



Universidad de la República  
Facultad de Ingeniería

# **OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES LOGÍSTICAS EN FARMACIA HOSPITALARIA**

Evaluación de sistema de dispensación automática

**PROYECTO DE GRADO**  
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN  
Julio, 2021

María Jesús Echeguía | Sebastián Farolini | María Valeria Quinelli

Tutor: Prof. Adrián Ferrari



## Resumen ejecutivo

En este proyecto se aborda el estudio de las operaciones logísticas dentro de una farmacia hospitalaria en uno de los centros asistenciales de nuestro país, incursionando en temas de robótica aplicada. Este ámbito presenta un desafío interesante dado el largo camino que hay por recorrer en términos de una gestión logística automatizada. Para esto, fue necesario interiorizarse en conceptos de robótica y gestión de inventarios. Se estudiaron las características de los sistemas que son comúnmente utilizados hoy en día para poder tomar una decisión en cuanto a qué tipo de infraestructura proponer.

El caso de estudio se centró en el Despacho Ambulatorio del Hospital Pasteur. Luego de varios intercambios, se extrajo que su principal inquietud radica en los elevados tiempos de espera que experimentan los usuarios de la farmacia. Para abordar el trabajo, se realizaron diversas visitas de relevamiento y se analizaron reportes históricos de demanda. Como consecuencia del estudio, se arribó a una solución incremental que permite sentar las bases con mejoras a corto plazo, para luego escalar hacia un sistema robotizado que busca optimizar el proceso de dispensación de medicamentos.

En una primera instancia, se analiza la gestión actual de inventarios y se propone un sistema de reposición que minimice los tiempos destinados a actividades relacionadas a la recepción, control y despacho de medicamentos. Para ello, se construyó un modelo matemático en el que se tuvieron en cuenta restricciones inherentes a la disponibilidad del personal y al espacio de almacenamiento, buscando obtener una solución que garantice un alto nivel de servicio.

En una segunda instancia, se propone el diseño interior de un sistema de dispensación automática. Se busca definir los tamaños y posiciones de almacenamiento con el fin de minimizar las distancias que debe recorrer el manipulador, para así disminuir los tiempos de dispensación.

Se puede concluir que las mejoras propuestas resultan ventajosas. Con la primera solución se obtiene una disminución sustancial de los tiempos dedicados a la reposición y control de inventarios con respecto a la situación actual, liberando a los auxiliares de farmacia a efectos de lograr una mayor disponibilidad en la atención a los usuarios. En la segunda etapa, se logra diseñar un sistema adecuado a la realidad del hospital que garantiza un óptimo almacenamiento y que permite una mayor rapidez en la preparación de pedidos de medicamentos.

Se concluye que fue posible cumplir con los objetivos del proyecto, en el entendido de que se llevó a cabo un estudio detallado que brinda herramientas para la toma de decisiones en la gestión de farmacias hospitalarias. Particularmente para el Hospital Pasteur, podrá servir como hoja de ruta para emprender un plan de mejoras en su gestión logística.

**Palabras clave:** Gestión de inventarios, logística de farmacia, optimización, programación matemática, sistemas de dispensación automática, manipulador robótico, *picking* robotizado, toma de decisiones.

**Keywords:** *Inventory management, pharmacy logistics, optimization, mathematical programming, automated dispensing systems, robotic manipulator, robotic picking, decision making.*



## Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a todo el equipo del Hospital Pasteur liderado por el Dr. Federico Martiarena, que nos abrió sus puertas con muy buena disposición desde el primer día. En particular, a la Dra. Alicia Ferreira por haber sido nuestro primer contacto y a las químicas farmacéuticas Laura Rüginitz y Teresita Mujico, por su tiempo y atención para con nosotros. También queremos expresar nuestra gratitud hacia los auxiliares de farmacia, quienes colaboraron desde su experiencia para responder todas nuestras consultas durante las visitas. Además, a la Dra. Eliana Leguisamo que en su pasaje por el Hospital Pasteur contribuyó con nuestro trabajo, actuando como nexo con la Dirección.

Queremos expresar nuestro agradecimiento al tutor Prof. Adrián Ferrari quien fue una persona clave que nos dedicó un gran tiempo y nos acompañó activamente durante todo el proyecto. En todo momento nos brindó motivación para sortear los distintos obstáculos que se nos presentaron, así como también sugerencias enriquecedoras.

Al Dr. Ing. Héctor Cancela y al Dr. Ing. Carlos Testuri, quienes nos proporcionaron de forma desinteresada y desde su vasto conocimiento, herramientas de modelado matemático que fueron cruciales en el desarrollo de este proyecto.

Por último pero no menos importante nos gustaría agradecerle a nuestras familias y amigos que fueron un sustento incondicional durante todo el recorrido.



## Índice de contenido

1.	Introducción .....	19
2.	Marco teórico.....	21
2.1.	Farmacias hospitalarias.....	21
2.2.	Gestión de inventarios .....	22
2.2.1.	Stock de seguridad y punto de pedido.....	23
2.2.2.	Modelo Mín-Máx.....	24
2.2.3.	<i>Two-Bin</i> .....	24
2.2.4.	Gestión de inventarios en farmacias hospitalarias .....	25
2.2.5.	Clasificación ABC .....	26
2.3.	Robótica.....	27
2.3.1.	Robótica industrial y colaborativa .....	27
2.3.2.	Principales elementos de un robot industrial .....	28
2.3.2.1.	Estructura mecánica .....	28
2.3.2.2.	Efectores finales .....	31
2.3.3.	Elementos a evaluar para la selección de un robot adecuado.....	33
2.3.4.	AGVs: Automated Guided Vehicles .....	33
2.3.5.	Sistemas de dispensación automática.....	37
3.	Definición del problema.....	41
3.1.	Descripción del caso de estudio.....	41
3.1.1.	Acerca del Hospital Pasteur .....	41
3.1.2.	Alcance del estudio .....	42
3.1.3.	Infraestructura y recursos del Despacho Ambulatorio.....	42
3.1.4.	Descripción de procesos .....	45
3.1.4.1.	Preparación de pedidos y despacho por ventanilla .....	45
3.1.4.2.	Reposición de stock.....	46
3.1.4.3.	Balances diarios de inventario.....	47
3.2.	Modelado .....	47
3.2.1.	Etapa 1.....	47
3.2.2.	Etapa 2.....	50
3.2.2.1.	Elección del sistema automatizado .....	50
3.2.2.2.	Descripción del modelo .....	53
3.2.2.3.	Hipótesis asumidas.....	54
4.	Relevamiento de datos.....	57

4.1.	Datos a relevar .....	57
4.1.1.	Medicamentos .....	58
4.1.2.	Despachos .....	59
4.1.3.	SKUs.....	60
4.1.4.	SEIC.....	61
4.2.	Dificultades encontradas y consideraciones .....	63
5.	Etapa 1 .....	65
5.1.	Modelado matemático .....	65
5.1.1.	Conjuntos.....	65
5.1.2.	Parámetros .....	65
5.1.3.	Variables .....	66
5.1.3.1.	Variables de decisión independientes.....	66
5.1.3.2.	Otras variables.....	66
5.1.4.	Formulación del Modelo I .....	67
5.2.	Procesamiento de datos.....	69
5.2.1.	Análisis ABC y método <i>Two-Bin</i> .....	69
5.2.2.	Demanda y punto de pedido .....	70
5.2.3.	Tiempos .....	71
5.2.4.	Volúmenes.....	73
5.2.5.	Reposiciones internas y stock en zona de ventanillas .....	74
5.3.	Análisis de resultados.....	74
5.3.1.	Resultados numéricos .....	75
5.3.2.	Comparativa con situación actual .....	79
5.4.	Análisis de sensibilidad .....	83
5.4.1.	Escenarios .....	83
5.4.1.1.	E1: Aumento de demanda de DA.....	84
5.4.1.2.	E2: Incorporación de demanda de SEIC.....	86
5.4.1.3.	E3: Aumento de <i>leadtime</i> de reposición.....	88
5.4.1.4.	E4: Aumento de punto de pedido .....	89
5.4.1.5.	E5: Ausencia del sistema <i>Two-Bin</i> .....	91
5.4.2.	Comparación de resultados .....	93
5.4.2.1.	Tiempos de gestión de inventario.....	93
5.4.2.2.	Parámetros de entrada .....	96
5.4.2.3.	Niveles de stock.....	98

6.	Etapa 2 .....	101
6.1.	Modelo matemático .....	101
6.1.1.	Conjuntos.....	101
6.1.2.	Parámetros .....	101
6.1.3.	Variables.....	102
6.1.3.1.	Variables de decisión independientes.....	102
6.1.3.2.	Otras variables.....	102
6.1.4.	Consideraciones.....	103
6.1.5.	Formulación del Modelo II.....	105
6.2.	Procesamiento de datos.....	107
6.2.1.	Análisis ABC .....	107
6.2.2.	Dimensionado de la cabina .....	107
6.2.3.	Medidas y talles de los <i>slots</i> .....	113
6.3.	Análisis de resultados.....	117
6.4.	Análisis de sensibilidad .....	121
6.4.1.	E1: Incorporación de demanda de SEIC .....	122
6.4.1.1.	Modificaciones respecto al caso base.....	122
6.4.1.2.	Resultados obtenidos .....	123
6.4.2.	E2: Filas con altura única .....	125
6.4.2.1.	Modificaciones respecto al caso base.....	125
6.4.2.2.	Resultados obtenidos .....	126
6.4.3.	E3: Movimiento de boca de dispensación a vértice de cabina.....	128
6.4.3.1.	Modificaciones respecto al caso base.....	128
6.4.3.2.	Resultados obtenidos .....	128
6.4.4.	E4: Movimiento de boca de dispensación a pasaje entre ambientes .....	130
6.4.4.1.	Modificaciones respecto al caso base.....	130
6.4.4.2.	Resultados obtenidos .....	130
6.4.5.	E5: Menor profundidad de la cabina .....	132
6.4.5.1.	Modificaciones respecto al caso base.....	132
6.4.5.2.	Resultados obtenidos .....	132
6.4.6.	Resumen de escenarios.....	134
7.	Recomendaciones a la contraparte .....	135
7.1.	Fase 1: acciones a corto plazo.....	135
7.2.	Fase 2: acciones a mediano plazo.....	137

7.3. Fase 3: acciones a largo plazo.....	139
8. Conclusiones .....	141
9. Trabajos futuros.....	143
Bibliografía .....	145
Anexos .....	153
Anexo I: Resumen de proveedores .....	153
Anexo II: Trabajos relacionados .....	155
Anexo III: Organigrama de la farmacia del Hospital Pasteur .....	157
Anexo IV: Matriz interés-poder .....	159
Anexo V: Layout Hospital Pasteur .....	163
Anexo VI: Diagramas de flujo .....	165
Anexo VII: Listado de <i>SKUs</i> para la Etapa 1 .....	171
Anexo VIII: Principios activos de estrecho margen terapéutico.....	179
Anexo IX: Reportes .....	181
Anexo X: Volumen ocupado por estantería a lo largo de la semana.....	185

## Índice de figuras

Figura 1. Sistema de punto de pedido. [8] .....	23
Figura 2. Sistema Mín-Máx de control de inventarios. [9] .....	24
Figura 3. Brazo humano vs brazo robótico. [21] .....	28
Figura 4. Cinco tipos de articulaciones comúnmente usadas en robótica industrial. [22] .....	29
Figura 5. Configuraciones brazo-tronco del robot. [18], [22] .....	30
Figura 6. Pinzas mecánicas de dos y tres dedos. [24] .....	32
Figura 7. Ventosa de vacío. [24].....	32
Figura 8. AGVs guiados por cables eléctricos. [22].....	34
Figura 9. AGVs guiados por líneas pintadas en el suelo. [25].....	34
Figura 10. AGVs guiados por cintas magnéticas. [26].....	35
Figura 11. Vehículos guiados por láser (LGVs). [27].....	35
Figura 12. Brazo robotizado montado sobre AGV. [29].....	36
Figura 13. AGVs de transporte. [30, 31].....	37
Figura 14. Conjunto de elementos que intervienen en el proceso de reposición automática. [24] .....	38
Figura 15. Sistema de dispensación automática de tipo inclinado. [34].....	39
Figura 16. Sistema de dispensación automática de orden caótico. [35].....	40
Figura 17. Esquema de distribución de ambientes en DA. Adaptado de Figura 76. ....	43
Figura 18. Zona de ventanillas en primer ambiente de DA. [38] .....	44
Figura 19. Estanterías móviles en segundo ambiente de DA. [38] .....	44
Figura 20. Imagen tomada desde sala de espera de DA. [38] .....	45
Figura 21. Flujo de stock dentro del sistema. Elaboración propia.....	49
Figura 22. Manipulador de dispensación en sistema de tipo inclinado. [34, 39].....	51
Figura 23. Secuencia de accionamiento del efector final de dispensación. [39].....	52
Figura 24. Manipulador de reposición en sistema de tipo inclinado. [40].....	52
Figura 25. Representación de un slot (a) [42] Dimensiones de un talle de un slot (b). Elaboración propia.....	54
Figura 26. Cantidad de fantasías por tipo de presentación secundaria de DA. Elaboración propia. ....	59
Figura 27. Tablero de datos de interés del período analizado. Elaboración propia.....	60
Figura 28. Promedio de unidades dispensadas por mes de atención en DA. Elaboración propia. ....	61
Figura 29. Evolución de usuarios por mes en Farmacia SEIC. Elaboración propia. ....	62

Figura 30. Cantidad de fantasías por tipo de presentación secundaria para SKUs de SEIC. Elaboración propia. ....	63
Figura 31. Distribución de SKUs por rotación para Etapa 1. Elaboración propia. ....	70
Figura 32. Esquema de distribución de SKUs por estantería según su rotación. Adaptado de Figura 76. ....	74
Figura 33. Comparación de nivel de stock semanal por rotación de SKUs. Elaboración propia. ....	77
Figura 34. Nivel de ocupación en las estanterías a lo largo de la semana: E0 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	77
Figura 35. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible: E0 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	78
Figura 36. Comparativa de peso de actividades entre la actualidad y E0 para la Etapa 1. Elaboración propia. ....	79
Figura 37. Comparativa de función objetivo desglosada por actividad, entre la situación actual y E0 para la Etapa 1. Elaboración propia. ....	81
Figura 38. Variación del nivel de stock máximo en cantidad de SKUs respecto a situación actual para la Etapa 1. Elaboración propia. ....	82
Figura 39. Variación del nivel de stock máximo en cantidad de SKUs desglosado por rotación respecto a situación actual para la Etapa 1. Elaboración propia. ....	82
Figura 40. Variación del nivel de stock máximo en unidades por rotación respecto a situación actual para la Etapa 1. Elaboración propia. ....	83
Figura 41. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E1 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	86
Figura 42. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E2 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	87
Figura 43. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E3 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	89
Figura 44. Comparación del nivel de stock total en DA a lo largo de la semana entre E0 y E4 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	90
Figura 45. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E4 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	91
Figura 46. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E5 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	92
Figura 47. Contribución de actividades en la función objetivo de la Etapa 1 por escenario. Elaboración propia. ....	95
Figura 48. Comparación de demanda semanal respecto a E0 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	96
Figura 49. Comparación de puntos de pedido respecto a E0 de la Etapa 1. Elaboración propia. ....	97

Figura 50. Nivel de stock máximo en DA para la Etapa 1. Elaboración propia.....	98
Figura 51. Volumen ocupado en DA por día de la semana para la Etapa 1. Elaboración propia. .....	99
Figura 52. Volumen promedio diario ocupado por estantería para la Etapa 1. Elaboración propia. ....	100
Figura 53. Esquema de la cabina vista de frente con los parámetros estructurales del modelo. Elaboración propia. ....	103
Figura 54. Posible ubicación de la cabina en zona de ventanillas. Adaptado de Anexo V: Layout Hospital Pasteur.....	108
Figura 55. Vista frontal y lateral de la zona del manipulador de dispensación y las canaletas. [34] .....	109
Figura 56. Ejemplos de manipuladores de dispensación. [45, 34, 39].....	110
Figura 57. Ejemplo de cinta transportadora para sistema de reposición. [40].....	111
Figura 58. Ejemplo de plataforma de identificación de medicamentos. [44].....	111
Figura 59. Ejemplo de manipulador de reposición. [45] .....	112
Figura 60. Posible ubicación de la cabina en segundo ambiente. Adaptado de Anexo V: Layout Hospital Pasteur.....	112
Figura 61. Cantidad de SKUs por tipo de presentación secundaria para E0 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	113
Figura 62. Agrupamiento de fantasías para conformar los talles correspondientes al E0 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	114
Figura 63. Restricción física para el correcto accionamiento del manipulador de dispensación. Elaboración propia. ....	116
Figura 64. Vista frontal de la distribución de slots para E0 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	118
Figura 65. Vista frontal de la distribución de slots para la extensión de E0 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	121
Figura 66. Cantidad de SKUs por tipo de presentación secundaria para E1 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	122
Figura 67. Agrupamiento de fantasías para conformar los talles correspondientes al E1 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	123
Figura 68. Vista frontal de la distribución de slots para E1 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	124
Figura 69. Agrupamiento de fantasías para conformar los talles correspondientes al E2 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	126
Figura 70. Vista frontal de la distribución de slots para E2 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	127
Figura 71. Vista frontal de la distribución de slots para E3 de la Etapa 2. Elaboración propia. ....	129

Figura 72. Vista frontal de la distribución de slots para E4 de la Etapa 2. Elaboración propia.	131
Figura 73. Vista frontal de la distribución de slots para E5 de la Etapa 2. Elaboración propia.	133
Figura 74. Organigrama de la Farmacia del Hospital Pasteur. Elaboración propia.	157
Figura 75. Matriz interés-poder. Elaboración propia.	161
Figura 76. Plano del Hospital Pasteur. Enviado por arquitecta del HP.	163
Figura 77. Flujo principal del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA. Elaboración propia.	166
Figura 78. Ramificación del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA para pacientes con tratamiento agudo. Elaboración propia.	167
Figura 79. Ramificación del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA para pacientes con tratamiento crónico en curso. Elaboración propia.	168
Figura 80. Ramificación del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA para pacientes con un nuevo tratamiento crónico. Elaboración propia.	170
Figura 81. Proceso de reposición de medicamentos regulares y refrigerados del DA. Elaboración propia.	170
Figura 82. Promedio de recetas digitadas por hora de atención en DA. Elaboración propia.	181
Figura 83. Promedio de unidades despachadas por hora de atención en DA. Elaboración propia.	181
Figura 84. Promedio de unidades despachadas por día de la semana en DA. Elaboración propia.	182
Figura 85. Gráfico de Pareto de los SKUs considerados en la Etapa 1. Elaboración propia.	183
Figura 86. Porcentaje de ocupación de estanterías de alta rotación para SKUs A a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.	185
Figura 87. Porcentaje de ocupación de estanterías móviles para SKUs A a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.	185
Figura 88. Porcentaje de ocupación de estanterías para SKUs B a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.	186
Figura 89. Porcentaje de ocupación de estanterías para SKUs C a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.	186

## Índice de tablas

Tabla 1. Valores utilizados en el modelo de la Etapa 1 para los parámetros de tiempo. ....	72
Tabla 2. Valores utilizados en el modelo de la Etapa 1 para los volúmenes de estanterías.	73
Tabla 3. Contribución de tiempos por actividad en la función objetivo para la Etapa 1.....	76
Tabla 4. Comparativa de función objetivo desglosada por actividad, entre la situación actual y E0 para la Etapa 1. ....	80
Tabla 5. Modificaciones en cada escenario de sensibilidad con respecto a E0 para la Etapa 1. ....	84
Tabla 6. Resumen de corridas de los distintos escenarios de sensibilidad de la Etapa 1. ...	93
Tabla 7. Consideraciones de los tamaños de las fantasías a asignar en cada talle para E0 de la Etapa 2. ....	115
Tabla 8. Dimensiones de los talles utilizados en E0 de la Etapa 2. ....	116
Tabla 9. Comparativa de los resultados obtenidos con los distintos escenarios para la Etapa 2, luego de dos días de ejecución. ....	134
Tabla 10. Resumen de sistemas de dispensación automática de tipo caótico presentes en el mercado. ....	153
Tabla 11. Resumen de sistemas de dispensación automática de tipo inclinado presentes en el mercado. ....	154
Tabla 12. Publicaciones relacionadas al presente estudio. ....	155
Tabla 13. Matriz interés-poder. ....	159
Tabla 14. Listado de SKUs utilizado para la Etapa 1. ....	171
Tabla 15. Listado de principios activos de estrecho margen terapéutico dispensados en DA y sus fantasías asociadas. [41] ....	179



## Glosario

- ARV: medicamentos antirretrovirales.
- ASSE: Administración de Servicios de Salud del Estado.
- DA: Despacho Ambulatorio.
- DC: Depósito Central.
- Fantasía: nombre comercial de un medicamento.
- FNR: Fondo Nacional de Recursos.
- Genérico: principio activo de un medicamento.
- HP: Hospital Pasteur.
- INCA: Instituto Nacional del Cáncer.
- *Leadtime*: intervalo de tiempo que transcurre desde el momento en que se solicita una reposición de stock hasta que los artículos están físicamente disponibles.
- Medicación aguda: aquella que forma parte de un tratamiento ocasional.
- Medicación crónica: aquella que forma parte de tratamientos prolongados.
- Medicamentos de estrecho margen terapéutico: son medicamentos con leve diferencia entre las dosis terapéuticas y tóxicas. No permiten ser despachados alternativamente entre una marca comercial y otra.
- *Picking*: recogida de artículos en la cantidad correcta para satisfacer el pedido de un usuario.
- SEIC: Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas.
- *SKU: Stock Keeping Unit*. Unidad de producto a mantener en un almacén.
- *Solver*: paquete de software que incorpora algoritmos para encontrar soluciones a distintas clases de problemas matemáticos.
- *Substock*: porción del stock subordinada a un stock general, que es gestionada de forma independiente.
- Vademécum institucional: material en el que se pueden consultar las indicaciones, composiciones y presentaciones de los fármacos disponibles en la institución en cuestión.



## 1. Introducción

Los tiempos de espera de los usuarios representan una problemática que inquieta a todo planificador de una cadena logística que implique una atención al público con arribos aleatorios. En estos casos, el planificador se ve obligado a realizar un balance en la asignación de recursos entre las actividades relacionadas a la atención y aquellas enfocadas en la gestión logística de la cadena. Esto no es diferente en las farmacias hospitalarias, en las que el personal a cargo debe asegurar la adquisición, almacenamiento, gestión de inventarios y dispensación de medicamentos. La correctitud en la dispensación de estos es clave ya que los usuarios finales del sistema son pacientes que retiran medicamentos para asegurar su bienestar físico y mental.

Motivado por la situación sanitaria que atravesaba el país al momento de comenzar el proyecto, el equipo de trabajo encontró oportuno contribuir desde su formación académica al ámbito de la salud pública. Presentada la oportunidad de establecer contacto con el Hospital Pasteur (HP), se establecieron de mutuo acuerdo los objetivos del proyecto teniendo en cuenta las inquietudes planteadas por la contraparte.

Respecto a estas inquietudes, las mismas se centraban fundamentalmente en los largos tiempos de espera experimentados en la farmacia de Despacho Ambulatorio (DA). Teniendo esto presente, se realizaron visitas de relevamiento a la farmacia para comprender cabalmente al sistema y sus procesos. Además de obtener los datos necesarios para modelar las operaciones, se trabajó en la identificación de puntos de mejora para luego esbozar un plan de acción a corto, mediano y largo plazo que contribuya con los objetivos planteados para el proyecto.

En línea con las mejoras a implementar, se plantean en forma incremental dos modelos de optimización matemática que buscan atacar los tiempos vinculados a tareas de operaciones logísticas. Para lograrlo, se propone en una primera instancia un nuevo sistema de gestión de inventarios que tiene en cuenta estos tiempos, el que podría sustituir al utilizado actualmente. Se pretende con esto mejorar la eficiencia en la gestión de stock y garantizar que los procesos se ejecuten de forma correcta y ágil, maximizando el tiempo disponible para atención en las ventanillas.

