaudin (1998). «Estimation of product category sales responsiveness to allocated shelf space». En: *International Journal of Research in Marketing* 15.5, págs. 443-457. DOI: 10.1016/S0167-8116(98)00010-3.

- Drèze, Xavier, Stephen J. Hoch y Mary E. Purk (1994). «Shelf management and space elasticity». En: *Journal of Retailing* 70.4, págs. 301-326. DOI: 10.1016/0022-4359(94)90002-7.
- Eisend, Martin (2013). «Shelf space elasticity: A meta-analysis». En: *Journal of Retailing*. Article in press.
- Guillem, José Miguel Albarracín (feb. de 2016). «Propuesta de un modelo matemático para la ayuda a la toma de decisiones en la ubicación de productos en estanterías. Aplicación a las grandes superficies». Dirigida por Dr. D. José Pedro García Sabater y Dr. D. Manuel Cardós Carboneras. Tesis Doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Hansen, Pierre y Hans Heinsbroek (1979). «Product selection and space allocation in supermarkets». En: *European Journal of Operational Research* 3.6, págs. 474-484.
- Hübner, Alexander y Heinrich Kuhn (2023). «Decision support for managing assortments, shelf space, and replenishment in retail». En: *Flexible Services and Manufacturing Journal* 36, págs. 1-35. DOI: 10.1007/s10696-023-09492-z.
- Hübner, Alexander y Kai Schaal (2017). «Effect of replenishment and backroom on retail shelf-space planning». En: *Business Research* 10.2. Received: 16 March 2016 / Accepted: 8 December 2016, págs. 165-205. DOI: 10.1007/s40685-016-0043-6.
- Kumar, S. Anil y N. Suresh (2008). *Production and Operations Management: With Skill Development, Caselets and Cases*. 2.<sup>a</sup> ed. New Delhi: New Age International (P) Limited, Publishers. ISBN: 978-81-224-2425-6.
- Niebel, Benjamin W. y Andris Freivalds (2013). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño de Trabajo*. 12.<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill.
- Palacios-Villarraga, Nicolás Felipe y Carlos Rodrigo Ruiz-Cruz (2019). «Modelo para la planeación del surtido, asignación de espacio y localización en góndola». En: *INGE CUC* 15.2. Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción: 04/09/2018. Fecha de Aceptación: 20/05/2019., págs. 23-35. DOI: 10.17981/ingecuc.15.2.2019.03. URL: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.15.2.2019.03>.
- Ramaseshan, B., N. R. Achuthan y R. Collinson (2009). «A retail category management model integrating shelf space and inventory levels». En: *Asia-Pacific Journal of Operational Research* 26.04, págs. 457-478. DOI: 10.1142/S0217595909002304.

Salén, Henrik (1994). *Los secretos del merchandising activo o cómo ser el número 1 en el punto de venta*. Juan Bravo, 3A, 28006 MADRID (España): Ediciones Díaz de Santos, S.A. ISBN: 84-7978-124-6.

Schroeder, Roger G., Susan Meyer Goldstein y M. Johnny Rungtusanatham (2011). *Administración de operaciones: Conceptos y casos contemporáneos*. Quinta edición. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-607-15-0609-0.

Uruguay XXI (2023). *Informe Retail 2023*. Recuperado de <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/>. Uruguay XXI. (Visitado 15-06-2024).