Además, resultó interesante estudiar la automatización del proceso de dispensación, dada la importancia de éste en la atención que se brinda a los usuarios. Fue de gran motivación el hecho de que existe un amplio camino por recorrer en este sentido en los centros asistenciales de la Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE). En este ámbito aún no se ha logrado un nivel de madurez digital en los procesos tal que amerite incursionar en un sistema de este tipo. Se procura lograr con esta automatización una mayor disponibilidad de los recursos humanos en tareas que aporten valor al proceso por sobre aquellas actividades repetitivas.

Durante todo el estudio se plantearon escenarios que contemplan la inminente mudanza de otra Unidad Ejecutora de ASSE al HP. Actualmente, el Servicio de Enfermedades Infecciosas (SEIC) despacha medicamentos por las ventanillas de su propia farmacia, pero ya es prácticamente un hecho que se fusionará con el DA del HP, por lo que el equipo de trabajo consideró importante tener en cuenta en los cálculos este aumento de demanda previsto. Esto significó establecer contacto con personal de SEIC para el relevamiento y posterior procesamiento de datos históricos de despachos.

Se espera que con este proyecto la contraparte obtenga un estudio riguroso que analice soluciones a problemáticas de gestión de la farmacia del hospital y oportunidades de mejora. Esto podría ser un insumo para apoyar la toma de decisiones en un futuro, y contribuir a mejorar la eficiencia del sistema. En cuanto al equipo de trabajo, se pretende trabajar con un caso real muy interesante, tanto desde el punto de vista académico como personal para los estudiantes. El hecho de poder aportar el conocimiento aprendido durante toda la carrera en una temática tan importante como es la salud, suma mucho valor para el equipo de proyecto.

El documento se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta el marco teórico con los conceptos más relevantes. En la Sección 3 se define el problema, describiéndose el caso de estudio y proponiendo dos etapas incrementales para modelar las operaciones. Luego, en la Sección 4 se establecen los tipos de datos necesarios para llevar a cabo el proyecto y cómo fueron relevados. A continuación, en las Secciones 5 y 6 se profundiza en los modelos matemáticos planteados para las etapas 1 y 2 respectivamente. En estos capítulos se incluye el procesamiento de datos, el análisis de resultados y se estudian análisis de sensibilidad. Las recomendaciones a la contraparte se desarrollan en la Sección 7 como un plan de acción desglosado en 3 fases. En la Sección 8 se presentan las conclusiones del proyecto y por último, en la Sección 9 se mencionan posibles trabajos futuros.

## 2. Marco teórico

En la presente sección se introducen conceptos relativos a las farmacias hospitalarias y aspectos generales de la gestión de inventarios. Posteriormente, se describe a la robótica industrial y colaborativa para luego señalar las características principales de los distintos robots que existen en la industria y que son pertinentes al presente trabajo.

### 2.1. Farmacias hospitalarias

Existen varios tipos de farmacias que dispensan medicamentos a los usuarios, clasificadas en la normativa uruguaya en seis categorías: farmacia comunitaria, farmacia hospitalaria, farmacia rural, farmacia homeopática, droguería y farmacia herboristería [1]. Particularmente cabe destacar la definición de farmacia hospitalaria manifestada en [1] para poder entender la diferencia que existe con las farmacias comunitarias de venta al menudeo:

*“Una farmacia hospitalaria es el establecimiento no comercial que integra la segunda categoría destinado a dispensar exclusivamente los servicios farmacéuticos a los pacientes ambulatorios o internados del hospital, sanatorio o policlínica, propiedad del Estado o de particulares, instituciones privadas que prestan asistencia médica colectiva y las policlínicas privadas gratuitas.”*

En las farmacias comunitarias se maneja dinero, mientras que en las hospitalarias no se da dicho intercambio. Esto repercute en el proceso de dispensación de medicamentos y en las actividades que se llevan a cabo en la farmacia. Además, la dispensación de medicamentos en las farmacias hospitalarias se da únicamente bajo la entrega por parte del usuario de una receta profesional autorizada.

En cuanto a los productos que se manejan, los medicamentos se clasifican según [2] en cuatro tipos:

1. Medicamentos psicofármacos y estupefacientes.
2. Medicamentos de venta bajo receta de profesional autorizado.
3. Medicamentos de control médico recomendado.
4. Medicamentos de venta libre en condiciones reglamentarias.

Considerando la categorización anterior y lo reglamentado en [3], es necesario distinguir en la farmacia un lugar particular para el almacenamiento de los medicamentos psicofármacos y estupefacientes.

En este sentido, en Uruguay se está trabajando para elaborar un Estándar Nacional de Buenas Prácticas de Farmacia Hospitalaria. En la primera versión de agosto de 2019 [4] se describen dieciocho procesos que se dan en este tipo de farmacias, y se establecen controles necesarios para asegurar la calidad de estos procesos. En línea con lo que se plantea en dicho documento, el presente trabajo busca aportar oportunidades de mejora para que el Hospital Pasteur (HP) continúe en el camino de asegurar una atención de calidad, con la menor cantidad de errores posible.

Particularmente se estudiarán los procesos identificados en [4] como "Distribución de medicamentos o insumos a áreas o servicios de la institución" y "Dispensación ambulatoria".

Respecto al proceso de distribución, en el Estándar se lo describe como aquel que define el proceder para abastecer las distintas áreas o servicios de la institución. Se indica que es necesario establecer una política de reposición para cada *substock* donde se defina, entre otros aspectos, la frecuencia de reposición.

Sobre este último aspecto se presentará una propuesta en la sección 3.2.1. En el caso de estudio del presente trabajo el proceso que se estudiará será aquel en el que participan el Depósito Central (DC) y el Despacho Ambulatorio (DA).

Otro aspecto mencionado en [4] que es relevante destacar es que la responsabilidad de controlar el stock del sistema, tanto de existencias como de vencimientos, deberá ser compartida entre el depósito y el servicio de despacho a pacientes.

Por otra parte, se establece que el proceso de dispensación ambulatoria debe asegurar la seguridad del paciente a través de la dispensación de la medicación correcta, en la presentación, dosis y cantidad correcta. Además se enfatiza en la importancia de la comprensión del paciente acerca de lo que está retirando.

En la Sección 7 se incluirán recomendaciones que le permitirán al hospital mitigar muchas de las amenazas identificadas en [4], no sólo para los dos procesos descritos anteriormente sino para otras actividades involucradas en la farmacia hospitalaria.

## 2.2. Gestión de inventarios

Al hablar de gestión de inventarios se debe distinguir si estos son sujetos a una demanda independiente o dependiente. Según [5], la demanda dependiente se deriva de la demanda de otro artículo o componente mientras que la demanda independiente está determinada directamente por las condiciones de mercado.

En [6] se distingue a la demanda independiente en dos tipos: rápida y de movimiento lento. El caso de la demanda independiente rápida refiere a aquellos artículos que se demandan siempre y es posible obtener una demanda media esperada, así como una variación aleatoria alrededor de este promedio. Por otra parte, la demanda independiente de movimiento lento tiene carácter esporádico, no ocurre en todos los períodos.

El presente trabajo se enfoca en artículos sujetos a demanda independiente, por lo que se describe la técnica que suele ser utilizada en estos casos, correspondiente a una filosofía de reabastecimiento [5]. Los sistemas más utilizados son los de punto de pedido, encargados de definir principalmente dos aspectos: cuántas unidades ordenar y cuándo realizar el pedido [7].

Cuando el nivel de inventario para un cierto artículo cae por debajo del punto de pedido, se efectúa un pedido para poder reabastecerlo. Tal como se argumenta en [7], el punto de pedido se fija teniendo en cuenta el objetivo de minimizar la probabilidad de quebrar stock, es decir, no tener stock suficiente de un producto para satisfacer su demanda.

En la Figura 1 se ilustra el funcionamiento de dicho sistema.

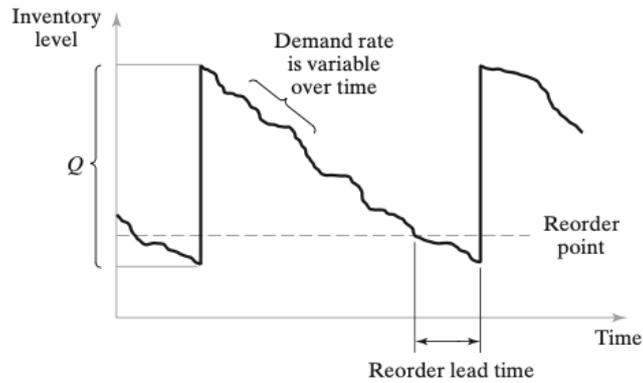


Figura 1. Sistema de punto de pedido. [8]

### 2.2.1. Stock de seguridad y punto de pedido

Para enfrentar la variabilidad que naturalmente existe en la oferta, demanda y *leadtime* en un período determinado, es común hacer uso de un stock de seguridad (SS) [5]. El *leadtime* (LT) o período de reaprovisionamiento se define en [6] como el intervalo de tiempo que transcurre desde el momento que se decide realizar una reposición hasta que la orden está físicamente disponible en el stock.

Según lo establecido en [6], considerando un número grande de datos, en general, todos los artículos con demanda independiente rápida generan una curva de distribución normal. Una de las propiedades estadísticas de esta curva es que en el 99% de los casos la demanda tomará valores dentro del rango de 3 veces la desviación estándar ( $\sigma$ ) hacia cada lado del valor medio [6]. El factor de seguridad  $z$  permite definir el número de desviaciones estándar de la variabilidad de la demanda que es necesario emplear para poder protegerse contra los faltantes de inventario. La elección de su valor está asociada a un nivel de servicio deseado.

Tal como se menciona en [5], existen diversas formas de expresar el nivel de servicio; una de ellas es verlo como la probabilidad de abastecer la demanda a partir del inventario disponible durante el LT. Cuando se diseña para un nivel de servicio de 100%, se espera que la probabilidad de quebrar stock sea 0, es decir, que el stock será siempre suficiente para cubrir la demanda.

Es posible definir el SS (en unidades) para cubrirse durante el LT como una porción de la desviación estándar  $\sigma$  (en unidades):

$$SS_{demanda} = z \cdot \sigma_{demanda} \quad (1)$$

Si para el cálculo de la desviación se utilizaron datos de demanda en base diaria, se debe corregir este valor para obtener la desviación durante el tiempo de espera LT. Esto se hace mediante la siguiente conversión [5]:  $\sigma_{demanda} = \sqrt{LT} \cdot \sigma_{demanda\ diaria}$ , donde se multiplica  $\sigma_{demanda\ diaria}$  por un factor adimensionado.

Una vez establecido el nivel de servicio y el  $z$ , el punto de pedido (en unidades) se calcula como la suma de la demanda (en unidades por día) durante el LT (en días) y el stock de seguridad (en unidades):

$$pp = dem.\ diaria \cdot LT + z \cdot \sqrt{LT} \cdot \sigma_{dem.\ diaria} \quad (2)$$

Si bien se asume que la demanda va a variar en el futuro, y por eso se hace uso de un stock de seguridad, para el cálculo del punto de pedido se utiliza una demanda constante histórica [8].

En los casos en que exista un pronóstico de demanda, y esta sea independiente y de movimiento rápido, el stock de seguridad permite cubrir el error del pronóstico. En [6] se establece que el error en estos casos también sigue un comportamiento característico de una curva de distribución normal.

Los conceptos mencionados hasta el momento también son aplicables para el *leadtime* de los proveedores, donde la variable sería los distintos tiempos de arribo. En todos los casos se tiene que, cuanto mayor sea la variabilidad en la demanda o en el *leadtime*, mayor stock de seguridad se debe tener para mantener el nivel de servicio deseado.

### 2.2.2. Modelo Mín-Máx

Si bien existen muchos modelos de punto de pedido, en el presente trabajo se hará énfasis en el modelo de revisión continua Mín-Máx. El modelo se basa en un punto de pedido (nivel mínimo preestablecido) y en un stock objetivo (también preestablecido y constante).

En [9] se expresa que, al emitir una orden de reposición, la cantidad a pedir queda determinada por la diferencia entre el stock objetivo (correspondiente al nivel máximo) y el stock disponible al momento que se revisa el nivel de inventario, siempre que este se encuentre por debajo del punto de pedido. Esto implica que la cantidad a ordenar varíe durante la semana, pero siempre dentro de ciertas cotas, y que no siempre que se revise el inventario se tenga que emitir una orden de reposición. Existe la posibilidad de tener un stock menor al mínimo, pero llegado el momento de revisión se emitirá una orden para incrementar el inventario hasta el máximo.

Una de las ventajas mencionadas en [6] de este modelo es que permite evitar la generación de órdenes automáticas demasiado pequeñas. En la Figura 2 se presenta una ejemplificación del sistema.

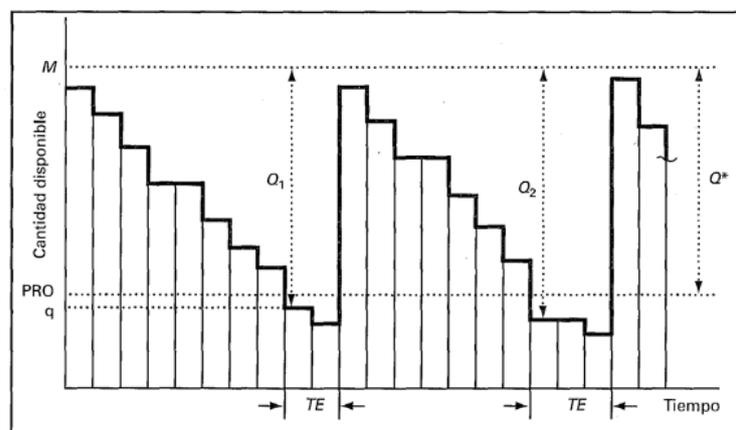


Figura 2. Sistema Mín-Máx de control de inventarios. [9]

### 2.2.3. Two-Bin

El método de los dos contenedores se desprende de la metodología Kanban y tiene un uso muy extendido en la gestión de inventarios dentro de farmacias, a pesar de que

originalmente comenzó como un método utilizado en plantas industriales, fundamentalmente para gestión de semiterminados. Como describe [10], consiste en utilizar dos contenedores que comienzan igualmente llenos de stock pero se consumen de a uno por vez.

Una vez vaciado el primer contenedor, se retira del sistema y se coloca en una zona destinada para ese fin, que servirá como disparador de una orden de reposición con tamaño de exactamente un contenedor.

Las ventajas principales de este método se centran en que, al tratarse de un procedimiento basado fuertemente en lo visual, es rápidamente interiorizado por el personal. Además, se evita utilizar procedimientos de control de stock adicionales, ya que la señal de cuándo se requiere colocar una nueva orden de reposición es evidente. Esto reduce en gran medida el tiempo insumido por las actividades relacionadas a la gestión diaria del inventario.

Por el contrario, la desventaja principal según [11], radica en la dificultad de encontrar el punto justo para los tamaños de los contenedores, pues un tamaño muy pequeño requiere de un muy corto *leadtime*, pero si se aumentan demasiado los tamaños de los contenedores, se aumenta significativamente el stock a mantener en el sistema.

Más adelante en el informe se describirá una adaptación de esta metodología de gestión de inventarios que el equipo de trabajo considerará para los medicamentos de alta rotación, buscando optimizar simultáneamente el tiempo invertido en el control del stock y en las reposiciones.

#### 2.2.4. Gestión de inventarios en farmacias hospitalarias

Por lo general, los inventarios en los hospitales se almacenan en una farmacia central, y las farmacias satélites ubicadas en las distintas áreas del hospital realizan sus pedidos a la farmacia central [12]. Esta última es quien realiza las compras a los proveedores.

Es común que los farmacéuticos sean quienes tomen las decisiones de cuánto almacenar y cuándo realizar los pedidos [13]. Se suele tender a tener exceso de medicamentos con el fin de garantizar la mayor seguridad de los usuarios, optando por intentar reducir los costos negociando los contratos o licitaciones con los proveedores.

En [13] también se plantea la dificultad que supone administrar el inventario en el ámbito de la salud. A diferencia de otras áreas, lo que se busca no es solamente equilibrar los costos de ordenar y de mantener inventario para maximizar la eficiencia, sino que el objetivo principal es garantizar una alta seguridad y nivel de servicio para los usuarios.

Los quiebres de stock en el ámbito de la salud no solo implican un aumento de tiempo gastado en actividades que no agregan valor para resolver las faltas de stock, y decrementos en el tiempo dedicado a la atención de los usuarios, sino que también podrían tener impacto en el tratamiento clínico de los usuarios [12].

Existe diversa literatura acerca de distintas tecnologías que se están empleando en los hospitales para mejorar procesos logísticos, como ser el transporte, distribución y dispensación de los medicamentos. Los autores de [12] y [14] argumentan que, si bien muchos hospitales han optado por implementar sistemas automatizados para obtener mejoras en estos procesos, el potencial de este tipo de sistemas es limitado si no se cuenta con una política de inventario robusta.

En [12] se menciona que para gestionar con precisión el inventario de medicamentos es recomendable agrupar los medicamentos sustituibles y considerarlos como un solo elemento para simplificar su gestión. Esto está de acuerdo con lo que se establece en la normativa uruguaya respecto a la prescripción de medicamentos y dispensación en establecimientos farmacéuticos [15]:

*“Establécese para los profesionales médicos u odontólogos, que actúen individualmente, en equipo o a través de entidades públicas o privadas, particulares o colectivas, la obligación de consignar en la receta que expidan, el nombre genérico del medicamento que prescriban.”*

Además, en el decreto se habilita a los establecimientos farmacéuticos a dispensar la alternativa comercial escogida por el paciente, siempre que contenga el mismo principio activo, concentración, forma farmacéutica y cantidad de unidades por envase.

### 2.2.5. Clasificación ABC

Una herramienta ampliamente utilizada es la clasificación ABC. Esta se basa en el principio de Pareto, que establece que la proporción más significativa de un grupo está constituida por un número reducido de artículos del mismo [5]. Se utiliza con frecuencia tanto para ubicar estratégicamente productos en un almacén, como para llevar adelante una gestión de inventarios eficiente. Para elaborarla, se divide a los artículos en 3 grupos:

- A: agrupa aproximadamente a un 20% de los artículos, que son responsables del 80% de los efectos.
- B: agrupa a un 30% de los artículos, que contribuyen al 15% de los efectos.
- C: agrupa a un 50% de los artículos, responsables del 5% de los efectos.

Estos porcentajes pueden variar de un conjunto de artículos a otro, pero como se indica en [5], lo importante es que sea bajo el número de artículos significativos y alto el de artículos insignificantes.

La clasificación ABC puede realizarse en base a distintos criterios, como la rotación de los artículos, su costo, su criticidad, entre otros. Por ejemplo, si lo que se busca es tener un impacto positivo en el *picking*, es adecuado utilizar como criterio la rotación de los artículos. Pero si lo que se desea es tener un impacto en los inventarios, probablemente sea más adecuado considerar su valor en inventario.

Para llevarla a cabo se suelen seguir los siguientes pasos [16]:

1. Determinar el criterio sobre el que se elaborará la clasificación.
2. Ordenar los artículos según el criterio elegido, de manera decreciente.
3. Calcular la contribución de cada artículo, como porcentaje del valor total.
4. Calcular el porcentaje acumulado de los determinados en el paso anterior.
5. Clasificar a los artículos en A, B o C según las zonas establecidas.

## 2.3. Robótica

En esta sección se desarrollarán conceptos básicos de robótica industrial y sus diferencias con la robótica colaborativa. Luego se presentan los sistemas comúnmente utilizados que son de interés para el caso de estudio.

### 2.3.1. Robótica industrial y colaborativa

La norma UNE EN ISO 8373:2012 [17] define al robot como:

*“Un mecanismo accionado, programable en dos o más ejes, con un grado de autonomía, que se mueve dentro de su entorno para realizar las tareas previstas.*

*Nota 1: Un robot incluye el sistema de control y la interfaz del sistema de control.*

*Nota 2: La clasificación del robot en robot industrial o robot de servicio se realiza en función de su aplicación prevista.”*

Además, se define al robot industrial como un manipulador de 3 o más ejes, con control automático, reprogramable y con multipropósito, móvil o no, destinado a ser usado en aplicaciones de automatización industrial. Incluye al manipulador (sistema mecánico y accionadores) y al sistema de control (software y hardware de control y potencia). Por su parte, se define al robot colaborativo como un robot diseñado para interactuar directamente con un ser humano [17].

Desde sus comienzos, la robótica industrial ha evolucionado enormemente. Gracias a la investigación y los avances tecnológicos, hoy en día se pueden encontrar robots en casi todas las áreas de producción y tipos de industria, sustituyendo a los humanos tanto en tareas hostiles y exigentes como en tareas repetitivas [18].

En los últimos tiempos, los esfuerzos se han ido enfocando en volverlos más autónomos, aumentando su movilidad y destreza, así como también su interacción con los seres humanos. Esto puede verse como una transición de la robótica industrial a la robótica colaborativa. Sin embargo, tal como señala [19], ambas soluciones no deben verse como opuestas, sino como complementarias: la elección de uno u otro sistema variará según las necesidades y objetivos del proceso.

Como indica [19], los robots industriales fueron creados para realizar tareas de producción intensivas. Suelen ser grandes, pesados y fijos. Están diseñados para realizar siempre la misma tarea con precisión y trabajar de forma intensiva. Además, estos deben rodearse con vallas para proteger a los operarios.

No obstante, existen robots móviles dentro de la robótica industrial: los vehículos autoguiados (AGVs) [19]. Para poder desplazarse y trasladar objetos requieren de sistemas físicos de guiado. Se profundizará sobre estos robots en la sección 2.3.4.

En su lugar, los robots colaborativos están diseñados para trabajar junto con los humanos de manera segura. Suelen ser compactos y ligeros, para así moverse fácilmente y ocupar poco espacio [19]. Son flexibles y de fácil programación para poder realizar más de una tarea. En lo que respecta a robots móviles, existen los Robots Móviles Colaborativos (RMC). Estos cuentan con sensores que detectan el movimiento, lo que le permite modificar su ruta o velocidad. Además, no necesitan de elementos físicos para su guiado [19].

La principal diferencia entre la robótica industrial y la robótica colaborativa que menciona [19] es el propósito para el que han sido diseñadas. Por un lado, señala que los robots industriales tienen como objetivo aumentar la productividad, eficiencia y calidad de las tareas que realizan. Se dedican a la ejecución de una única tarea, por lo que tienen un alto grado de especialización, pero se requieren medidas de seguridad para proteger a los operarios. Los robots colaborativos, por su parte, están diseñados para trabajar de forma segura junto con los humanos y bajo sus indicaciones. Se destacan por su adaptabilidad, pues a diferencia de los robots industriales, pueden realizar varias tareas [19].

Es debido a estas diferencias en su propósito y características que no se consideran sistemas sustitutos y se pueden encontrar ambos trabajando en una misma línea de producción. Como señala [19], los robots industriales serían como un sustituto del operario, mientras que los robots colaborativos officiarían de ayudante.

### 2.3.2. Principales elementos de un robot industrial

Cada robot se compone de los siguientes elementos: estructura mecánica, actuadores, transmisores, sensores, efector final y controlador. En las subsecciones siguientes se desarrollarán aquellos de mayor relevancia para el presente trabajo.

#### 2.3.2.1. Estructura mecánica

Como se explica en [20], un brazo robótico tiene la misma morfología que un brazo humano. Está compuesto por una serie de piezas rígidas (*link*) unidas por articulaciones (*joints*), conocida como cadena. Al lugar donde comienza la cadena se le denomina base. En el extremo opuesto, se coloca el elemento de sujeción o herramienta de trabajo, que se conoce como efector final o elemento terminal. Las articulaciones, por su parte, permiten movimientos de rotación y/o desplazamiento entre las piezas de conexión.

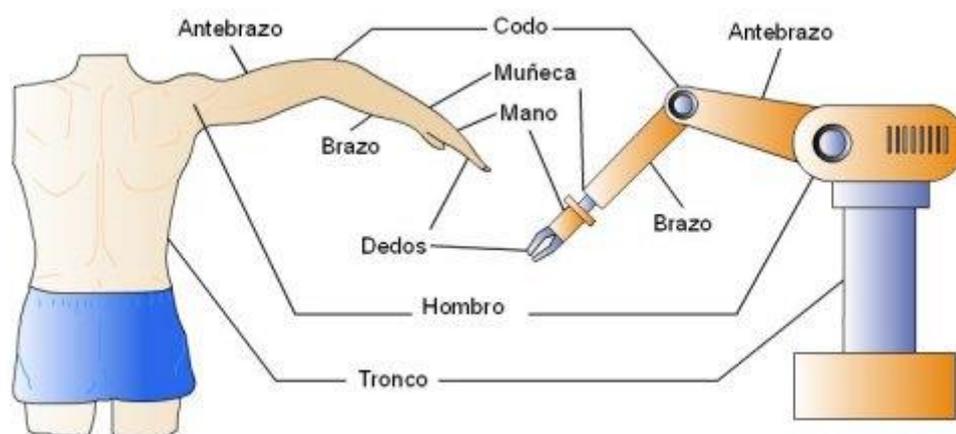


Figura 3. Brazo humano vs brazo robótico. [21]

En [22] se clasifican los movimientos en los siguientes tipos:

- a) Lineal: el movimiento relativo entre las partes unidas por la articulación es un movimiento de traslación y los ejes correspondientes a las dos partes son paralelos.

- b) Ortogonal: el movimiento también es de traslación pero los ejes son perpendiculares uno con el otro.
- c) Rotacional: el movimiento relativo es rotacional y el eje de rotación es perpendicular a los ejes correspondientes a las dos partes.
- d) Torsión: el movimiento también es rotacional pero el eje de rotación es paralelo a los ejes correspondientes a las dos partes.
- e) Giratoria: el eje de la primera parte es paralelo al eje de rotación de la articulación, mientras que el eje de la segunda parte es perpendicular al eje de rotación.

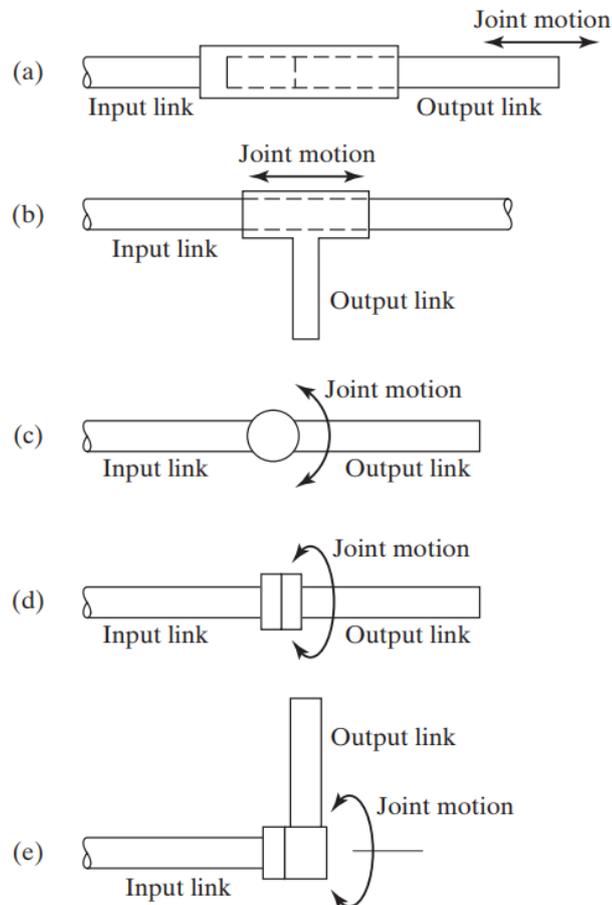


Figura 4. Cinco tipos de articulaciones comúnmente usadas en robótica industrial. [22]

De acuerdo a las distintas combinaciones de articulaciones surgen seis tipos de configuraciones comúnmente encontradas en robots comerciales, para el conjunto brazo-tronco del robot [22] y [23]:

1. Robot cartesiano: consiste en tres articulaciones ortogonales para lograr movimientos lineales en un espacio de trabajo tridimensional.
2. Robot cilíndrico: cuenta con una articulación de torsión para girar alrededor del tronco, una lineal para mover el brazo verticalmente a lo largo de este y una ortogonal para lograr el movimiento radial del brazo.
3. Robot esférico o polar: cuenta con una articulación lineal que le permite al brazo moverse respecto al tronco, el cual puede rotar alrededor de un eje vertical (articulación de torsión) y de otro horizontal (articulación rotacional).

4. SCARA (*Selectively Compliant Arm for Robotic Assembly*): es similar al robot articulado salvo que los ejes rotacionales del hombro y el codo son verticales. Esta configuración es útil para realizar tareas de ensamblado en una dirección vertical.
5. Robot articulado o angular: se asemeja a la configuración de un hombro con un brazo humano. Comenzando por la base cuenta con una parte que gira alrededor de su base usando una articulación de torsión (tronco), luego viene una articulación rotacional (hombro) y por último, otra articulación rotacional (codo).
6. Robot delta: cuenta con tres brazos unidos a una base superior, cada uno de ellos consiste en dos articulaciones rotacionales. Los tres brazos se conectan a una plataforma pequeña a la cual se le une un efector por debajo.

La Figura 5 ilustra el listado anterior para mayor entendimiento del lector.

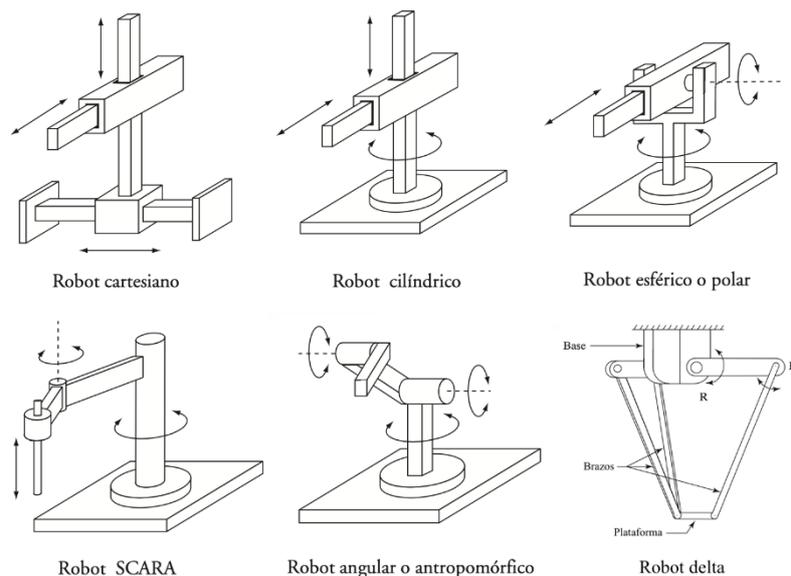


Figura 5. Configuraciones brazo-tronco del robot. [18], [22]

Otro elemento mecánico de un robot es la muñeca, que permite articular el efector final con el brazo del robot. Generalmente consiste en dos o tres articulaciones de tipo rotacional o torsión [22]. Sin embargo, no todas las configuraciones mencionadas anteriormente necesitan de una, por ejemplo, la configuración SCARA que tiene accionamiento directo.

Como señala el autor en [22], de acuerdo al tipo, cantidad y rango de movimiento de las articulaciones, tanto del conjunto brazo-tronco como de la muñeca, así como del tamaño de las partes que éstas unen, se puede establecer el área de trabajo del manipulador (esfera parcial, cilíndrica, rectangular, hemisferio, etc).

Tal como se plantea en [20], basta con tres traslaciones a lo largo de los ejes X, Y o Z y tres rotaciones relacionadas con estos ejes para poder posicionar cualquier objeto en el espacio. Por lo general, los robots se posicionan mediante sus tres primeras articulaciones desde la base y orientan su efector final con el resto de las articulaciones.

En la práctica, a pesar de ser necesarios los seis grados de libertad para tener total soltura en el posicionamiento y orientación del extremo del robot, muchos robots industriales cuentan

con sólo cuatro o cinco grados de libertad, por ser éstos suficientes para llevar a cabo las tareas que se les encomiendan [18].

### 2.3.2.2. Efectores finales

El robot interactúa con su entorno mediante su efector final o elemento terminal. Es su mano, lo que le permite realizar la acción. La norma UNE EN ISO 8373:2012 lo define de la siguiente manera [17]:

*"Objeto unido a la interfase mecánica dispuesta en el extremo del robot, para dotarle a éste de la funcionalidad necesaria para realizar su tarea. Se incluyen pinzas, herramientas y dispositivos para facilitar la conexión con otros elementos."*

Si bien los robots son versátiles y pueden utilizarse para diversas tareas, los efectores finales suelen ser específicos para una cierta aplicación. Estos se pueden dividir en dos grandes grupos: elementos de sujeción y herramientas.

Los elementos de sujeción se utilizan para manipular y agarrar piezas de trabajo. Estos suelen ser diseñados a medida, debido a la gran variedad de tamaños, pesos y materiales de los objetos a manipular. Según el sistema de sujeción, se pueden identificar los siguientes tipos [22]:

- Pinzas mecánicas.
- Ventosas de vacío.
- Dispositivos magnetizados, para la manipulación de objetos ferrosos.
- Dispositivos adhesivos, para la sujeción de materiales flexibles, como tejidos.
- Dispositivos mecánicos simples, como ganchos o cucharas.

Las pinzas mecánicas son las más comunes. Consisten en dos o más dedos que se abren y cierran sobre el objeto a manipular, como se puede ver en la Figura 6. Al momento de seleccionar la pinza adecuada para cierto trabajo, [22] recomienda que además de considerar el tamaño, peso y material de los objetos a manipular, se deben tener en cuenta aspectos como el número de dedos que se necesitan, el recorrido que deberán hacer, la fuerza a ejercer, si se precisa un movimiento lineal o angular de los dedos, el tiempo de respuesta, entre otros.

Con pinzas robóticas de dos dedos se utilizan motores neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Por lo general su accionamiento es neumático, pero el accionamiento hidráulico permite mayores fuerzas de agarre y, por lo tanto, la manipulación de objetos más pesados.

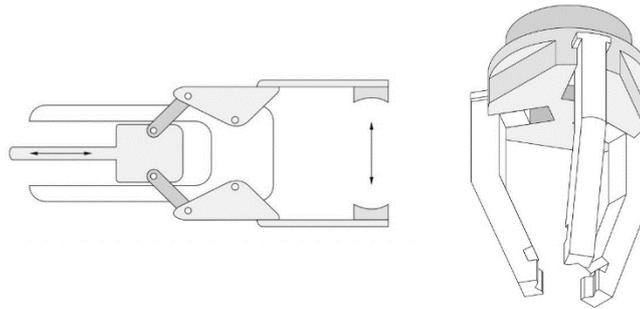


Figura 6. Pinzas mecánicas de dos y tres dedos. [24]

Por otro lado, es de suma importancia la elección del material apropiado para los dedos. Al agarrar objetos ligeros y frágiles, se pueden utilizar pinzas con dedos elásticos. De esta manera se restringe la fuerza máxima de agarre, mientras que al mismo tiempo permite una forma sencilla de abrir y cerrar los dedos.

Las ventosas de vacío, por su parte, son utilizadas para la sujeción de objetos planos y poco porosos. Son adecuadas para la sujeción de materiales como cristal, plástico, vidrio y madera. La Figura 7 ilustra lo antedicho.

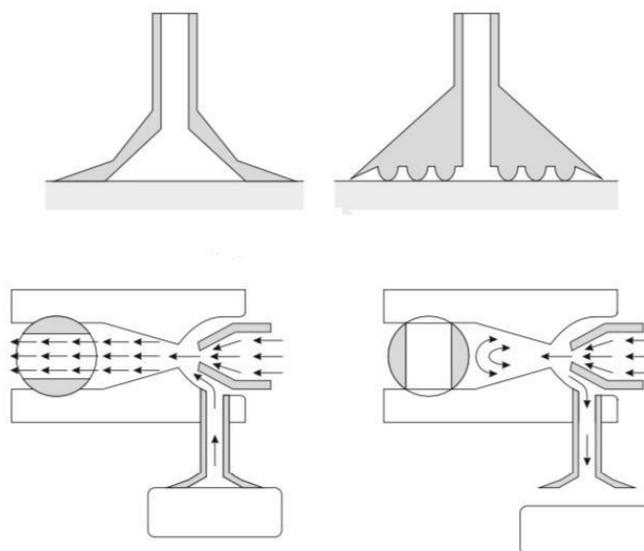


Figura 7. Ventosa de vacío. [24]

En ocasiones puede suceder que el robot tenga que manipular piezas de distinto material, tamaño o peso, y que no sea adecuado utilizar siempre el mismo elemento de sujeción. Por este motivo existen sistemas que permiten que el robot porte más de un elemento de sujeción y este se pueda intercambiar al momento de manipular cada pieza [18]. El cambio puede ser manual o automático.

Si en cambio, la tarea que debe realizar el robot va más allá de la sujeción o manipulación y requiere alguna operación de procesamiento como pintura, corte, ensamblaje o soldadura de la pieza, se utiliza una herramienta como efector final. Para conocer ejemplos y aplicaciones de estos se recomienda al lector consultar el capítulo 10 de [18].

### 2.3.3. Elementos a evaluar para la selección de un robot adecuado

La elección del robot más adecuado para una determinada tarea no es para nada sencilla, ya que se deben tomar en cuenta una gran cantidad de factores. Sin embargo, en [18] se señalan ciertas características que suelen ser suficientes para tomar esta decisión.

En primer lugar, se debe considerar el área de trabajo del robot. Se entiende por área de trabajo, el grupo de puntos que pueden ser alcanzados por el extremo del manipulador. El robot debe seleccionarse de forma que pueda llegar a todos los puntos que le exige su trabajo sin colisionar con ningún elemento de su alrededor [18].

En segundo lugar, se deben tener en cuenta los grados de libertad ya que determinan la accesibilidad del robot y su capacidad para orientar su efector final. Los grados de libertad suelen coincidir con el número de articulaciones que tiene el robot.

Luego es necesario considerar el error de posicionamiento que podría presentar el robot. Este error viene determinado por tres elementos: resolución, precisión y repetibilidad. El valor total de error de posicionamiento suele ser determinado por características del robot como la longitud del brazo, la carga manejada y el tipo de estructura [18]. Generalmente, los robots cartesianos y pequeños suelen ser más precisos que los articulares o de gran tamaño.

Por otro lado, la velocidad juega un papel importante a la hora de seleccionar el robot indicado. Cuanto mayor sea la carga que debe transportar, menor será la velocidad a la que se moverá. Por lo general, la velocidad suele ser de entre 1 y 4 m/s.

Por último, [18] menciona la carga a manipular. Se debe evaluar tanto el peso de lo que transportará el robot como el peso de la herramienta o elemento de sujeción que tenga en su extremo.

### 2.3.4. AGVs: Automated Guided Vehicles

Los vehículos guiados autónomamente (AGV) son un tipo de sistema de manipulación de materiales con operación independiente que utiliza vehículos autopropulsados guiados por caminos predefinidos [22]. Dichos caminos pueden establecerse de distintas formas, lo que da lugar a diferentes sistemas de guiado.

La primera alternativa que plantea [22] es a través de cables eléctricos incrustados en canales sobre la superficie del suelo. Estos se conectan a un generador de frecuencia que emite una señal de bajo voltaje y frecuencia, lo que induce un campo magnético que es seguido por los sensores colocados a cada lado del cable guía en el vehículo. El movimiento se controla a través de un motor, que según la diferencia en la lectura de la intensidad del campo magnético de ambos sensores en cierta posición, realiza los cambios necesarios en la dirección del vehículo para igualar las dos señales y seguir el cable guía.

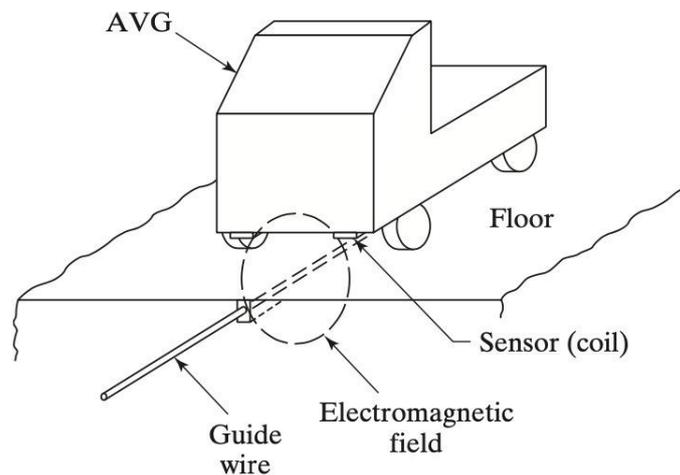


Figura 8. AGVs guiados por cables eléctricos. [22]

Otra alternativa es utilizar líneas pintadas en el suelo [22]. En este caso el vehículo cuenta con un sensor óptico que le permite seguir la pintura. Este método es útil cuando los cables de guía son difíciles de colocar o cuando existe gran interferencia. La desventaja de este método es que la pintura se deteriora con el tiempo y debe repintarse, teniendo que mantenerse siempre limpia.



Figura 9. AGVs guiados por líneas pintadas en el suelo. [25]

Una tercera opción planteada en [22] es utilizar una cinta magnética, lo que evita la perforación del suelo permitiendo además que los caminos puedan redefinirse a medida que surgen nuevas necesidades o cambios.



Figura 10. AGVs guiados por cintas magnéticas. [26]

El inconveniente que presentan estos tres sistemas es que para realizar cambios en las rutas es necesario alterar las instalaciones por las que se mueve el robot. Sin embargo, existe otro tipo de sistema de guiado que no precisa caminos definidos en el suelo para desplazarse: los LGVs o vehículos guiados por láser [22]. Estos se guían por un sistema de navegación a bordo con escáneres de láser. La ventaja que presenta esta tecnología es su flexibilidad, ya que las rutas se definen en un software y pueden cambiarse rápidamente, sin necesidad de alterar las instalaciones de manera importante.



Figura 11. Vehículos guiados por láser (LGVs). [27]

Es importante destacar que los AGVs son vehículos seguros [22]. Su velocidad es menor a la de la caminata usual de una persona, la cual ronda los 5km/h [28]. Además, para evitar colisiones, cuentan con sensores (ópticos y de ultrasonido) para detectar la presencia de obstáculos. En caso de interceptar uno, el vehículo se detiene y aguarda a que el obstáculo sea retirado. Por otro lado, para evitar que el vehículo ingrese a zonas no deseadas, se puede establecer un control de zonas, imponiendo restricciones de a dónde puede ingresar el AGV.

En el mercado hay diversos tipos de AGVs, entre los que se pueden destacar los vehículos tipo remolque, vehículos transportadores de pallets y portadores de carga unitaria [22]. En particular, dado el contexto hospitalario interesan los AGV de carga unitaria ligera (menor a

250 kg), ya que están diseñados para mover bultos individuales, como canastas, bandejas o cajas.

También es interesante estudiar la aplicación de los AGVs conectados con algún otro sistema de manipulación automatizado. Estos podrían transportar las cargas hasta los puntos de almacenamiento donde otro tipo de sistema se encargue de almacenar la carga. Además, la combinación de un manipulador montado sobre un AGV podría ser otra aplicación útil para combinar el proceso de *picking* de artículos con el transporte hasta el punto de entrega.

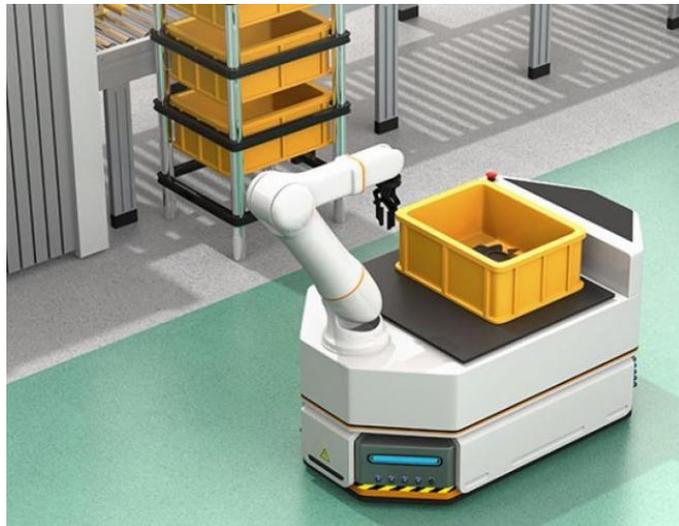


Figura 12. Brazo robotizado montado sobre AGV. [29]

En los últimos años se ha vuelto cada vez más frecuente el uso de AGVs en el ámbito hospitalario, ya que pueden utilizarse para el transporte de alimentos, muestras de sangre, ropa de cama, medicamentos, documentos, entre otros elementos del hospital. Además, tal como señala [30], su uso trae consigo varias ventajas.

- Su rentabilidad.
- Los robots no cometen errores humanos y se puede predecir su accionar.
- Trabajan sin necesidad de descansos y pueden realizar las tareas de transporte por la noche.
- Liberan al personal para que se pueda dedicar completamente a los pacientes.

Como plantea [30], se pueden distinguir cuatro funcionalidades de transporte que se utilizan en el ámbito hospitalario:

- Transporte de mercancías específicas: el robot sólo puede transportar un elemento específico (por ejemplo muestras de sangre).
- Transporte de mercancías variadas: el robot puede transportar cualquier elemento en su interior, mientras éste sea colocado en un contenedor especial.
- Transporte de carros: el robot es una especie de plataforma, que se posiciona debajo de un carro, se acopla a él y luego lo transporta.
- Remolque: el robot está diseñado para remolcar carros.

En la Figura 13 se pueden observar dos ejemplos de AGVs de transporte. A la izquierda se ve un robot de remolque mientras que a la derecha uno para transporte de carros. Para conocer distintas aplicaciones de AGVs en hospitales, se recomienda referirse a [30].



Figura 13. AGVs de transporte. [30, 31]

### 2.3.5. Sistemas de dispensación automática

En [32] se define dispensador automático de productos como un dispositivo cuya misión principal es la de mejorar la gestión de un almacén, facilitar y reducir las tareas del usuario y optimizar el aprovechamiento del espacio destinado a almacenamiento.

En la industria farmacéutica, se han implementado este tipo de sistemas para automatizar la distribución, administración y el control de los medicamentos. Por lo general estos sistemas tienen forma de cabina, con estanterías en su interior y un manipulador en el centro. Este recibe las órdenes a través de su sistema informático, que está interrelacionado con el de la farmacia, y se encarga de hacer el *picking* de los medicamentos.

Con frecuencia también cuentan con carga automatizada, siendo un robot quien se encarga de identificar y ubicar los medicamentos en las estanterías correspondientes. Además, algunos sistemas realizan la gestión de las fechas de vencimiento y toman en cuenta esta información a la hora de la carga y dispensación. Analizando las alternativas que existen en el mercado, se observó que en el proceso totalmente automatizado de reposición intervienen cuatro elementos principales:

- Estación de carga.
- Cinta transportadora.
- Plataforma de identificación de *SKUs*.
- Manipulador.

La estación de carga, por su parte, consta de una tolva en la que se colocan las cajas a almacenar en la cabina, que permite que los medicamentos sean orientados automáticamente para ingresar a la cinta transportadora. Esta las desplaza hacia la plataforma de identificación en la que se escanea el código de barras de cada caja y, de ser

posible, se captura su fecha de vencimiento, para que luego el manipulador proceda a almacenarla. Este proceso de identificación elimina la posibilidad de introducir dentro de la cabina un producto no registrado previamente en el sistema de la farmacia. En la Figura 14 se ejemplifica el sistema descrito anteriormente; por mayor detalle se recomienda al lector referirse a los videos<sup>1</sup> referenciados al pie de página, donde se visualiza claramente cada parte del sistema.

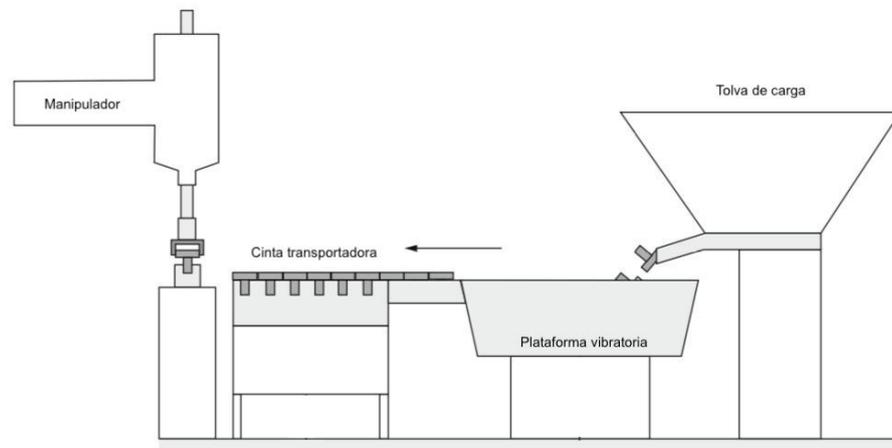


Figura 14. Conjunto de elementos que intervienen en el proceso de reposición automática. [24]

En cuanto a la lectura automática de fecha de vencimiento, actualmente en Uruguay existe una limitante que no permite el completo aprovechamiento de las capacidades de las cabinas automatizadas, siendo esta el tipo de identificación que se utiliza en la industria farmacéutica. Hoy en día se utilizan mayoritariamente códigos de tipo EAN-13, que cuentan con 13 caracteres donde los primeros 12 representan información acerca del artículo (país de fabricación, fabricante y producto) mientras que el último corresponde a un dígito verificador [33]. Por falta de espacio en el código, la fecha de vencimiento se troquea en los envases. A pesar de que algunas cabinas automatizadas del mercado cuentan con cámaras para captar de todos los ángulos a las cajas ingresadas para almacenar, no siempre logran detectar y procesar las fechas de vencimiento, teniendo que ser ingresado por un farmacéutico o asignándose un vencimiento por defecto.

Tal como plantea [32], la utilización de los sistemas de dispensación automática trae consigo varias ventajas. En primer lugar, se logra un mayor aprovechamiento del espacio de la farmacia. La cabina permite un almacenamiento denso de los medicamentos, liberando espacio para la utilización en otras actividades. A su vez, el tiempo de los auxiliares de farmacia se ve optimizado y aumenta la calidad de su trabajo, gracias a la eliminación de tareas repetitivas como ir a buscar, ordenar y guardar los medicamentos. Esto tiene un impacto directo en los tiempos de espera de los usuarios y el trato que reciben.

Por otro lado, el sistema se encarga de la gestión y control de los stocks, y en ocasiones, de la gestión de los vencimientos. Esto disminuye enormemente las diferencias de inventario

<sup>1</sup><https://www.youtube.com/watch?v=3Wkfn5ke3QI&t=1s>  
[https://www.youtube.com/watch?v=BOnsjpp6a\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=BOnsjpp6a_g)

y reduce los tiempos atados al control manual de los stocks, como conteos para detectar desviaciones.

Es importante resaltar que este tipo de sistemas cuenta con un avanzado sistema de seguridad, que elimina los riesgos para el personal durante la operación y además permite un almacenamiento seguro de los medicamentos. Por lo general las cabinas cuentan con un botón de emergencia en caso de que se observe algún problema en la operación, y además, en caso de la apertura de la cabina, el robot se detiene inmediatamente. Por otro lado, para realizar operaciones de carga y descarga, es necesario contar con un usuario autorizado en el sistema, por lo que se garantiza el control total del stock.

Es interesante señalar que un corte de energía no implica una interrupción del proceso de despacho, ya que se puede abrir la puerta de la cabina y dispensar los medicamentos manualmente. Cuando el robot reinicia su operación, realiza un control del inventario para reflejar en su sistema las bajas que se produjeron durante su parada.

Entre la variedad de sistemas de dispensación automática que se encuentran en el mercado, pueden destacarse dos tipos:

- Sistemas de canaletas inclinadas.
- Sistemas de orden caótico.

Se recomienda al lector referirse al Anexo I: Resumen de proveedores donde se profundiza en este tipo de sistemas, presentando las marcas comerciales que son comúnmente utilizadas en la actualidad.

En los sistemas inclinados se almacenan, en cada canaleta (o *slot*), cajas de un mismo medicamento. La cantidad de medicamentos a almacenar está restringida por el número de canaletas que tenga la cabina, ya que se requerirá al menos una canaleta entera para guardar cada referencia. La carga, que puede ser semi-manual o automática, se realiza por la parte de atrás de las canaletas, mientras que la dispensación la realiza un manipulador por el frente. Un ejemplo de este tipo de sistema se presenta en la Figura 15.



Figura 15. Sistema de dispensación automática de tipo inclinado. [34]

En los sistemas de orden caótico, por su parte, las cajas se almacenan en estantes, pudiendo almacenarse medicamentos distintos uno atrás del otro. La carga y la descarga son automáticas, siendo realizadas por el mismo robot. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de cabina de orden caótico.



*Figura 16. Sistema de dispensación automática de orden caótico. [35]*

La elección de un sistema u otro dependerá de las características de cada farmacia y de lo que se esté buscando optimizar. Sin embargo, en [36] se comentan las principales fortalezas y debilidades de cada sistema.

Los sistemas con canaletas inclinadas tienen como ventaja la velocidad de la dispensación, que ronda los 4 segundos. Además, esta se realiza según el criterio FIFO: la caja que fue cargada primero es la primera en ser dispensada. Suelen ser de menor costo frente a otros sistemas [36]. El inconveniente que puede presentar este tipo de sistema es que es bastante rígido: si los tamaños de las cajas varían frecuentemente, las canaletas tienen que ser reasignadas continuamente. Además, si se almacenan referencias de baja rotación, no es tan eficiente en términos de espacio; si el stock a mantener de un medicamento es inferior a lo que puede ser almacenado en una canaleta, ese espacio estará siendo desperdiciado [36].

Los sistemas de orden caótico, por su parte, se caracterizan por su gran optimización del espacio. Los medicamentos no tienen un lugar asignado, por lo que es el robot quien decide dónde almacenar cada caja, y solo él conoce su ubicación. Ubica las cajas en los estantes de manera de poder guardar la mayor cantidad de cajas posibles en cada uno. Además, a diferencia de los sistemas de canaletas inclinadas, es posible almacenar una única caja de los medicamentos de baja rotación sin desperdiciar espacio y no hay una limitación en la cantidad de referencias que se pueden almacenar [36]. Sin embargo, la velocidad de dispensación es más lenta que en los sistemas de canaletas inclinadas (aprox. 14 segundos), debido a que por lo general debe mover cajas antes de retirar la que necesita. Además, como es el mismo robot el que se encarga de la dispensación y la reposición, no es posible realizar ambas tareas en simultáneo [36].

### 3. Definición del problema

En la presente sección se pasará a detallar el caso de estudio en el que se basará este trabajo.

#### 3.1. Descripción del caso de estudio

Dado el contexto epidemiológico internacional por la pandemia de COVID-19, el equipo de trabajo manifestó su intención de aportar desde su posición al sector de salud, que se ha visto comprometido y desafiado durante el último año y medio. Se estableció contacto con el Hospital Pasteur (HP), la Unidad Ejecutora número 6 de la Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE).

De parte del hospital, fue comunicado al equipo de trabajo el deseo de llevar a cabo un estudio para la optimización de los procesos logísticos dentro del Despacho Ambulatorio (DA), en el entendido de que los tiempos de espera de los usuarios que visitan las instalaciones en busca de medicamentos eran sumamente elevados.

##### 3.1.1. Acerca del Hospital Pasteur

El Hospital Pasteur (HP) comienza su historia como hospital en el año 1922, en el barrio montevideano Unión. Cuenta con un número de usuarios superior a las 300.000 personas, lo que significa que el número de usuarios que visitan el Despacho Ambulatorio (DA) mes a mes es elevado [37]. La farmacia del hospital recibe aprox. 7.000 usuarios por mes en DA. El horario de atención al público es de lunes a viernes de 8 a 20 hs y sábados de 8 a 16 hs.

El Departamento de Farmacia del HP está constituido por la farmacia dentro del propio hospital, así como también por la farmacia del Servicio de Enfermedades Infecciosas (SEIC), situada en el Instituto de Higiene del Hospital de Clínicas. Para un mejor entendimiento se recomienda al lector referirse al organigrama presentado en Anexo III: Organigrama de la farmacia del Hospital Pasteur.

A nivel de stock y adquisiciones, el HP centraliza las compras tanto propias como de SEIC, pero posteriormente el stock correspondiente al último es administrado y dispensado por SEIC.

Hace algunos años se está evaluando la mudanza de SEIC a las instalaciones del HP. Incluso en 2020 se fue un paso más allá y se reservó un espacio anexo a la farmacia de DA, donde se prevé en el corto plazo realizar la mudanza administrativa de SEIC. En el presente trabajo se realizará un análisis de sensibilidad para estudiar cómo impactará este nuevo volumen de usuarios, *SKUs* y operaciones en las actividades de DA.

DA es abastecido desde un Depósito Central (DC) ubicado dentro del mismo edificio, separado aproximadamente por 200 metros a través de pasillos internos al hospital. Allí se reciben las compras tanto del Hospital Pasteur (HP) como de SEIC y se abastecen todos los servicios dependientes del mismo. El DC trabaja de 8 a 18 hs de lunes a viernes, motivo por el cual DA no recibe reposiciones los sábados.

El edificio que alberga al HP, antes de cumplir funciones hospitalarias fue utilizado como escuela, comisaría y cárcel. Esto explica que su diseño no sea el ideal para funciones logísticas, tal como se evidencia en el almacén de DC. Dentro del mismo, los movimientos

son dificultosos, los pasillos angostos y los espacios tienen muchos recovecos que imposibilitan un correcto aprovechamiento del espacio. En el caso de DA la situación es más favorable, dado que recientemente se ha trasladado a una ubicación de mayor superficie que la que ocupaba anteriormente, con espacios de circulación más amplios, tanto para auxiliares de farmacia como para usuarios, con una sala de espera más grande.

### 3.1.2. Alcance del estudio

La farmacia del Hospital Pasteur (HP) despacha medicamentos a través de distintas subdependencias, de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Del Departamento de Farmacia dependen todos los medicamentos despachados dentro del HP así como también los del Servicio de Enfermedades Infecciosas (SEIC), como fue mencionado anteriormente.

Dentro de los límites del HP, el stock del Departamento de Farmacia se divide en 10 *substocks* que permiten categorizar virtualmente al inventario y los despachos según cada caso. Para el caso de estudio, se decidió restringir el sistema al *substock* Despacho Ambulatorio (DA), con sus entradas y salidas. Esto fue definido de común acuerdo entre el equipo de trabajo y el tutor de proyecto, en el entendido de que el sistema plantea un desafío interesante pero a la vez asequible en los plazos establecidos para el trabajo.

Actualmente, una de las principales inquietudes por parte de las personas a cargo de la farmacia, así como también del Directorio del Hospital, es trabajar en la reducción de los tiempos de espera de los pacientes ambulatorios. De acuerdo a testimonios relevados por el equipo de trabajo, en momentos de alta demanda, se llegan a registrar esperas de hasta dos horas.

Durante los relevamientos realizados por el equipo de trabajo, se evidenció que el principal cuello de botella de los procesos logísticos dentro del DA que impacta directamente en la demora en la atención a los usuarios, se encuentra en la capacidad disponible de recursos humanos. Por la naturaleza de los procesos, el personal constituye un recurso fundamental, que actualmente está sobrecargado. Dentro de la jornada laboral de un auxiliar de farmacia, se distinguen dos actividades fundamentales; atención al público y gestión logística del DA.

Dado que la preocupación principal es agilizar la atención al público, el equipo de trabajo entiende oportuno atacar los tiempos invertidos en gestión logística y de esta forma liberar recursos para potenciar la atención. Los procesos contemplados dentro del alcance se listan a continuación y serán descritos en 3.1.4:

- Preparación de pedidos y despacho por ventanilla.
- Reposición de stock.
- Balances diarios de inventario.

En Anexo IV: Matriz interés-poder se presenta una matriz de interés-poder para que el lector pueda lograr un mayor entendimiento de los grupos de interés presentes en el trabajo.

### 3.1.3. Infraestructura y recursos del Despacho Ambulatorio

El Despacho Ambulatorio (DA) tiene como principal objetivo el correcto despacho de medicamentos a pacientes ambulatorios, a través de ventanilla de atención al público. Para ello, cuenta con auxiliares de farmacia, encargados tanto de la atención como de la

preparación de pedidos y control de stock en las instalaciones. Los auxiliares de farmacia trabajan en dos turnos de seis horas, con seis auxiliares por turno para cumplir las actividades anteriores.

El almacenamiento dentro de DA se distribuye en dos ambientes distintos, como se puede ver en la Figura 17. El primer ambiente refiere al que además de alojar estanterías, incluye al espacio de ventanillas. Por delante del mismo se encuentra la sala de espera para el público. El segundo ambiente es más amplio y allí se alberga la mayor parte del stock de medicamentos de DA.

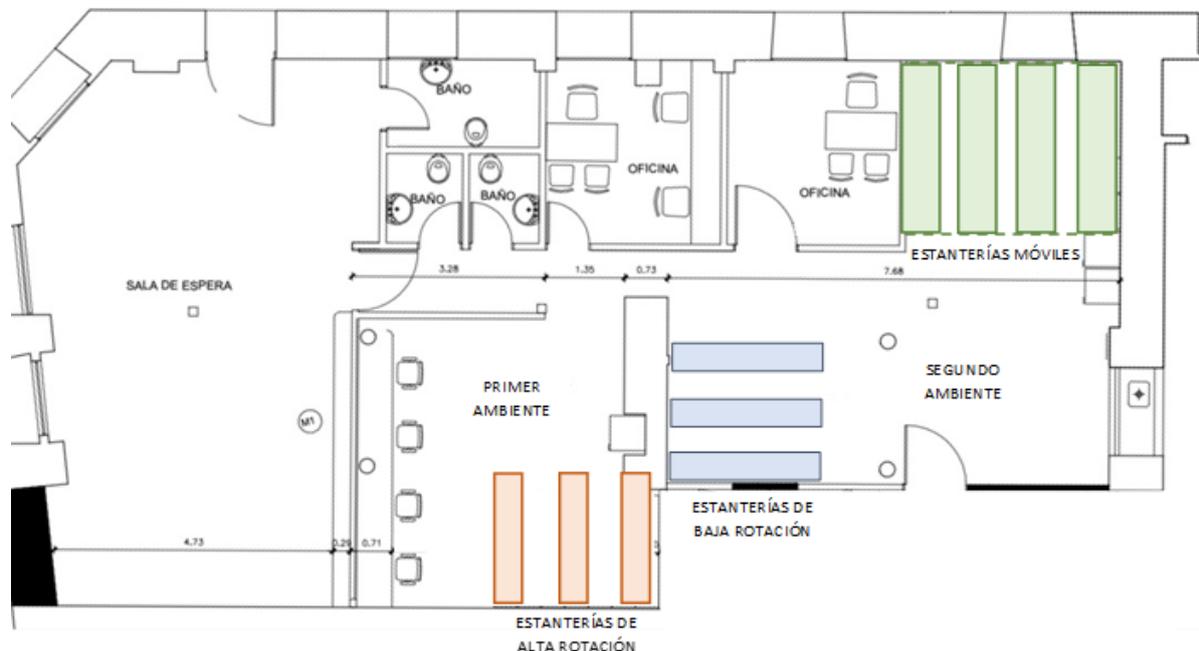


Figura 17. Esquema de distribución de ambientes en DA. Adaptado de Figura 76.

Entrando en mayor detalle, el primer ambiente cuenta con tres estanterías de cuatro niveles, donde actualmente se almacenan medicamentos de mayor rotación por su cercanía a las ventanillas de despacho. Además, en el mismo ambiente se cuenta con un armario cerrado para psicofármacos y estupefacientes y una heladera para medicamentos con necesidad de refrigeración. Existe también una estantería auxiliar de menor tamaño en la que actualmente se almacenan medicamentos de oftalmología y material administrativo como recetas y formularios. A modo de ilustrar esta descripción se presenta en la Figura 18 una vista de este ambiente.



*Figura 18. Zona de ventanillas en primer ambiente de DA. [38]*

En el segundo ambiente, se almacena el resto de la medicación de DA, en tres estanterías de iguales características que las del primer ambiente y cuatro estanterías móviles de apenas mayores dimensiones. Al momento del relevamiento realizado por el equipo de trabajo, se notaba una gran subutilización de la capacidad de almacenamiento de DA. La Figura 19 muestra las estanterías móviles.



*Figura 19. Estanterías móviles en segundo ambiente de DA. [38]*

Además de las estanterías mencionadas, se constató durante el relevamiento que DA cuenta con *bins* plásticos donde se almacenan medicamentos con formas irregulares, como ser blísteres, sobres o pomos. Estos *bins* son almacenados dentro de las estanterías convencionales y, si bien se cuenta con una gran cantidad de ellos, se constató que son muy pocos los utilizados.

### 3.1.4. Descripción de procesos

Se describen en esta sección los procesos involucrados en el alcance del estudio. Se sugiere al lector referirse al Anexo VI: Diagramas de flujo para una mejor comprensión de la descripción de procesos.

#### 3.1.4.1. Preparación de pedidos y despacho por ventanilla

El correcto despacho de los medicamentos a los usuarios en el menor tiempo posible es el objetivo principal de las actividades desarrolladas en el Despacho Ambulatorio (DA). La actividad de dispensación de medicamentos por ventanilla es el último eslabón dentro de la cadena logística de DA, por lo que su éxito depende de varios procesos anteriores.

Desde el punto de vista del usuario, el flujo del proceso comienza con el ingreso a la sala de espera. Luego retira un número de acuerdo a dos categorías (farmacia o alta médica) y espera hasta ser atendido.

Durante el proceso de atención, los auxiliares de farmacia se dividen en dos grupos. Por un lado, un grupo de auxiliares trabaja en ventanilla recibiendo a los usuarios y digitando en una terminal informática los datos necesarios para dispensar. El tamaño máximo de este grupo es de tres auxiliares pues, si bien existen cuatro ventanillas previstas, solamente están disponibles tres computadoras.

En la Figura 20 se puede visualizar la zona de atención al público de DA.



Figura 20. Imagen tomada desde sala de espera de DA. [38]

Por el otro, algunos auxiliares se encargan de la preparación de los pedidos o *picking* de acuerdo a lo solicitado por el grupo que está en ventanilla, según lo que indique la receta del usuario. Si bien teóricamente la relación es uno a uno, es frecuente que existan ausencias o haya auxiliares cumpliendo otras tareas logísticas dentro de DA, por lo que un auxiliar preparará pedidos de más de una ventanilla, aumentando el tiempo de espera de los usuarios.

De acuerdo al tipo de despacho, se le otorga al auxiliar encargado del *picking* un papel con el listado a buscar. En caso de ser un despacho de medicación aguda, se realiza el *picking* con la receta prescrita por el médico y brindada por el usuario, mientras que en caso de ser un despacho de medicación crónica, el auxiliar utiliza la tirilla (listado con la medicación crónica asignada a un usuario) traída por el usuario.

Desde el punto de vista logístico, la preparación de pedidos en DA implica la recorrida de los dos ambientes de almacenamiento mencionados en la sección 3.1.3. Dependiendo del tipo de medicamento, sea este de alta rotación o no, estará en las estanterías ubicadas en el mismo ambiente que las ventanillas o en el almacén contiguo. Nuevamente, se refiere al lector a Anexo V: Layout Hospital Pasteur.

#### 3.1.4.2. Reposición de stock

El proceso de reposición de stock comienza en el Depósito Central (DC), pero es un proceso clave para el Despacho Ambulatorio (DA) ya que impacta directamente en la disponibilidad de auxiliares de farmacia para la atención al público.

A mitad de mañana el personal de DC ingresa al sistema informático, selecciona el *substock* correspondiente al DA y emite un listado de reposición. Este listado se basa en un stock fijo a mantener en DA, definido para cada medicamento. En base a lo anterior y considerando el stock actual, se marca la diferencia a reponer.

Con este listado de *picking* se prepara el pedido en cajones, que se almacenan en la entrada para que luego sean retirados y trasladados al DA por personal del DC por la tarde. Se ingresa al sistema al *substock* de DC para registrar la salida de medicamentos. Una vez ingresados todos los medicamentos se imprime dicha lista y se coloca junto a los cajones a trasladar.

Al llegar la reposición a DA se verifica que lo recibido se corresponda con los medicamentos detallados en el listado de reposición. Si esto se cumple, se confirma la reposición en el sistema. Si hubo algún error se reporta a DC, quienes realizan la corrección en el sistema.

El desarmado de los cajones de reposición y el posterior guardado de los medicamentos en las estanterías se realiza en la misma tarde de acuerdo a la disponibilidad de los auxiliares de farmacia.

Dentro de DA, se manejan distintos tipos de medicación según su tipo y por ende, según el *substock* al que pertenecen dentro de la farmacia del Hospital Pasteur (HP). Dentro de cada categoría también se podrían separar entre medicamentos que permiten conservarse a temperatura ambiente y los que exigen temperatura controlada. Estos tipos son:

- Medicamentos regulares de DA.
- Medicamentos del Servicio de Enfermedades Infecciosas (SEIC).
- Medicamentos del Instituto Nacional del Cáncer (INCA).
- Medicamentos del Fondo Nacional de Recursos (FNR).
- Psicofármacos y estupefacientes.

De las categorías anteriores, los únicos cuyas reposiciones responden directamente a niveles de stock fijados son los del primer tipo, ya que el resto de los tipos se reponen de

acuerdo a otros mecanismos. En el caso de los psicofármacos y estupefacientes, las reposiciones son realizadas contra receta de usuarios. Por el lado de medicamentos de SEIC, INCA y FNR, DA recibe los medicamentos correspondientes a usuarios que indicaron que retirarán la medicación en las instalaciones del hospital. Por estos motivos, para el caso de estudio el universo de medicamentos considerado únicamente incluirá a los medicamentos regulares, de los cuales DA mantiene un stock basado en consumos históricos.

### 3.1.4.3. Balances diarios de inventario

Debido a la relevancia del stock manejado y dispensado en el Despacho Ambulatorio (DA), es necesario llevar un minucioso control del inventario, con el objetivo de detectar rápidamente posibles desvíos respecto al stock indicado en el sistema informático. Este proceso de control insume una gran cantidad de tiempo, pero debido a la dificultad que significa el rastreo de las causas, así como las consecuencias de un error en un despacho detectado de forma tardía, se entiende por parte de los responsables de DA necesario realizar este proceso de forma diaria.

No existe un horario fijo para la realización del balance, cada auxiliar lo realiza cuando cuenta con el tiempo para hacerlo, durante su jornada laboral. Diariamente se imprime una serie de planillas que, para cada auxiliar de farmacia, lista los medicamentos que le corresponde contar.

Para el armado de estas planillas de balances diarios, se partió del listado de medicamentos ordenados por especialidad y luego este se dividió equitativamente entre el número de auxiliares de farmacia. Cada auxiliar cuenta los medicamentos listados en su planilla, y registra la cantidad disponible en ese momento. Al finalizar el conteo, ingresa al sistema, busca el stock de cada medicamento y lo registra en la planilla. Finalmente, se comparan ambos valores. En caso de encontrar alguna diferencia, estas se registran para luego analizarlas y buscar su causa.

## 3.2. Modelado

Se describe en esta sección cómo se abordará el objetivo principal de reducir los tiempos asociados a las operaciones logísticas dentro del Despacho Ambulatorio (DA). La solución se plantea en dos etapas incrementales, comenzando con una alternativa que no involucra una automatización sino una mejora en términos de gestión de stock, manteniendo la infraestructura actual de DA. Esta mejora podría ser implementada a corto plazo y con un esfuerzo económico reducido. En la segunda etapa se propone una solución que hace uso de la robótica para optimizar el proceso de *picking* y almacenamiento de stock. Se entiende que ambas soluciones involucran procesos que impactan directamente en el tiempo disponible de los auxiliares para atender al público, por lo que una mejora en estos procesos se podría volcar en una mayor disponibilidad del personal.

### 3.2.1. Etapa 1

De lunes a viernes el personal de Depósito Central (DC) revisa el stock actual del *substock* Despacho Ambulatorio (DA) y prepara pedidos diarios de acuerdo a un nivel de stock deseado para cada medicamento. Este es calculado actualmente por los responsables de DA en base al promedio semanal de despachos de los últimos tres meses.

Esta práctica, conocida como sistema de revisión periódica con intervalo de revisión de un día, termina redundando en que diariamente se reponga para alcanzar el nivel de stock deseado, que fue calculado para cubrir la demanda de siete días. Lo anterior, además de implicar un tiempo significativo en la semana, genera situaciones donde el personal de DC debe decidir si enviar una unidad o esperar cierto tiempo para que se tenga que reponer una cantidad más significativa.

Durante las diversas visitas e intercambios con el personal de DC, el equipo de trabajo constató grandes desviaciones positivas entre lo que el sistema informático indicaba reponer -según el stock fijado- y lo realmente enviado a DA, siendo este último de mayor magnitud. Esto se fundamenta en dos motivos: la mayor disponibilidad de espacio en DA respecto de DC y en unos niveles de stock en muchos casos desactualizados y fijados para el anterior espacio donde se ubicaba la farmacia de DA. Lo anterior implica que es común que los niveles de inventario sean superiores a los establecidos como stock fijo. Una mayor cantidad de inventario inmovilizado en DA implica posibles faltantes por hurto, una mayor probabilidad de cometer errores en los balances diarios y mayores tiempos para manipular y almacenar las reposiciones.

En el entendido de que el tiempo volcado en las reposiciones de stock es tiempo que los auxiliares de farmacia no tienen disponible para realizar atención al público, y por ende, la fila de espera aumenta por tener una menor tasa de procesamiento que de arribos, el equipo de trabajo se vio motivado a estudiar este proceso con el objetivo de minimizar el tiempo dedicado a reposiciones.

El modelado del problema mencionado anteriormente buscará lograr una solución que defina de manera inteligente los niveles de stock máximos convenientes. En paralelo, conociendo el comportamiento de la demanda, se determinarán los días óptimos para realizar reposiciones.

Los tiempos a considerar para la optimización de la gestión del inventario buscan incluir todas las tareas estrictamente vinculadas a la reposición y los balances de inventario. En primer lugar, el hecho de realizar una reposición de stock en un cierto día, implica una inversión de tiempo asociada a la recepción y procesamiento de la orden en el sistema informático.

Además, cuando se reciben reposiciones los auxiliares de farmacia controlan la correctitud del pedido recibido para posteriormente proceder al guardado. Para evitar reposiciones muy heterogéneas, donde los pedidos se compongan de *SKUs* muy variados que obliguen a los auxiliares a realizar muchos traslados internos para guardar, se definió la inclusión de una penalización por heterogeneidad de las reposiciones.

Como se mencionó en la sección 3.1.4.3, por procedimiento de DA diariamente se realiza un balance del inventario disponible en las estanterías. Esto implicará para el modelo un equilibrio entre la cantidad de inventario a mantener en estanterías para evitar tener que reponer y el esfuerzo que significa controlar esa cantidad de inventario.

Actualmente, el Hospital Pasteur (HP) tiene discriminado su inventario en las estanterías según un criterio de alta y baja rotación basado en la experiencia del personal que allí trabaja. Se propone en este estudio una clasificación ABC basada en reportes históricos de despachos, la que determinará el lugar de almacenamiento dentro de DA.

El equipo de trabajo propone la incorporación de una metodología de trabajo para los *SKUs* de mayor rotación, similar al sistema *Two-Bin* (ver 2.2.3). La adaptación propuesta consiste en el manejo de *bins* -o paquetes- de tamaño fijo para los *SKUs* de rotación A según la metodología ABC. Se estima que este cambio traerá aparejada una mejoría en el tiempo de control pues al conocerse el tamaño de los paquetes, únicamente se contarán múltiplos de los mismos. De la mano con lo anterior, permitirá tener un stock superior en DA, logrando una mayor cantidad de días de autonomía para cumplir con la demanda, sin la necesidad de reponer.

El guardado de stock en paquetes precintados hasta el momento de su utilización, evidenciará rápidamente faltantes, asunto no despreciable en caso de que se manejen niveles de stock más elevados que los actuales. Se fijó el tamaño en 20 unidades por paquete para todos los *SKUs*, buscando unificar criterios y mantener un sólo tamaño de paquete.

En consecuencia, los *SKUs* de rotación A se almacenarán en los dos ambientes de DA. En la zona de ventanillas, se almacenarán *bins* con unidades que recibirán una reposición interna desde las estanterías móviles, ubicadas en el segundo ambiente, funcionando como stock pulmón. Este se almacenará en paquetes y por lo tanto, las reposiciones siempre serán en múltiplos de paquetes. La frecuencia de esta reposición interna se estableció diaria: al final del día, se compara el stock actual con el stock máximo deseado y se repone la diferencia. En caso de que esa diferencia sea de una fracción de paquetes, se repondrá el múltiplo de paquete más cercano.

El modelo de gestión de inventario deberá tener en cuenta los movimientos internos de stock entre las estanterías de despacho al público y aquellas que actuarán como stock pulmón, porque existen tiempos asociados a trasladar paquetes dentro de DA. Estos movimientos, al quedar completamente determinados por la demanda, no fueron incluidos como variables de decisión del problema sino calculados externamente y pasados como parámetro al modelo, para poder ser incluidos en el valor de la función objetivo. En la Figura 21 se presenta el flujo que sigue el stock desde que se recibe la reposición hasta que se despacha al usuario.

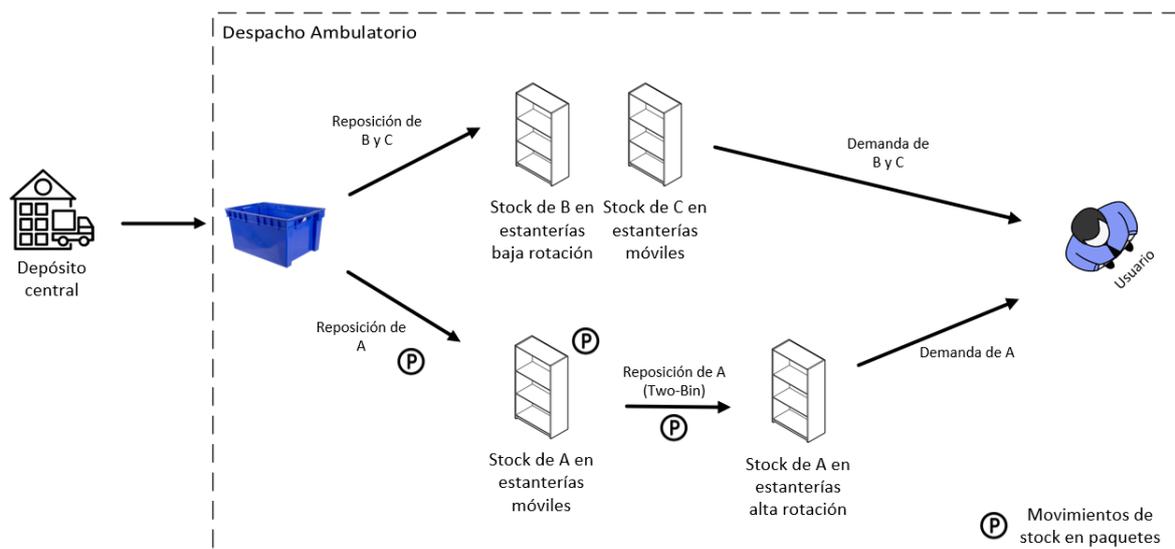


Figura 21. Flujo de stock dentro del sistema. Elaboración propia.

En la sección 3.1.4.2 se mencionó que actualmente los tiempos de reposición de stock desde DC son relativamente breves, se emiten órdenes de reposición en la mañana y en la tarde son recibidos en DA. Esto fomentó que el equipo de trabajo considere un *leadtime* igual a cero a la hora de construir el modelo. Sin embargo, se decidió dejar la formulación matemática paramétrica respecto al *leadtime* para tener la posibilidad de realizar a posteriori un análisis de sensibilidad y estudiar su impacto. Se consideró únicamente la posibilidad de *leadtime* de 0 o 1 día, pues al tratarse de reposiciones entre ubicaciones dentro del mismo predio, y bajo la hipótesis de que DC siempre tendrá stock, no se consideró realista contemplar demoras mayores.

### 3.2.2. Etapa 2

En esta segunda etapa, se buscará ir un paso más allá de las mejoras de gestión propuestas en la Etapa 1, a través de la automatización del proceso de preparación de pedidos y gestión de stock.

#### 3.2.2.1. Elección del sistema automatizado

Como el objetivo último del presente trabajo es disminuir los tiempos de espera de los usuarios en la farmacia de Despacho Ambulatorio (DA), se evaluaron distintas alternativas automatizadas que colaboren en este sentido. Se estudiaron dos grandes grupos: AGVs y sistemas de dispensación automática.

Una opción considerada fue la implementación de AGVs dentro de DA para el traslado de los medicamentos desde las estanterías hasta las ventanillas. Este colaboraría con la disminución de los tiempos de *picking* y dispensación de medicamentos, liberando al personal de farmacia para que puedan realizar otras actividades. Sin embargo, esta idea fue descartada rápidamente debido a los pasillos angostos con los que cuenta DA y a las cortas trayectorias que recorrería el AGV. En este caso, su implementación requeriría de una profunda modificación del layout, para que el AGV pudiera desplazarse sin ser interceptado constantemente por el personal.

Como siguiente alternativa, se evaluó la utilización de AGVs para realizar las reposiciones desde Depósito Central (DC) hasta DA. Esta opción sería estructuralmente viable gracias a la amplitud de los pasillos que conectan ambos sectores, sin embargo, debido al flujo permanente de personas, su recorrido también se vería interceptado constantemente. Además, otro factor que dificultaría su implementación es que las puertas de acceso no son automáticas sino manuales. Para subsanar estos inconvenientes, se estudió la posibilidad de que el AGV se trasladara por una zona exterior del hospital, que podría conectar en línea recta a ambos sectores. No obstante, esto implicaría grandes modificaciones del layout del hospital por el hecho de que la trayectoria sea al aire libre. Se llegó a la conclusión de que el impacto en los tiempos de espera de los usuarios no sería significativo, debido a que el traslado de la reposición es externo a las actividades de DA, y no afecta de forma directa a los tiempos disponibles de los auxiliares de farmacia.

Finalmente, se estudió la implementación de un sistema de dispensación automática. Este incidiría directamente en el proceso de gestión de stocks y *picking* de los medicamentos. En este caso, no se tienen los problemas de infraestructura que se mencionaron anteriormente para la implementación de un AGV, ya que se trata de una cabina robótica fija y DA cuenta con el espacio suficiente para ubicarla.

Por lo tanto, el equipo de trabajo consideró que lo más adecuado para mejorar los tiempos de dispensación en DA sería la instalación de un sistema de dispensación automática. Tal como se señala en la sección 2.3.5 del presente informe, en el mercado se pueden encontrar dos grandes tipos: caóticos o inclinados. Para la elección del más adecuado se valoraron los aspectos detallados a continuación.

En primer lugar, se tomó en cuenta el espacio disponible en DA para su instalación. Si bien el mismo no es una limitante para el almacenamiento de los medicamentos, la distribución de los ambientes y pilares estructurales en DA es tal que las posibles ubicaciones para un sistema de este tipo son reducidas.

En segundo lugar, se consideró la cantidad de *SKUs* distintos a almacenar. En este caso, el número es relativamente bajo (245 *SKUs*). A su vez, la rapidez de la dispensación tuvo un peso significativo en la decisión final por su estrecha correlación con los tiempos de espera.

Por último, se valoraron las características de los procesos de reposición y *picking*. Es deseable que ambos sean ejecutados por dos manipuladores distintos, ya que esto permite realizar las dos tareas simultáneamente y no tener que reponer únicamente fuera del horario de dispensación. Además, ante la presencia de una falla en uno de los manipuladores, el otro proceso no se vería interrumpido y podría seguir su curso.

Por lo tanto, debido a las limitantes de espacio, el bajo número de referencias, la rapidez de dispensación y ventaja que supone la independencia de los procesos de reposición y *picking*, se resolvió implementar un sistema dispensador automático de tipo inclinado. Además, su costo es menor al de uno de tipo caótico, por lo que sería más adecuado para la realidad presupuestal del hospital.

Analizando las opciones de sistema inclinado que hay en el mercado, se observó que prácticamente todos contaban con la misma clase de manipulador de dispensación. Un ejemplo se presenta en la Figura 22.



Figura 22. Manipulador de dispensación en sistema de tipo inclinado. [34, 39]

En general se trata de un manipulador de tipo cartesiano, que se desplaza vertical y horizontalmente, abriendo una compuerta en su parte posterior para liberar las cajas en la boca de dispensación. En ciertos casos, se utiliza un manipulador de tipo cilíndrico permitiendo que gire sobre sí mismo para realizar esta acción. Además, en ocasiones cuenta con un depósito temporal que permite agrupar y entregar en una única operación múltiples *SKUs*, mientras que en otros casos despacha una caja por vez.

Su efector final consta de una varilla rígida, que al colocarse frente a la canaleta se extiende horizontalmente paralelo a la misma hasta posicionarse en el hueco liberador. Al entrar en contacto con la caja, el efector final se desplaza verticalmente, levantándola y permitiendo que la misma se deslice hacia su depósito temporal. Su accionamiento puede observarse en la Figura 23.



Figura 23. Secuencia de accionamiento del efector final de dispensación. [39]

Respecto a la reposición, esta puede ser manual o automatizada. Se decidió plantear una solución automatizada pues de esta forma se lograría reducir los tiempos de reposición sustancialmente y se liberaría al personal para que realice otras actividades.

En cuanto al manipulador, en la Figura 24 se presenta al tipo más utilizado en el mercado. Se trata de un robot de tipo cilíndrico que, al igual que el de dispensación, se desplaza en sentido vertical y horizontal. En este caso, debido a las funciones que debe realizar, es imperativo que gire sobre sí mismo.

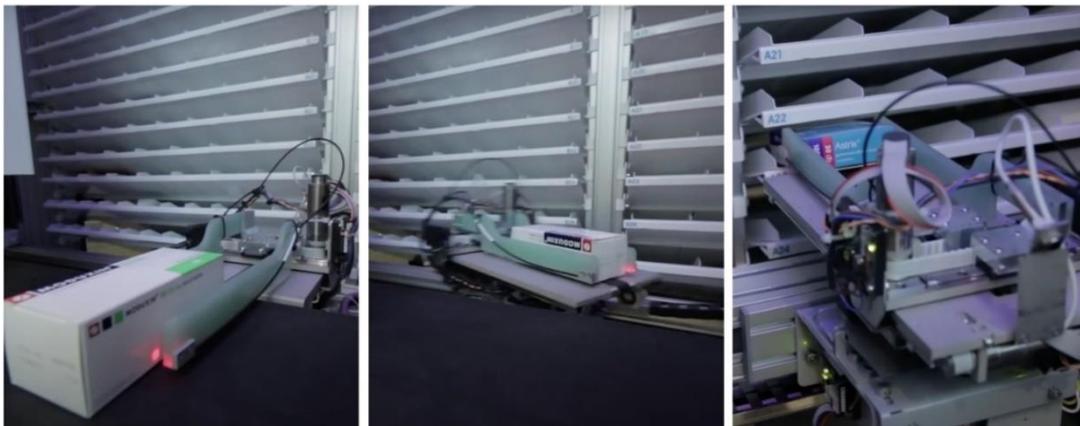


Figura 24. Manipulador de reposición en sistema de tipo inclinado. [40]

Su efector final es una pinza mecánica de dos dedos que se abre y cierra sobre los laterales de la caja a manipular ejecutando un movimiento paralelo. Con esta pinza se sujeta la caja a guardar, se traslada hasta la posición correspondiente y ayudándose con una varilla rígida o mediante un mecanismo de cinta transportadora, la introduce en la canaleta.

Luego de definidos los manipuladores de ambos procesos, se evaluó la cantidad necesaria tanto para la reposición como para la dispensación. Dado que están paralelizadas las tareas, la dispensación no se ve interrumpida por la reposición y viceversa, por lo que la decisión de la cantidad de manipuladores en cada caso es independiente.

Del estudio de las opciones disponibles en el mercado, se obtuvo que el promedio de velocidad de dispensación para una cabina de dimensiones similares es de 900 cajas/h, como se muestra en Anexo I: Resumen de proveedores. Esto supera ampliamente las necesidades del hospital, que actualmente despacha en promedio 234 cajas/h en su hora pico. Esto hizo decidir al equipo de trabajo por la opción de un único manipulador.

Un razonamiento análogo al anterior se aplicó para decidir la cantidad de manipuladores de reposición que se iban a considerar para el estudio; el equipo de trabajo consideró que uno sería suficiente en el entendido de que, en promedio, un manipulador de reposición puede almacenar hasta 250 cajas/h, cifra que supera los despachos promedio por hora de DA. Otro aspecto que apoya esta decisión, es que la reposición puede realizarse incluso durante horas de no trabajo de la farmacia, por lo que puede volcarse la totalidad de las cajas a reponer en la tolva para que durante la noche se finalice la operación.

Una vez elegido el sistema, se tomaron decisiones sobre la ubicación de éste en DA y parámetros estructurales de la cabina, que se presentarán en la sección 6.2.2.

### 3.2.2.2. Descripción del modelo

En esta segunda etapa, el equipo de trabajo plantea una optimización de tipo estática, vinculada a la infraestructura del sistema elegido. El modelo tendrá en consideración aquellos *SKUs* presentados en el Anexo VII: Listado de *SKUs* para la Etapa 1 que se dispensan en cajas, dado que el sistema está pensado para almacenar y manipular únicamente este tipo de presentaciones.

Tal como se señala en la sección 2.3.5 del Marco Teórico, dentro del sistema de dispensación automática de tipo inclinado los *SKUs* son almacenados en *slots* o canaletas, ubicándose un *SKU* por *slot*. Por lo tanto, las dimensiones de los *SKUs* influyen directamente en el diseño del sistema.

Como las marcas comerciales con las que trabaja el hospital y las medidas de las cajas pueden variar en el tiempo, sería muy rígido definir los tamaños de los *slots* en base a las dimensiones de las marcas comerciales. Sin embargo, la ausencia de un estudio detallado de las medidas de los *SKUs* a almacenar dentro de la cabina también podría resultar en una alta rigidez y un gran sobredimensionamiento. Por lo tanto, para tener flexibilidad a la hora de almacenar cajas de distintas medidas en un mismo *slot*, se determinaron talles de dimensiones preestablecidas que reflejan el tamaño de los *slots*. Los talles quedan determinados por un ancho y un alto y permiten albergar cajas de dimensiones menores o iguales a su tamaño. En la Figura 25 se ilustra lo anterior, mostrando un slot de cierto talle con dos cajas de distintos tamaños que podrían almacenarse en su interior.

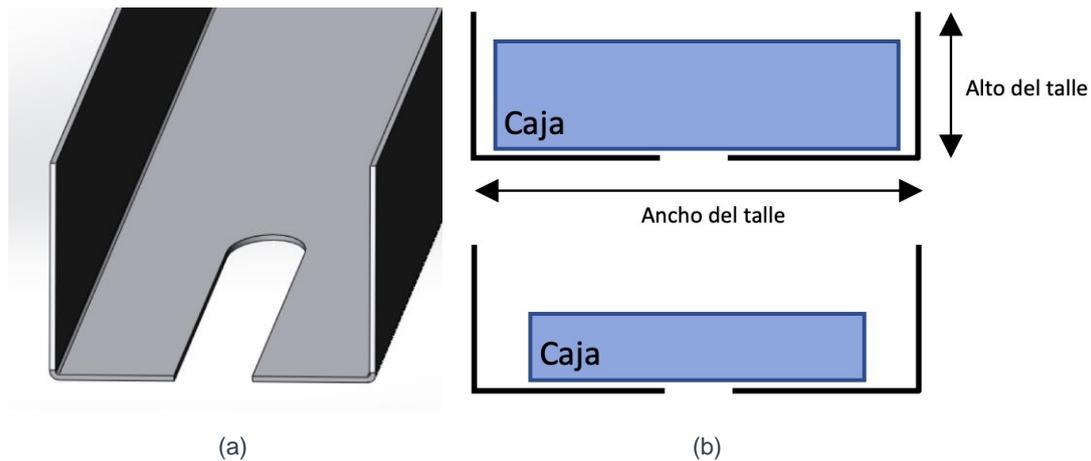


Figura 25. Representación de un slot (a) [42]  
Dimensiones de un talle de un slot (b). Elaboración propia.

Lo que se busca es distribuir de forma óptima estos *slots* dentro del sistema de dispensación automática de tipo inclinado. Interesa dotar a cada *slot* de una rotación con el fin de priorizar a aquellos de rotación A, en el entendido de que deberán ser buscados con mayor frecuencia por el manipulador de dispensación. Para lograr lo anterior se introducen los ponderadores  $\alpha_A$ ,  $\alpha_B$  y  $\alpha_C$  en el cálculo de la distancia a la boca, que representan la probabilidad de acceso a cada *slot* según su rotación ( $\alpha_A > \alpha_B > \alpha_C$ ). Con esto se logra ubicar los *slots* de mayor rotación en las posiciones más cercanas a la boca de dispensación.

Mirado de frente, lo que se obtiene es una grilla donde se determinarán las ubicaciones de cada *slot* (con su talle y rotación), restringido al tamaño máximo disponible en la cabina (largo máximo y alto máximo para el almacenamiento).

Este sistema contará con un manipulador que deberá ir a buscar cada medicamento según sea solicitado por el sistema informático para satisfacer un pedido. El objetivo del modelo matemático será hallar una distribución de *slots* dentro de la cabina que minimice la distancia recorrida por el manipulador para llegar a la ubicación de cada *slot* desde su posición de reposo (boca de dispensación).

Para resolver el problema se definen cuatro conjuntos: columnas, filas, rotaciones y talles. Las columnas y filas servirán para determinar la posición del *slot* dentro de la cabina mientras que las combinaciones talle-rotación determinarán qué tipo de *slot* hay en cada ubicación.

Debido a restricciones del *solver* utilizado para correr el modelo, la distancia que recorre el manipulador desde el punto de reposo hasta la ubicación de cada *slot* será calculada como la suma de la distancia horizontal y la distancia vertical del *slot* al punto de reposo.

La distancia horizontal a la boca se define hasta la mitad de la posición dado que es donde el manipulador accede para levantar la caja. Por el mismo motivo, la distancia vertical a la boca se define hasta la base del *slot*.

### 3.2.2.3. Hipótesis asumidas

El equipo de trabajo considera importante realizar la aclaración sobre algunas asunciones que se consideraron para el estudio de esta segunda etapa.

En primer lugar, no se considerará como restricción que actualmente el Hospital Pasteur (HP) no haga uso de la tecnología de códigos de barras para la identificación de *SKUs*. Se asumirá que en los datos maestros del sistema informático de la farmacia ya están relacionados cada *SKU* con sus correspondientes códigos de barras. Esta tecnología no solo permitiría una disminución de tiempos y errores a la hora de realizar las bajas de stock previo a entregar la medicación a los usuarios, sino que es fundamental para poder implementar el sistema de reposición automatizado, con una tolva y una plataforma para la identificación automática de medicamentos sin necesidad de intervención humana.

Por otro lado, si bien no afecta directamente al modelo, se asumirá que el hospital ya cuenta con el sistema de prescripción electrónica implementado. Esto es así pues este tipo de prescripción brindaría mayor velocidad y correctitud al sistema, evitando la digitación de información de la receta traída por el usuario y enviando directamente la orden de trabajo a la cabina al momento de escanear la prescripción.

En resumen, tanto el uso de código de barras como la prescripción electrónica son pasos fundamentales para optimizar el sistema al máximo de sus capacidades previo a la implementación de robótica, en el entendido de que esta será la mejor forma de potenciar los beneficios brindados por un sistema automatizado.



## 4. Relevamiento de datos

En esta sección se presentan los datos que fueron utilizados a lo largo del proyecto para modelar la realidad del Hospital Pasteur (HP). Además se incluyen sobre el final de la sección las consideraciones que se debieron tomar.

### 4.1. Datos a relevar

Se distinguen dos tipos de datos: relativos a las características de los medicamentos y relativos a los despachos realizados en el período de tiempo analizado. De acuerdo al alcance establecido para el trabajo, únicamente se procesaron datos relativos a los denominados en 3.1.4.2 como "Medicamentos regulares de DA", sin considerar los medicamentos refrigerados.

Para el relevamiento del primer tipo de datos, el equipo de trabajo realizó diversas visitas a la farmacia del hospital, donde se recabaron las medidas de las cajas de las fantasías (nombre comercial de un medicamento) que había en stock el día del relevamiento y su código de barras asociado. También se obtuvo el dato del envase de cada medicamento (tipo y dimensiones), dado que es un factor relevante para la manipulación y almacenamiento de los mismos.

Luego, con esta información el equipo de trabajo elaboró una base de datos para poder tener la información centralizada, de forma ordenada, con datos limpios y en un formato conveniente para ser manipulados.

El segundo tipo de datos fue tomado del sistema informático que utiliza el hospital y provistos por el personal a cargo. El período analizado corresponde a los meses de junio de 2019 a febrero de 2020, exceptuando octubre de 2019 por falta de información. Se buscó que los datos fueran lo más representativos posible, por lo que se optó por no considerar registros posteriores a marzo del 2020, dado que al momento del relevamiento recién iban pocos meses con COVID-19 y no se tenían certezas de cómo (ni cuánto tiempo) iba a influir en el comportamiento de los datos.

Además, el nivel de agregación en el que se presentan los datos supone un volumen de información muy grande y difícil de manejar por el sistema informático del hospital, lo que llevó a seleccionar algunos meses como referencia. El sistema informático los presenta a nivel de fantasía, la cual tiene asociada una unidad de despacho, un principio activo, dosis, tipo de presentación y marca comercial específica. A la hora de digitar una receta, los auxiliares de farmacia ingresan el código de la fantasía que cumpla con lo prescrito por el médico y que tenga stock disponible en DA. Se recomienda al lector referirse a la sección 2.2.4 para recordar lo reglamentado en nuestro país respecto a la prescripción médica.

Existen excepciones, los medicamentos de estrecho margen terapéutico, para los que es necesario que el médico indique la fantasía para el tratamiento del paciente. En la Ordenanza 497/002 [41] se establecen aquellos principios activos que se excluyen de lo establecido en el Decreto [15]. Durante un intercambio con el personal responsable del hospital, fue señalado que estos principios activos coinciden con los de estrecho margen terapéutico, llamados también no intercambiables. A partir de la base de datos se identificaron los principios activos mencionados en la ordenanza que son despachados por DA y sus fantasías asociadas. El lector puede consultar Anexo VIII: Principios activos de estrecho margen terapéutico para conocer el detalle de estos.

En cuanto a los códigos de barra, actualmente en la farmacia del hospital no se hace uso de estos. Si bien existió la intención de implementar su uso, no hubo una planificación detallada y al momento de hacer las pruebas se notaron inconvenientes con los lectores. En los diversos intercambios con el personal se constató que el problema no radica en los lectores sino en que no todos los códigos de los medicamentos han sido precargados en la base de datos de ASSE Central, por lo que al escanear la caja el código no figura y debe ingresarse a mano, insumiendo más tiempo de procesamiento. A la hora de digitar una receta los auxiliares ingresan el nombre de la fantasía que se despachará. Mediante el uso del código de barras se podría identificar al medicamento y completar dicho campo de forma rápida, reduciendo la probabilidad de error de tipeo.

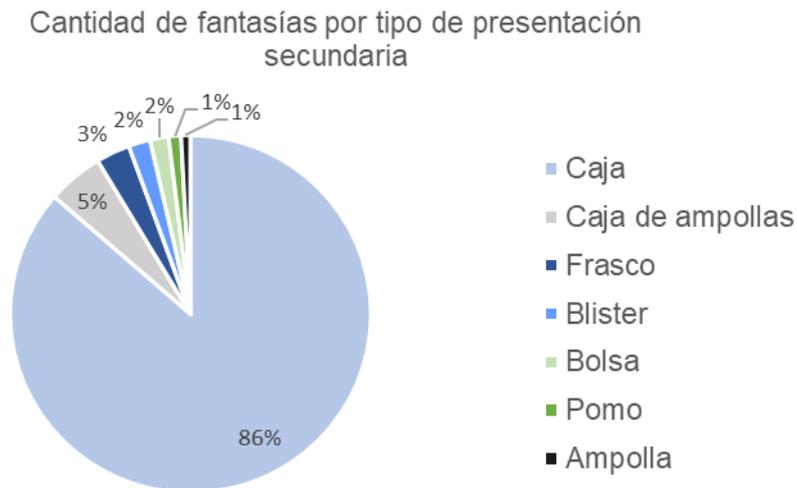
El equipo de trabajo dialogó con las personas encargadas de las altas, bajas y modificaciones de códigos de barra para todas las instituciones de ASSE. Se solicitó autorización para poder obtener un listado que indicaba las fantasías cuyo código de barras estaba ingresado en la base. A partir de este listado y con la motivación en la importancia que tienen los códigos de barra, tanto para mejorar el proceso de despacho como para futuras automatizaciones, se decidió hacer un relevamiento de todos los códigos de barra de las fantasías presentes en DA. Para esto se hizo uso de los lectores con los que se cuenta hoy en día.

Por otro lado, se relevaron los valores de stock fijo utilizados para el mecanismo de reposición actual de la farmacia. Estos se obtuvieron de un listado del mes de setiembre provisto por el hospital. Si bien no fueron considerados en los modelos, dado que la propuesta del equipo de trabajo implica un nuevo método de reposición, se utilizaron como insumo para comparar y validar la solución obtenida con el modelo de la Etapa 1 y los parámetros utilizados hoy en día en la farmacia.

En la sección 4.1.4 se incluirán también los datos relevados sobre el Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas (SEIC), que serán insumo fundamental para los análisis de sensibilidad.

#### 4.1.1. Medicamentos

Un total de 360 fantasías fueron relevadas, las que implican un total de 283 principios activos distintos. De éstas, el 86% corresponde a medicamentos con presentación secundaria caja, como se puede ver en la Figura 26. Se entiende como presentación secundaria a aquel envase en el que se entrega el medicamento al paciente.



*Figura 26. Cantidad de fantasías por tipo de presentación secundaria de DA.  
Elaboración propia.*

Se pudo obtener el código de barras para 341 de las 360 fantasías, es decir, se logró relevar el código de 95% de los medicamentos. De las 19 fantasías que no se pudo obtener el dato, 2 tenían una presentación secundaria bolsa, 4 eran frascos, 5 eran cajas de ampollas, y 8 eran cajas.

Respecto a las dimensiones de los medicamentos, se obtuvo que el promedio de volumen que ocupan aquellos con presentación secundaria caja es de 181 cm<sup>3</sup>. En cuanto al peso de los envases, si bien podría ser relevante para el Modelo II, no fue relevado dado que el peso máximo que pueden manejar los manipuladores es muy superior al peso promedio de una caja o mix de medicamentos<sup>2</sup>.

#### 4.1.2. Despachos

La información sobre los despachos de medicamentos se obtuvo del sistema informático del hospital, el cual la presenta en el siguiente formato:

- *Substock.*
- Fecha.
- Horario.
- Fantasía: nombre comercial de un medicamento.
- Unidad de despacho: es la unidad en la que se expresan los despachos en el sistema informático del Hospital. Puede tratarse de comprimidos, cartuchos, pomos, ampollas, viales, sobres, parches, bolsas, botellas, entre otras.
- Cantidad despachada, expresada en la unidad de despacho.

Como lo que interesa a efectos del presente estudio es obtener la rotación de la fantasía en términos de presentaciones secundarias despachadas, se trabajó con la herramienta Power BI para conectar la base de datos mencionada en 4.1 con los listados de despachos y así realizar las conversiones necesarias para llegar al dato de interés. Por ejemplo, para un medicamento cuyos despachos se expresan en la unidad de despacho “comprimidos” pero

<sup>2</sup> De acuerdo a entrevista con ingenieros encargados de la implementación de cabinas robotizadas en Uruguay.

al usuario se le entrega en “cajas” (presentación secundaria), se pudo obtener la cantidad de cajas despachadas conociendo el número de comprimidos por caja. De aquí en adelante se hará referencia a las presentaciones secundarias despachadas como unidades despachadas.

La Figura 27 resume la información referente a despachos y tiempo de trabajo en el periodo considerado. Se tomó como universo de medicamentos aquellos presentados en la sección 3.1.4.2 como "Medicamentos regulares de DA", excluyendo a los refrigerados.

<b>204</b> Días trabajados	<b>2.010</b> Promedio de unidades despachadas por día	<b>214.289</b> Recetas digitadas
<b>2.308</b> Horas trabajadas	<b>173</b> Promedio de unidades despachadas por hora	<b>408.562</b> Unidades despachadas

Figura 27. Tablero de datos de interés del período analizado. Elaboración propia.

Con el objetivo de que las soluciones obtenidas con los modelos propuestos no sean rígidas y siguiendo lo recomendado en [12], el equipo de trabajo propone considerar las cantidades despachadas por combinación principio activo-dosis, en lugar de por fantasía (a modo de ejemplo: considerar *Ibuprofeno-400mg* en lugar de *Actron 400*). Lo anterior resulta en una mayor agregación de datos, por lo que los errores en las estimaciones disminuyen y se logra estudiar la realidad sin restringirse a las marcas comerciales ofrecidas durante los meses tomados como referencia. Se entiende que con esto se mitiga el sesgo que supone considerar un período de datos acotado. De aquí en adelante se considerará al conjunto principio activo-dosis como *SKU*.

Otra de las consideraciones tomadas refiere a lo mencionado en 4.1 sobre los medicamentos de estrecho margen terapéutico; se optó por no agruparlos en principio activo-dosis sino mantener los datos como fantasía, dado que no está permitido entregarle a un usuario otra marca comercial de ese principio activo-dosis.

#### 4.1.3. *SKUs*

Luego de las aclaraciones de la sección anterior se obtuvo el total de unidades despachadas por *SKU* en el período considerado que se presenta en la Figura 28.

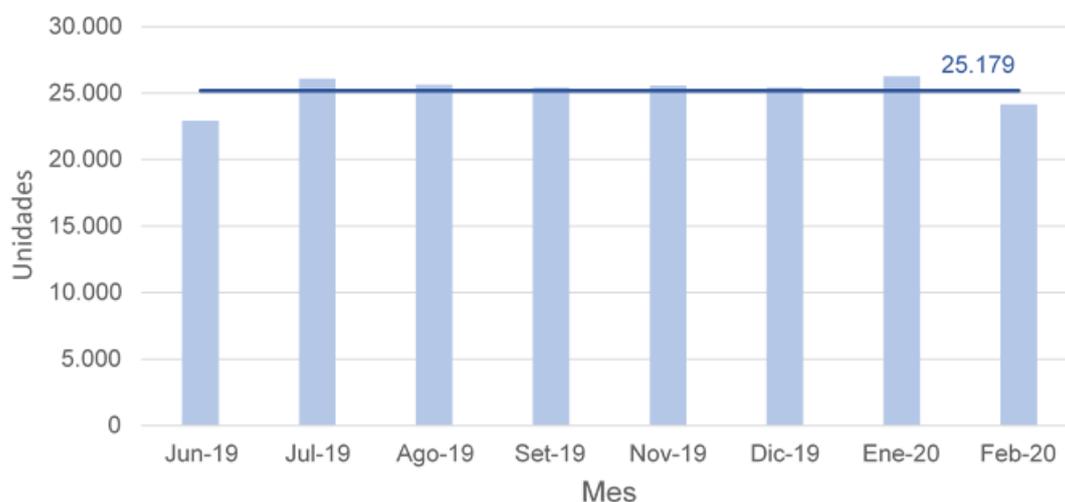


Figura 28. Promedio de unidades dispensadas por mes de atención en DA. Elaboración propia.

La distribución a lo largo de los meses es pareja, observándose el mayor registro de consumo en el mes de enero de 2020, mientras que junio y febrero son los meses en los que se observa la menor afluencia de usuarios a la farmacia. En promedio, se dispensan 25.179 unidades por mes.

A modo de limpieza de datos, se decidió eliminar aquellos *SKUs* para los que se hayan registrado menos de 4 salidas mensuales en todos los meses considerados. La lógica seguida fue considerar que, en promedio, el *SKU* se haya despachado al menos una vez por semana, dado que este es el ciclo que se tomará en cuenta en el presente trabajo.

Posterior a esto, dentro de aquellos *SKUs* que se despacharon por lo menos 4 veces en algún mes estudiado, se eliminaron los que en el total del período de 8 meses hayan sido despachados en una cantidad menor a 34 unidades. En conclusión, los despachos de los *SKUs* a considerar son de al menos 1 unidad por semana.

Finalmente se obtuvo un listado indexado de 274 *SKUs* con su promedio de unidades despachadas por mes. Los modelos presentados en las siguientes secciones y las propuestas de mejora se construirán tomando como universo de medicamentos este conjunto de *SKUs*. El listado con el detalle se presenta en el Anexo VII: Listado de *SKUs* para la Etapa 1.

En el Anexo IX: Reportes se incluyen reportes elaborados por el equipo de trabajo para que el lector pueda indagar más sobre el comportamiento de los *SKUs*.

#### 4.1.4. SEIC

La farmacia del Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas (SEIC), dependiente del Departamento de Farmacia del Hospital Pasteur, dispensa sus medicamentos contra receta por sus propias ventanillas de atención al público, ubicadas en el Instituto de Higiene. También distribuye medicamentos al interior del país y a otras farmacias de las diferentes Unidades Ejecutoras de ASSE, entre las que se encuentra el HP. Además, realiza envíos a domicilio para ciertos usuarios.

El personal responsable de la farmacia de SEIC brindó al equipo de trabajo el detalle de los despachos de los medicamentos durante el mes de noviembre del 2020. Además, para ciertos meses se brindó el dato de la cantidad de usuarios que retiran medicación según las

distintas formas de retiro que la farmacia ofrece, reflejada en la Figura 29. Esto permitió concluir que la afluencia de usuarios al SEIC es relativamente constante, por lo que el equipo de trabajo entendió que los datos del mes de noviembre son representativos del comportamiento del período estudiado.

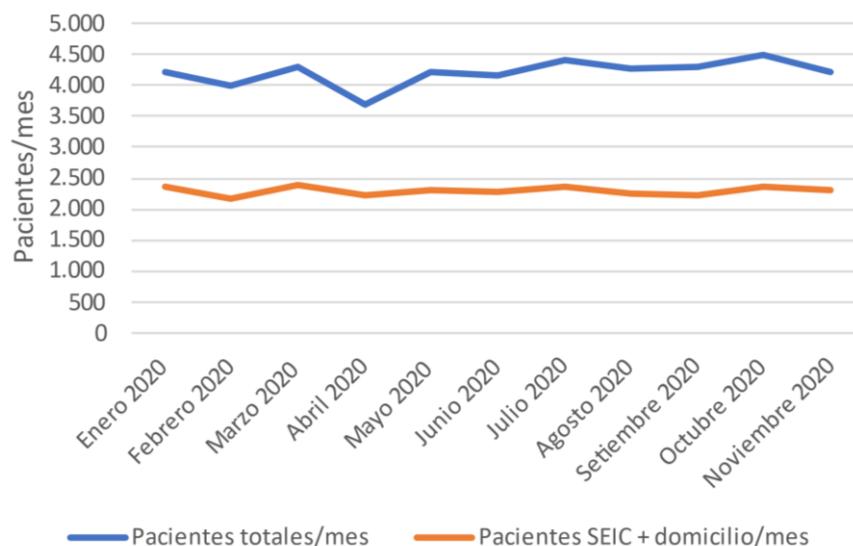
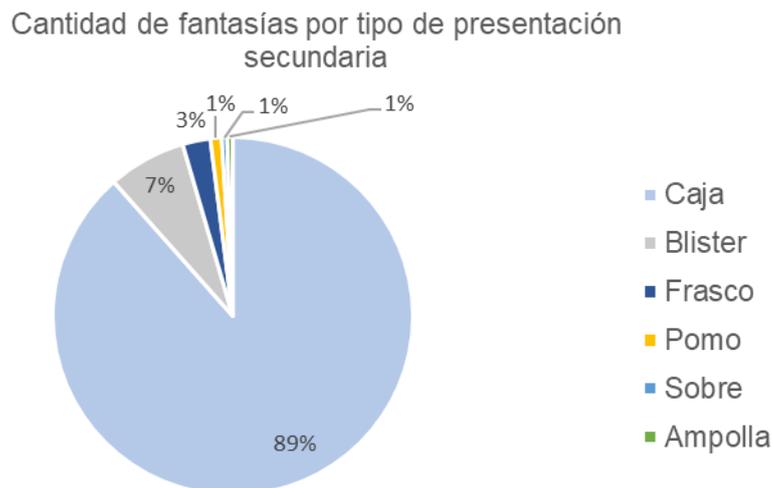


Figura 29. Evolución de usuarios por mes en Farmacia SEIC. Elaboración propia.

La farmacia cuenta en promedio con 4.203 usuarios mensuales y se digitan 11.112 recetas por mes. Un 55% de los usuarios retiran sus medicamentos en el Instituto de Higiene o a domicilio, y un 45% lo hace en otras Unidades Ejecutoras de ASSE.

En cuanto a los despachos, partiendo del análisis del mes de noviembre de 2020 se extrajo el dato de las fantasías que se dispensan en ventanilla de SEIC y que se envían a domicilio, siendo este el volumen que interesa conocer. Esto es así ya que, luego de conversar con el personal encargado, se concluyó que los usuarios que actualmente retiran en otras Unidades Ejecutoras seguirán haciéndolo en el mismo lugar, por más que el departamento se traslade al HP. Los usuarios que solían retirar en la ventanilla de SEIC sí pasarían a retirar en la ventanilla del HP, y los pedidos a domicilio se prepararían en el Despacho Ambulatorio (DA).

En el mes de noviembre se procesaron 11.397 recetas, las que implican despachos de 200 fantasías distintas y un total de 15.551 unidades. El 89% de las fantasías despachadas corresponden a medicamentos con presentación secundaria caja, como se puede ver en la Figura 30.



*Figura 30. Cantidad de fantasías por tipo de presentación secundaria para SKUs de SEIC.  
Elaboración propia.*

La forma de proceder para manipular los datos fue la misma que la presentada en la sección anterior para los medicamentos que se despachan actualmente por DA. Se transformaron los datos para poder obtener las unidades despachadas a nivel de *SKU* en el período considerado.

Si bien se tuvo que trabajar para obtener los *SKUs* correspondientes a este tipo de medicamentos, dado que ciertas fantasías de SEIC son dispensadas actualmente en DA, muchos *SKUs* ya habían sido identificados en el listado al que se hace referencia en 4.1.3. Se verificó que ninguno de los *SKUs* eliminados por la limpieza de datos pertenecía a medicamentos de SEIC, por lo que es válido partir de este listado.

Además de los 274 *SKUs* presentados en Anexo VII: Listado de *SKUs* para la Etapa 1, hubo que incluir 52 *SKUs* nuevos por los despachos en ventanillas de SEIC y por concepto de envíos a domicilio, resultando en un total de 326 *SKUs*. En cuanto al cálculo de la demanda de estos *SKUs*, al consumo promedio mensual de los 274 *SKUs* que ya se despachaban por DA se le agregó el consumo mensual registrado en SEIC en el mes de noviembre de 2020.

Para los 52 nuevos, el consumo mensual fue tomado como el consumo de noviembre, por ser el único mes para el que se disponía de datos. En este caso se replicó la limpieza de datos mencionada en 4.1.3, eliminando aquellos *SKUs* para los que en el mes de noviembre habían tenido menos de 4 salidas.

Por último, se agregaron también a las cantidades mensuales aquellos despachos cuyo *substock* asociado era ARV (medicamentos antirretrovirales), que no habían sido considerados en el listado original de 274 *SKUs*.

## 4.2. Dificultades encontradas y consideraciones

Es natural esperar que muchos de los medicamentos que se despachaban en cierto período dejen de despacharse en el siguiente, debido a los cambios que se pueden dar en el vademécum institucional. El vademécum es el material donde se pueden consultar las indicaciones, composiciones y presentaciones de los fármacos disponibles en el Hospital Pasteur.

A la hora de cruzar los reportes históricos de los despachos con los medicamentos detallados en la base de datos creada por el equipo de trabajo, se encontró una dificultad al realizar la conversión para obtener el dato de unidades despachadas. Dado que no se contaba con la cantidad de unidades que traía la presentación secundaria de la fantasía despachada, se optó por tomar el dato de otra fantasía presente en la base de datos, que tuviera el mismo principio activo y dosis que la fantasía realmente despachada. De los 214.289 registros a los que se hace referencia en 4.1.2, solamente para un 6% no fue posible obtener el dato para la conversión.

Respecto a las dimensiones de las presentaciones secundarias, durante el relevamiento se fue conservador y para contemplar la incertidumbre en la medición, se decidió llevar la medida en todos los casos al múltiplo de 0,5 cm inmediatamente superior.

En cuanto a los datos obtenidos del Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas (SEIC), por falta de información acerca de los volúmenes de las presentaciones secundarias de los medicamentos, se procedió a investigar sobre las marcas comerciales en Internet y estimar el dato.

Por último, a los *SKUs* cuya presentación secundaria no era caja se les asignó el promedio del volumen de todos los *SKUs* relevados. Además, en el caso que se contara con más de una fantasía por *SKU*, se decidió asignarle el máximo volumen que presentaban sus fantasías asociadas, para tener un enfoque conservador en términos de volumen a ocupar en DA.

## 5. Etapa 1

En esta sección se presenta el modelado matemático formulado para la Etapa 1, junto al procesamiento de datos que fue necesario llevar a cabo para obtener los parámetros de entrada del modelo. Luego, en 5.3 se incluyen los resultados obtenidos para el caso base, además de una comparativa con la situación actual que busca mostrar los beneficios que trae aparejados el nuevo sistema de reposición. Por último, en 5.4 se presentan los análisis de sensibilidad estudiados y sus resultados, así como una comparación entre las soluciones halladas.

### 5.1. Modelado matemático

Este primer modelo que presentará el equipo de trabajo busca minimizar los tiempos asociados a la gestión de inventarios en el Despacho Ambulatorio (DA). Estos tiempos incluyen la recepción de la reposición, el control y guardado de la misma, los balances de stock y el armado de paquetes. Además se incluirá una penalización por hacer reposiciones muy heterogéneas, en el entendido de que esto implica movimientos a distintas ubicaciones del DA, resultando en recorridos ineficientes.

El problema de optimización se modela como un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) y el horizonte de planificación es de una semana discretizada en días. Considerando esto, y sumado a que las reposiciones no dependen directamente de los proveedores sino de un depósito interno del hospital, donde se asumirá que hay stock continuo, únicamente se considerará el dominio del parámetro  $LT$  (*leadtime*) como 0 o 1 día, pues no sería realista considerar demoras mayores a este tiempo.

#### 5.1.1. Conjuntos

- $D$ : conjunto de días de la semana
- $M$ : conjunto de  $SKUs$
- $A \subset M$ : subconjunto de  $SKUs$  de alta rotación
- $B \subset M$ : subconjunto de  $SKUs$  de baja rotación
- $C \subset M$ : subconjunto de  $SKUs$  de muy baja rotación

#### 5.1.2. Parámetros

- $LT$ : lead time, en días
- $d_{m,k}$ : demanda promedio del  $SKU m \in M$  en el día  $k \in D$ , en unidades
- $xI_{m,k}$ : reposición interna del  $SKU m \in A$  en el día  $k \in D$ , desde estanterías móviles a estanterías de alta rotación, en paquetes
- $zI_{m,k}$ : stock del  $SKU m \in A$  en estanterías de alta rotación en el día  $k \in D$ , en unidades
- $pp_m$ : punto de pedido del  $SKU m \in M$ , en unidades
- $tg$ : tiempo de guardado de una unidad, en segundos
- $tgp$ : tiempo de guardado de un paquete, en segundos
- $tc$ : tiempo de control de una unidad, en segundos
- $tb$ : tiempo de realizar el balance diario de una unidad, en segundos
- $tbp$ : tiempo de realizar el balance diario de un paquete, en segundos
- $tr$ : tiempo de recepción de la reposición, en segundos
- $th$ : penalización de tiempo por reposición heterogénea, en segundos

- $te$ : tiempo de armado de un paquete, en segundos
- $td_k$ : tiempo máximo disponible en el día  $k \in D$  para dedicar a tareas de reposición y gestión de inventario, en segundos
- $ps$ : cantidad de unidades que conforman un paquete
- $vm_m$ : volumen de una unidad del  $SKU m \in M$ , en  $cm^3$
- $va$ : volumen de estanterías móviles destinado al almacenamiento de  $SKU$  de rotación A, en  $cm^3$
- $vb$ : volumen de estanterías de baja rotación destinado al almacenamiento de  $SKU$  de rotación B, en  $cm^3$
- $vc$ : volumen de estanterías móviles destinado al almacenamiento de  $SKU$  de rotación C, en  $cm^3$
- $\alpha$ : número grande para restricción (10)
- $M1$ : número grande para restricción (8)
- $M2$ : número grande para restricciones (11), (12) y (15)
- $M3$ : número grande para restricción (9)
- $M4$ : número grande para restricciones (13), (14) y (16)

### 5.1.3. Variables

Las variables utilizadas en el modelo se dividen en dos categorías: de decisión, que son definidas por el modelo y otras variables que quedan determinadas por las anteriores.

#### 5.1.3.1. Variables de decisión independientes

- $smaxA_m$ : variable continua que indica el stock máximo del  $SKU m \in A$  en las estanterías móviles, en paquetes
- $smaxBC_m$ : variable continua que indica el stock máximo del  $SKU m \in (B \cup C)$ , en unidades
- $zA_{m,0}$ : variable continua que indica el stock del  $SKU m \in A$  al final del día  $k = 0$  en las estanterías móviles, en paquetes
- $zBC_{m,0}$ : variable continua que indica el stock del  $SKU m \in B \cup C$  al final del día  $k = 0$ , en unidades
- $y_{m,k}$ : variable binaria que vale 1 si al inicio del día  $k \in D$  se ordena a DC el  $SKU m \in M$  y 0 si no

#### 5.1.3.2. Otras variables

- $xA_{m,k}$ : variable continua que indica la cantidad a ordenar al DC del  $SKU m \in A$  al inicio del día  $k \in D$ , en paquetes
- $xBC_{m,k}$ : variable continua que indica la cantidad a ordenar al DC del  $SKU m \in B \cup C$  al inicio del día  $k \in D$ , en unidades
- $zA_{m,k}$ : variable continua que indica el stock del  $SKU m \in A$  al final del día  $k \in D \setminus \{0\}$  en las estanterías móviles, en paquetes
- $zBC_{m,k}$ : variable continua que indica el stock del  $SKU m \in B \cup C$  al final del día  $k \in D \setminus \{0\}$ , en unidades
- $y_k$ : variable binaria que vale 1 si al inicio del día  $k \in D$  se ordena al DC algún  $SKU$  y 0 si no

#### 5.1.4. Formulación del Modelo I

$$\min \sum_{k=1}^D tr \cdot y_{k-LT} + \sum_{k=1}^D \sum_{m \in B \cup C} \left( (tg + tc) \cdot xBC_{m,k-LT} + ym_{m,k-LT} \cdot th + zBC_{m,k} \cdot tb \right) + \sum_{k=1}^D \sum_{m \in A} \left( (tgp + te + tc \cdot ps) \cdot xA_{m,k-LT} + ym_{m,k-LT} \cdot th + zA_{m,k} \cdot tbp + zI_{m,k} \cdot tb + xI_{m,k} * tgp \right) \quad (3)$$

**s.a.**

$$zA_{m,k} = zA_{m,k-1} + xA_{m,k-LT} - xI_{m,k}, \forall m \in A, \forall k \in D: k > 0 \quad (4)$$

$$zBC_{m,k} = zBC_{m,k-1} + xBC_{m,k-LT} - d_{m,k}, \forall m \in B \cup C, \forall k \in D: k > 0 \quad (5)$$

$$zA_{m,0} = zA_{m,6}, \forall m \in A \quad (6)$$

$$zBC_{m,0} = zBC_{m,6}, \forall m \in B \cup C \quad (7)$$

$$M1 \cdot ym_{m,k} \geq pp_m - zA_{m,k-1} \cdot ps, \forall m \in A, \forall k \in D: k > 0 \quad (8)$$

$$M3 \cdot ym_{m,k} \geq pp_m - zBC_{m,k-1}, \forall m \in B \cup C, \forall k \in D: k > 0 \quad (9)$$

$$y_k \cdot \alpha \geq \sum_{m \in M} ym_{m,k}, \forall k \in D: k > 0 \quad (10)$$

$$(smaxA_m - zA_{m,k-1}) - M2 \cdot (1 - ym_{m,k}) \leq xA_{m,k}, \forall m \in A, \forall k \in D: k > 0 \quad (11)$$

$$xA_{m,k} \leq (smaxA_m - zA_{m,k-1}) + M2 \cdot (1 - ym_{m,k}), \forall m \in A, \forall k \in D: k > 0 \quad (12)$$

$$(smaxBC_m - zBC_{m,k-1}) - M4 \cdot (1 - ym_{m,k}) \leq xBC_{m,k}, \forall m \in B \cup C, \forall k \in D: k > 0 \quad (13)$$

$$xBC_{m,k} \leq (smaxBC_m - zBC_{m,k-1}) + M4 \cdot (1 - ym_{m,k}), \forall m \in B \cup C, \forall k \in D: k > 0 \quad (14)$$

$$ym_{m,k} \cdot M2 \geq xA_{m,k}, \forall m \in A, \forall k \in D: k > 0 \quad (15)$$

$$ym_{m,k} \cdot M4 \geq xBC_{m,k}, \forall m \in B \cup C, \forall k \in D: k > 0 \quad (16)$$

$$\sum_{m \in A} zA_{m,k} \cdot ps \cdot vm_m \leq va, \forall k \in D: k > 0 \quad (17)$$

$$\sum_{m \in B} zBC_{m,k} \cdot vm_m \leq vb, \forall k \in D: k > 0 \quad (18)$$

$$\sum_{m \in C} zBC_{m,k} \cdot vm_m \leq vc, \forall k \in D: k > 0 \quad (19)$$

$$tr \cdot y_{k-LT} + \sum_{m \in B \cup C} \left( (tg + tc) \cdot xBC_{m,k-LT} + ym_{m,k-LT} \cdot th + zBC_{m,k} \cdot tb \right) + \sum_{m \in A} \left( (tgp + te + tc \cdot ps) \cdot xA_{m,k-LT} + ym_{m,k-LT} \cdot th + zA_{m,k} \cdot tbp + zI_{m,k} \cdot tb + xI_{m,k} * tgp \right) \leq td_k \quad \forall k \in D: k > 0 \quad (20)$$

$$y_0 = 0 \quad (21)$$

$$ym_{m,0} = 0, \forall m \in M \quad (22)$$

$$xA_{m,0} = 0, \forall m \in A \quad (23)$$

$$xBC_{m,0} = 0, \forall m \in B \cup C \quad (24)$$

$$y_k = 0, \forall k \in D: k \geq 6 - LT \quad (25)$$

$$xA_{m,k} \geq 0, \forall m \in A, \forall k \in D \quad (26)$$

$$xBC_{m,k} \geq 0, \forall m \in B \cup C, \forall k \in D \quad (27)$$

$$zA_{m,k} \geq 0, \forall m \in A, \forall k \in D \quad (28)$$

$$zBC_{m,k} \geq 0, \forall m \in B \cup C, \forall k \in D \quad (29)$$

$$smaxA_{m,k} \geq 0, \forall m \in A, \forall k \in D \quad (30)$$

$$smaxBC_{m,k} \geq 0, \forall m \in B \cup C, \forall k \in D \quad (31)$$

$$y_k \in \{0,1\}, \forall k \in D \quad (32)$$

$$y_{m,k} \in \{0,1\}, \forall m \in M, \forall k \in D \quad (33)$$

La función objetivo (3) busca minimizar los tiempos vinculados a la gestión de inventario y consiste en tres términos. El primero refiere a los tiempos de recepción de las reposiciones. El segundo, a los tiempos de guardado, control y balance de los *SKU* de rotación B y C. El tercer término suma los tiempos de empaquetado, guardado, control y balance de los *SKU* de rotación A en estanterías móviles y su posterior guardado y balance en estanterías de alta rotación.

Dentro de los últimos dos términos de la función objetivo también se incluye la penalización por reposición heterogénea. La misma introduce un costo por cada *SKU* que es repuesto para cada día  $k$ , de forma tal que cuanto mayor sea el número de *SKUs* a reponer en cierto día  $k$  ( $\sum_M y_{m,k}$ ), mayor será la penalidad para ese día.

Las familias de restricciones (4) y (5) corresponden al balance de inventario de los *SKU* de rotación A y los *SKU* de rotación B y C respectivamente. Procuran que el stock al final del día  $k$  sea igual al stock del día anterior, más la reposición que llega en el día  $k$  (que fue ordenada en  $k - LT$ ), menos lo consumido en el día  $k$ .

Luego, (6) y (7) aseguran que la ventana de tiempo considerada funcione como ciclo. Establecen que el stock al comienzo del período (día 0) sea igual al del final (día 6).

Por su parte, las familias de restricciones (8) y (9) actúan como activaciones de la variable  $y_{m,k}$ . Esta se enciende si el stock al final del día  $k-1$  se encuentra igual o por debajo del punto de pedido  $pp_m$ . A su vez, la variable  $y_k$  se activa mediante la restricción (10). Esta vale 1 si en el día  $k$  se pide algún *SKU* y 0 en otro caso.

Las familias de restricciones (11) a (14) se utilizan para definir la cantidad a ordenar al Depósito Central (DC). Si  $y_{m,k} = 1$ , entonces la cantidad a ordenar toma el valor de la diferencia entre el stock máximo a mantener y el stock del día  $k-1$ . En su lugar, si  $y_{m,k} = 0$ ,  $x_{A_{m,k}}$  y  $x_{BC_{m,k}}$  quedan acotadas entre dos valores, uno negativo y otro positivo, lo que les permitiría tomar el valor de 0 y de esta forma no impactar en la función objetivo.

Para forzar que  $x_{A_{m,k}}$  y  $x_{BC_{m,k}}$  valgan 0 en los días que no existe reposición, se incluyen las familias de restricciones (15) y (16). Esto es necesario ya que podría suceder que en las familias de restricciones (8) y (9)  $z_{m,k}$  sea igual a  $pp_m$ , y por lo tanto  $y_{m,k} = 0$ , pero que  $x_{m,k}$  tome un valor positivo para cumplir con las ecuaciones de balance de inventario (esto lo avalan las familias de restricciones (11) a (14)). Como resultado, en la función objetivo no tendrían peso ni el tiempo de recepción de la reposición ni la penalización por reposición heterogénea.

Luego (17), (18) y (19) garantizan que el stock nunca supere el volumen disponible en estanterías. En cuanto a la familia de restricciones (20), busca restringir que el tiempo dedicado a las tareas de gestión de inventario por día no supere el tiempo que se definió como disponible.

Las familias de ecuaciones (21) a (25) limitan las reposiciones. Las primeras cuatro, no permiten hacer pedidos en el día 0, ya que es un día auxiliar para definir el estado inicial del ciclo. No basta con restringir únicamente la  $y_k$ , pues el día 0 queda fuera del dominio de las restricciones que luego definen  $ym_{m,k}$ ,  $xA_{m,k}$  y  $xBC_{m,k}$ . La familia de restricciones (25), por su parte, impide realizar pedidos si el día en que llegaría la reposición al DA cae fuera del ciclo o es sábado (los sábados no trabaja DC).

Finalmente, las familias de restricciones (26) a (33) definen los dominios de las variables, tanto binarias como continuas, que forman parte del problema.

## 5.2. Procesamiento de datos

En esta sección se comentarán los métodos utilizados para obtener los parámetros y conjuntos del modelo correspondiente a la Etapa 1.

### 5.2.1. Análisis ABC y método *Two-Bin*

Como primer paso, se realizó la clasificación ABC de los 274 *SKUs* a considerar en esta etapa. La clasificación se realizó en base al número de unidades despachadas por *SKU* en el período considerado (8 meses), de la siguiente forma:

1. Se ordenaron los *SKUs* de forma descendente en cantidad de unidades dispensadas.
2. Se calculó el porcentaje de los despachos totales que representó cada *SKU*.
3. Se calculó el porcentaje acumulado hasta cada *SKU*.
4. Finalmente, se les asignó la rotación:
  - a) Aquellos cuyo porcentaje acumulado era  $\leq 80\%$ , se clasificaron como rotación A.
  - b) Los *SKUs* cuyo porcentaje acumulado era  $> 80\%$  pero  $\leq 95\%$  se catalogaron como B.
  - c) A los restantes ( $> 95\%$ ) se les asignó rotación C.

El resultado del análisis ABC finalmente arrojó que de los 274 *SKUs* totales, 72 son de rotación A, 77 a rotación B y 125 de rotación C. En la Figura 31 se muestran sus porcentajes relativos.

## Análisis ABC

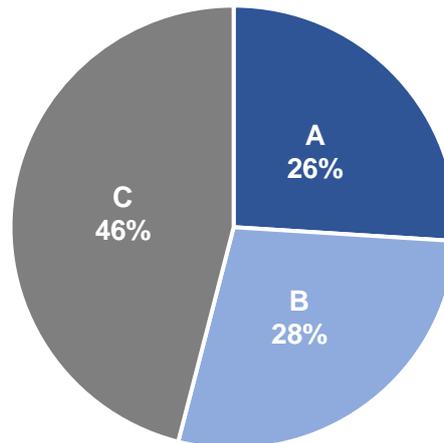


Figura 31. Distribución de SKUs por rotación para Etapa 1. Elaboración propia.

Luego, se definió el tamaño de los paquetes en los que se almacenarán los SKUs de rotación A en las estanterías móviles. Para determinar su valor, se partió de la cantidad de unidades dispensadas de estos SKUs por semana. Se observó que en todos los casos salían al menos 20 unidades por semana, por lo que se decidió fijar el tamaño de los paquetes  $ps$  en ese valor.

### 5.2.2. Demanda y punto de pedido

Para el dato de la demanda diaria de los SKUs  $d_{m,k}$ , se resolvió utilizar la demanda promedio en unidades, ya que se considera suficientemente representativa de la realidad actual. Además, se decidió discriminarla por día de la semana y no fijar un único valor, con el fin de representar las variaciones que se presentan a lo largo de la misma. Se descartó considerar la máxima demanda diaria registrada en el período de estudio ya que eso resultaría en un gran sobredimensionamiento.

Como análisis de sensibilidad, se presentará en la sección 5.4.1.1 un escenario en el que la demanda considerada es la de percentil 80, es decir, aquel valor de demanda diaria para el que se cumple que el 80% de los despachos diarios son menores que este valor.

En el listado presentado en Anexo VII: Listado de SKUs para la Etapa 1 se incluye el valor de  $d_{m,k}$  y  $pp_m$  para cada SKU. El punto de pedido  $pp_m$ , por su parte, se definió en base a la ecuación (2), que se repite a continuación para comodidad del lector.

$$pp = dem. diaria \cdot LT + z \cdot \sigma_{dem. diaria} \cdot \sqrt{LT} \quad (2)$$

Es importante aclarar que para el valor de  $dem. diaria$  se utilizó la demanda promedio sin discriminar por día de la semana, ya que se desea que el punto de pedido sea fijo a lo largo de la misma.

A diferencia de lo establecido como dato en el modelo, el *leadtime* para este cálculo se definió en 0,5 días, ya que en la práctica la reposición se ordena por la mañana y llega por la tarde.

El valor de  $z$ , por su lado, se define de acuerdo al nivel de servicio que se desea mantener. En este caso, se desea un nivel de servicio del 100%, lo que es lo mismo, que la probabilidad de tener faltantes de inventario sea 0. Por último, la desviación estándar de la demanda fue obtenida de los reportes de despachos del período considerado.

### 5.2.3. Tiempos

La estimación de los tiempos que insumen las tareas vinculadas a la gestión de inventarios en Despacho Ambulatorio (DA) se realizó en base a consultas al personal de farmacia y medidas empíricas por parte del equipo de trabajo.

Tal como se mencionó en la sección 3.2.1 se decidió considerar un *leadtime* ( $LT$ ) de 0 días. Como análisis de sensibilidad, se plantea en la sección 5.4.1.3 un escenario con *leadtime* 1 día, para contemplar esa posibilidad a futuro.

El tiempo de recepción de la reposición  $tr$  fue consultado al personal de DA. Este incluye recibir al personal de Depósito Central (DC) que trae los cajones, aguardar la descarga de los mismos e ingresar al sistema para confirmar la reposición.

Por su parte, el tiempo de control por unidad  $tc$  se definió mediante la observación del proceso en una de las visitas a DA. Este tiempo incluye abrir los cajones de reposición y controlar que las cantidades enviadas se correspondan con las que se indican en el listado de reposición. Además, implica el control de la fecha de vencimiento de una muestra de las unidades enviadas por  $SKU$ .

Luego de controlada la reposición, se procede a armar los paquetes de los  $SKUs$  de rotación A. Este tiempo involucra el guardado de forma ordenada dentro de una bolsa o *bin* que representará un paquete a los efectos del modelo. Fue definido como tiempo de armado de paquetes  $te$  y su estimación surge de la prueba empírica de realizar la actividad por parte del grupo de trabajo.

Respecto al guardado de la reposición en las estanterías, se determinaron los tiempos de guardado por unidad  $tg$  y por paquete  $tgp$ . Ambos fueron medidos empíricamente por el equipo de trabajo y fueron fijados en el mismo valor, ya que se verificó que colocar una unidad o un paquete en la estantería insume el mismo tiempo.

Como forma de penalizar la recepción de reposiciones muy heterogéneas, que conllevan a traslados dentro de la farmacia para guardar en distintas posiciones los  $SKUs$ , se introdujo el parámetro  $th$ . Este tiempo fue estimado por el equipo de trabajo y con él se busca que las reposiciones sean lo más homogéneas posible.

En cuanto a las actividades de balance, se determinaron los tiempos de realizar el balance de una unidad  $tb$  y de un paquete  $tbp$ . El tiempo de balance por unidad es el promedio que le toma a un auxiliar de farmacia realizar el control de inventario diario de una unidad. Fue calculado tomando como referencia el tiempo que le toma a un auxiliar controlar su listado de  $SKUs$  contra el stock físico actual; los auxiliares coincidieron en que en promedio les insume 30 min a cada uno. Para calcular el tiempo por unidad, se utilizaron once planillas de balances de distintos auxiliares. A partir de este valor se definió el tiempo de balance por paquete como el doble del de una unidad.

Por último, el tiempo máximo disponible  $td$  se definió considerando los siguientes aspectos:

1. Por día se dedica como máximo dos horas a las tareas de reposición, según lo establecido por el personal a cargo.
2. El tiempo de balance por auxiliar se estima en media hora como máximo.
3. En promedio, los días de semana trabajan 6 auxiliares en la mañana y 4 en la tarde.
4. En promedio, en el turno del sábado trabajan 8 auxiliares.

$$td = t.\text{por balance por auxiliar} \cdot \text{cant. auxiliares} + t.\text{en tareas de reposición} \quad (34)$$

$$td_{L-v} = 0,5 \frac{h}{aux} \cdot 10 aux + 2h$$

$$td_s = 0,5 \frac{h}{aux} \cdot 8 aux + 0h$$

Es importante aclarar que la definición de  $td$  corresponde al máximo tiempo que se puede destinar a las tareas anteriormente mencionadas sin comprometer la atención en ventanilla.

Se presentan en la Tabla 1 los valores de los parámetros de tiempo utilizados en el modelo matemático.

Tabla 1. Valores utilizados en el modelo de la Etapa 1 para los parámetros de tiempo.

Parámetro	Descripción	Valor
$LT$	Leadtime (días)	0
$tg$	Tiempo de guardado de una unidad (s)	1,00
$tgp$	Tiempo de guardado de un paquete (s)	1,00
$tc$	Tiempo de control por unidad (s)	1,00
$tb$	Tiempo de realizar el balance diario por unidad (s)	0,85
$tbp$	Tiempo de realizar el balance diario por paquete (s)	1,70
$tr$	Tiempo de recepción de la reposición (s)	300
$th$	Penalización de tiempo por efectuar una reposición heterogénea (s)	20
$te$	Tiempo de embolsado de un paquete (s)	40
$td_{L-v}$	Tiempo disponible para gestión de inventarios de lunes a viernes (s)	25.200
$td_s$	Tiempo disponible para gestión de inventarios en día sábado (s)	14.400

## 5.2.4. Volúmenes

Tal como se mencionó en 4.1, los volúmenes de los *SKUs* ( $vm_m$ ) fueron obtenidos a partir de las medidas relevadas en el Hospital Pasteur (HP). A aquellos medicamentos cuyas medidas no se pudieron relevar, se les adjudicó el volumen de un *SKU* promedio: 181 cm<sup>3</sup>. En Anexo VII: Listado de *SKUs* para la Etapa 1 se pueden encontrar estos datos.

Respecto a los volúmenes de las estanterías, también fueron relevados en una visita al Despacho Ambulatorio (DA). Sumado a esto, al realizar la clasificación ABC, el equipo de trabajo consideró pertinente asignarle *SKUs* de determinada rotación a cada estantería. Con estos dos insumos, se calcularon los volúmenes destinados al almacenamiento de los *SKUs* de rotación A, B y C.

Como se señaló anteriormente, los *SKUs* de rotación A son almacenados de dos formas distintas. Por un lado, se almacenan en unidades en zona de ventanillas, desde donde se realiza el *picking*. Por el otro, se almacenan en paquetes en las estanterías móviles, en forma de stock pulmón. Sin embargo, en el modelo se tomarán únicamente decisiones acerca del almacenamiento y reposición del stock en estanterías móviles, debido a que las reposiciones internas quedan determinadas por la metodología *Two-Bin* (presentada en la Sección 2.2.3) y son un parámetro del modelo. Por lo tanto, el volumen que se desea conocer es el que se destinará al almacenamiento de *SKUs* de rotación A en las estanterías móviles, denominado  $va$ .

Por otro lado, el volumen  $vb$  se determinó como el volumen de las estanterías ubicadas en el segundo ambiente, justo detrás de la pared que lo separa de la zona de ventanillas (ver Anexo V: Layout Hospital Pasteur).

Para el almacenamiento de los *SKUs* de rotación C, se asignó un frente de las estanterías móviles. Se entendió que debido a su muy baja rotación, colocarlos en estanterías más próximas a ventanilla no traería grandes beneficios, sino que entorpecería la dispensación.

Para un mayor entendimiento del lector, se presenta la Figura 32 que muestra la asignación de *SKUs* a las distintas estanterías según su rotación.

Tabla 2. Valores utilizados en el modelo de la Etapa 1 para los volúmenes de estanterías.

Parámetro	Descripción	Volumen (cm <sup>3</sup> )
$va$	Volumen de estanterías para <i>SKUs</i> de rotación A	4.712.546
$vb$	Volumen de estanterías para <i>SKUs</i> de rotación B	2.524.702
$vb$	Volumen de estanterías para <i>SKUs</i> de rotación C	942.509

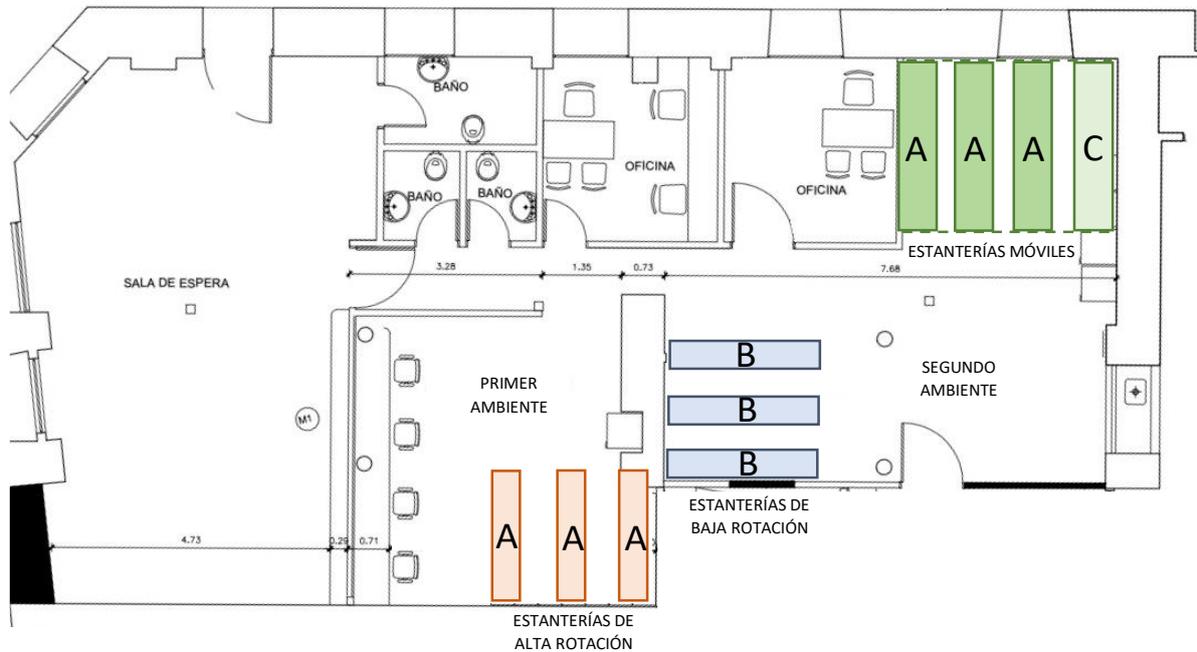


Figura 32. Esquema de distribución de SKUs por estantería según su rotación. Adaptado de Figura 76.

### 5.2.5. Reposiciones internas y stock en zona de ventanillas

Como se comentó en 3.2, a modo de facilitar la resolución del *solver*, no se incluyeron como variables del modelo las reposiciones internas  $xI_{m,k}$  ni el stock de los SKUs de rotación A en las estanterías de alta rotación  $zI_{m,k}$  (zona de ventanillas). Por lo tanto, ambos se incluyen como parámetros.

Estos datos fueron calculados en una planilla de Excel, donde se replicaron los movimientos que ocurrirían en el ciclo estudiado. Partiendo de las estanterías de alta rotación en su nivel de inventario deseado (todos los SKUs en su valor fijo deseado de stock) y considerando las demandas promedio discriminadas por día de la semana, quedaron determinados tanto el stock de cada día  $zI_{m,k}$  como las reposiciones internas  $xI_{m,k}$ .

El stock fijo deseable de cada SKU en las estanterías de alta rotación se fijó igual al pico de su demanda en el período estudiado, ya que se consideró adecuado para amortiguar posibles variaciones en la demanda. Para el caso de aquellos SKUs con una demanda pico inferior al tamaño de dos paquetes, este valor se definió en dos paquetes para poder trabajar con la metodología *Two-Bin*.

### 5.3. Análisis de resultados

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos para el modelo correspondiente a la mejora en la gestión de inventarios, tanto a nivel numérico como una comparativa contra la situación actual, donde se reflejarán los beneficios que se obtendrían en caso de implementar la solución planteada. Esta instancia se designará como el caso base (E0) de la Etapa 1.

### 5.3.1. Resultados numéricos

El modelo matemático se plantea como un modelo determinístico lineal entero. Fue implementado sobre AMPL, con licencias estudiantiles que permitieron la utilización del *solver* Gurobi. Se utilizó para el caso base de la Etapa 1, así como para sus análisis de sensibilidad, una computadora en ambiente macOS con procesador de cuatro núcleos Intel Core i5 @4.1GHz y 8GB de memoria RAM.

La función objetivo tomó el valor 68.350 s. Es importante aclarar si bien la solución obtenida no fue la óptima, puede afirmarse que se encuentra dentro de un intervalo de 1% respecto a la misma. El tiempo de ejecución fue de 84 segundos para llegar a este intervalo, tiempo relativamente acotado. El equipo de trabajo probó dejar correr el modelo durante 24 hs y la solución no mejoró significativamente, por lo que se decidió trabajar con este intervalo.

En primer lugar, resultó interesante observar que en la solución obtenida se precisa reponer únicamente tres veces en el ciclo de una semana, los días martes, miércoles y viernes. Esto de por sí trae aparejada una diferencia respecto a la situación actual de Despacho Ambulatorio (DA), donde se repone diariamente. La composición de la reposición varía a lo largo de la semana, dándose el día martes la reposición más heterogénea, dado que se reponen 150 *SKUs* distintos. Si bien el miércoles es el día en que se repone la menor cantidad de *SKUs* distintos (únicamente 76), la cantidad de unidades a reponer es un 174% mayor a lo que se repone el martes y un 28% mayor al viernes, día en el que se reponen 99 *SKUs* distintos.

Entrando en mayor detalle, es interesante notar que ningún *SKU* se repone tres veces a la semana. Por otro lado, únicamente 51 de los 274 *SKUs* son repuestos dos veces en la semana; 6 de ellos son de rotación A (que coinciden con los 6 de mayor rotación) mientras que los restantes 45 corresponden a *SKUs* de rotación B, para los que también se cumple que tienen una alta rotación dentro de su grupo. Se entiende que para estos últimos es conveniente fijar niveles de stock máximo cercanos al punto de pedido y reponer más veces, dado que resulta menos costoso realizar reposiciones que realizar balances diarios de stock de *SKUs* almacenados en unidades. No ocurre lo mismo para los *SKUs* de rotación A ya que el tiempo de realizar balances de stock es diez veces menor, por almacenarse en paquetes. Por su parte, los *SKUs* de rotación C no justificaron en ningún caso reponerse más de una vez debido a su baja salida.

Se presenta en la Tabla 3 el impacto de cada actividad en la función objetivo. Es importante aclarar que al tratarse del estudio de un ciclo de una semana en estado estacionario (que comienza y termina con el mismo nivel de stock), hay términos constantes en la función objetivo; son los marcados con gris en la tabla.

Tabla 3. Contribución de tiempos por actividad en la función objetivo para la Etapa 1.

	Tiempo (s)	% del total
<b>Tiempo fijo por reponer</b>	900	1,32%
<b>Guardado y control de SKUs B y C</b>	5.832	8,53%
<b>Penalización por reposición heterogénea de SKUs B y C</b>	4.940	7,23%
<b>Balance de SKUs B y C</b>	10.013	14,65%
<b>Guardado y control de SKUs A</b>	26.901	39,36%
<b>Penalización por reposición heterogénea de SKUs A</b>	1.560	2,28%
<b>Balance de SKUs A de estanterías móviles</b>	2.399	3,51%
<b>Balance de SKUs A de estanterías de alta rotación</b>	15.365	22,48%
<b>Guardado de SKUs A en estanterías de alta rotación</b>	441	0,65%
<b>Función objetivo</b>	<b>68.350</b>	<b>100%</b>

Se puede observar en la Tabla 3 que la actividad de guardado y control de *SKUs* de rotación A es la de mayor peso en la función objetivo. Esto se explica por tratarse de los artículos con mayor cantidad de salidas y por ende, mayor volumen de reposición. Además, si bien el tiempo por unidad de controlar la reposición es el mismo, comparando el tiempo que implica el guardado de un *SKU* A (almacenado en paquetes) contra el mismo tiempo para un *SKU* B o C, se tiene que este es el doble para los primeros que para los últimos. La principal diferencia está dada por el tiempo de empaquetado, que significa una inversión que se realiza al recibir la reposición para que luego el tiempo invertido en los balances diarios sea significativamente menor (10 veces menor para *SKUs* A en paquetes que para una unidad de rotación B o C). Fueron presentados en la Tabla 1 los valores de los parámetros de tiempos considerados para el modelo matemático.

La segunda actividad con mayor peso en la función objetivo es el balance de *SKUs* A en estanterías de alta rotación. Este resultado es coherente debido a que en dichas estanterías se almacena el 35% del total del stock de *SKUs* de rotación A, cuyo balance diario se realiza contando por unidad y no por paquetes.

Considerando el tiempo invertido en la semana en el balance de los *SKUs* de rotación A en estanterías móviles y de alta rotación, se tiene que este es un 77% mayor que el invertido para los de rotación B y C. Sin embargo, el stock que se mantiene de los A es 3,7 veces mayor que el stock de los B y C, como refleja la Figura 33. Los términos no aumentan en forma proporcional dado que el tiempo de balance por unidad de A se modela, en promedio, menor al tiempo de balance de una unidad de B y C.

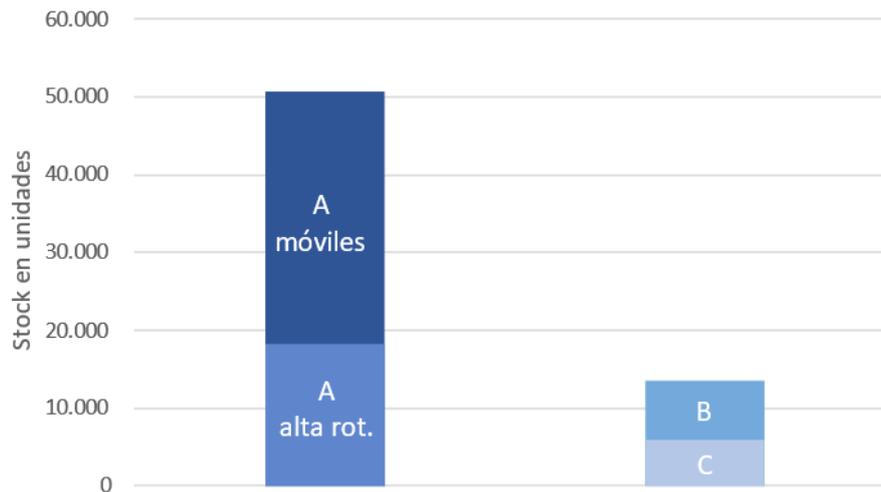


Figura 33. Comparación de nivel de stock semanal por rotación de SKUs. Elaboración propia.

Si se compara el tiempo por unidad que actualmente implica el balance de inventario con el promedio que arrojó el modelo, se puede notar una mejora sustancial. Mientras que actualmente el balance de una unidad toma 0,85 s, el resultado obtenido implica un tiempo promedio de 0,46 s. Analizando únicamente los medicamentos de alta rotación el tiempo promedio es aún menor: 0,36 s. Lo anterior resulta alentador respecto a las mejoras propuestas por el equipo de trabajo, pues se logra una reducción de tiempos en una tarea tan importante como es la de los balances.

El nivel de ocupación de las estanterías de DA que supone la solución alcanzada se puede ver en la Figura 34.

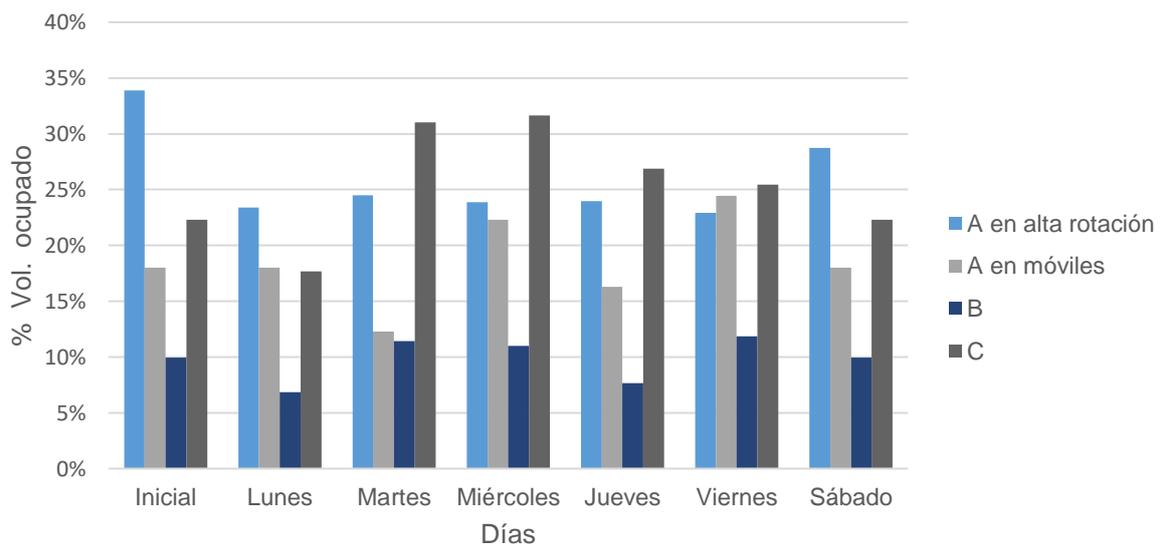


Figura 34. Nivel de ocupación en las estanterías a lo largo de la semana: E0 de la Etapa 1. Elaboración propia.

En primer lugar se puede notar que a lo largo de la semana el porcentaje de ocupación en todas las estanterías es bajo, siendo particularmente llamativo el caso de las estanterías de baja rotación (SKUs B). Se considera pertinente aclarar que el volumen realmente ocupado

a la hora de almacenar los *SKUs* es un tanto mayor debido a la forma natural en que se asignan las posiciones en las estanterías.

Respecto a las estanterías de alta rotación, al ser repuestas con la metodología de *Two-Bin*, es razonable que el nivel de ocupación se mantenga relativamente constante a lo largo de la semana (sin considerar el inicio y fin de la misma). Al comienzo se tiene un porcentaje de ocupación más alto debido a que se decidió modelarlo con el stock fijo deseado. Sobre el final del ciclo, se observa que el porcentaje es mayor dado que la demanda del sábado es significativamente menor a la demanda del resto de la semana. No ocurre lo mismo para el resto de las estanterías, en las que se puede ver que en los días de reposición (martes, miércoles y viernes) el stock aumenta y que, tanto al comienzo como al fin del ciclo, se cuenta con el mismo nivel de ocupación.

En la Figura 35 se representa el porcentaje de tiempo utilizado respecto al definido como máximo disponible por día de la semana, para el caso base (E0).

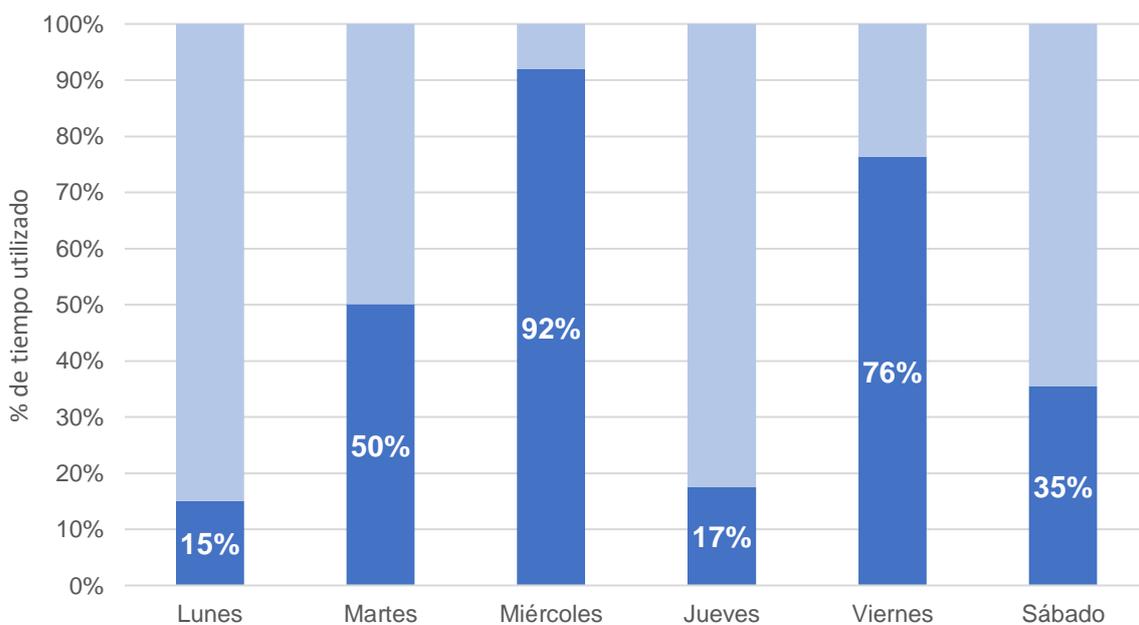


Figura 35. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible: E0 de la Etapa 1.  
Elaboración propia.

Se puede observar que los días correspondientes a reposición, el porcentaje de tiempo utilizado es significativamente superior al resto de los días. La holgura con la que se cuenta respecto al total de tiempo disponible  $td$  en cada día, podrá destinarse tanto a la atención en ventanilla como para dar apoyo a otras tareas que se realizan dentro de la operativa del DA, pero que exceden al alcance de este estudio.

Si se comparan los tres días en que ocurren reposiciones, el miércoles este porcentaje es aún mayor, lo que es congruente con que el volumen de la reposición en este día es superior. La reposición del martes representa únicamente el 17% del total que se repone en la semana, lo que se ve reflejado en el menor tiempo a utilizar en este día.

En la siguiente sección se realizará la comparativa del desempeño de la solución obtenida respecto a la operativa actual de DA.

### 5.3.2. Comparativa con situación actual

Para tener un punto de referencia a la hora de comparar la situación actual de Despacho Ambulatorio (DA) contra el resultado obtenido a través de la ejecución del modelo matemático, se buscó estimar los valores que toman los términos de la función objetivo en la situación actual. Para modelar lo anterior se establecieron las siguientes hipótesis:

1. Se asumen los mismos tiempos asociados a la gestión de inventarios considerados en el modelo.
2. Dado que actualmente no se manejan paquetes, todo el stock que se almacena se cuenta por unidad. Esto permitirá evaluar la utilidad de la propuesta de incorporar un sistema tipo *Two-Bin*.
3. Las reposiciones son diarias (de lunes a viernes), dado que esa es la frecuencia utilizada actualmente.
4. Se asumen los stock fijos utilizados actualmente en DA.
5. La regla de decisión para reponer es la siguiente: si la diferencia entre el stock fijo y el stock actual es mayor a cero, se repone el múltiplo de 10 inmediatamente superior a esa cantidad,. Este criterio busca representar la práctica habitual del personal de Depósito Central (DC).
6. El stock inicial del ciclo se tomó como el stock del día en que se hizo el relevamiento de *SKUs* en DA.
7. Se utilizan los mismos valores de demanda promedio discriminada por día de la semana que en el modelo.

Como actualmente DA no maneja una discriminación de su inventario según rotaciones, la comparativa se realizó sin considerar este aspecto, tratando todos los *SKUs* en unidades. Dicho esto se obtuvo una estimación de la función objetivo para la situación actual correspondiente a 97.430 segundos, que se utilizará de aquí en más para poder comparar las distintas actividades y visualizar cómo se distribuyen en el modelo y en la situación actual los tiempos en la semana.

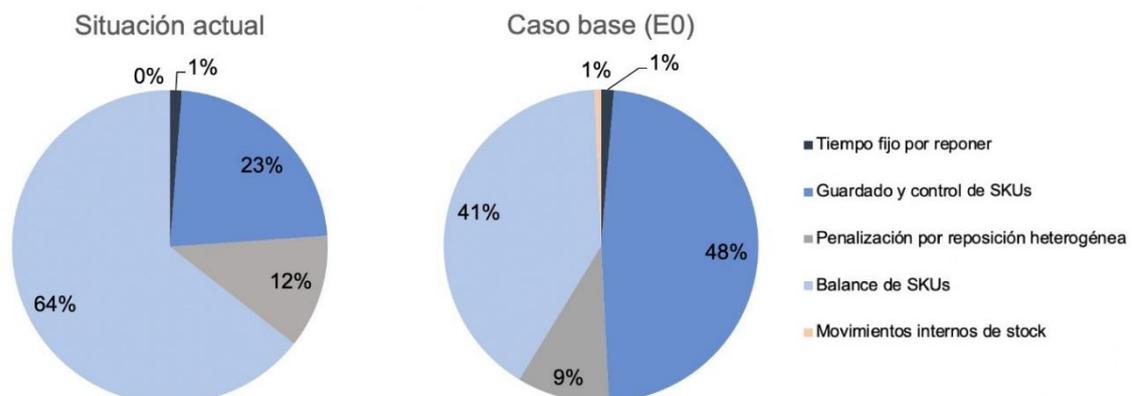


Figura 36. Comparativa de peso de actividades entre la actualidad y E0 para la Etapa 1. Elaboración propia.

En la Figura 36 se observa que, mientras que en la actualidad la tarea de mayor peso es el balance de *SKUs*, en la solución obtenida con el modelo se trata del guardado y control. El tiempo invertido en esta tarea aumenta respecto a la situación actual debido a los mayores niveles de stock y al empaquetado. En cuanto a los tiempos de balance, actualmente los *SKUs* son almacenados en unidades, lo que causa que sea la tarea que insume el mayor porcentaje de tiempo. La penalización por reposición heterogénea representa en ambas situaciones un porcentaje relativamente menor pero no despreciable, siendo el tercer tiempo de mayor peso en la función objetivo. Se cumple que el tiempo fijo por reposición es despreciable en comparación al resto de las actividades. En el modelo, existe otro tiempo, también muy bajo que se utiliza para realizar el guardado de los *SKUs* A en las estanterías de alta rotación.

En cuanto a la solución obtenida, se puede notar según la Tabla 4 una reducción de tiempos en la semana de 8,07 horas, significando una mejora del 30%.

*Tabla 4. Comparativa de función objetivo desglosada por actividad, entre la situación actual y E0 para la Etapa 1.*

	<b>Tiempo actual (hs)</b>	<b>Tiempo modelo (hs)</b>
<b>Tiempo fijo por reponer</b>	0,33	0,25
<b>Guardado y control de <i>SKUs</i></b>	6,13	9,09
<b>Penalización por reposición heterogénea</b>	3,17	1,81
<b>Balance de <i>SKUs</i></b>	17,43	7,72
<b>Movimientos internos de stock</b>	0,00	0,12
<b>Función objetivo</b>	<b>27,06</b>	<b>18,99</b>

Para visualizar gráficamente lo anterior se presenta la Figura 37.

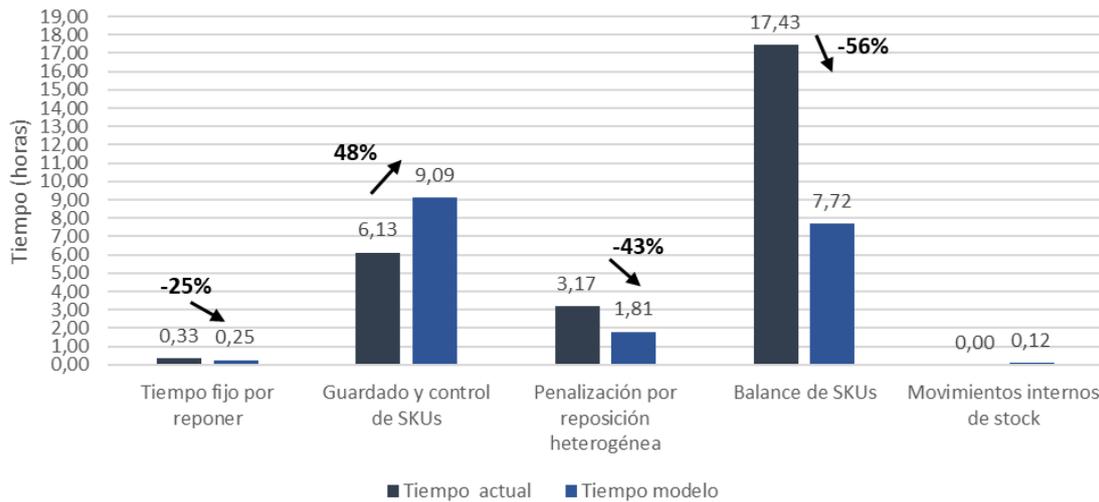


Figura 37. Comparativa de función objetivo desglosada por actividad, entre la situación actual y E0 para la Etapa 1. Elaboración propia.

Se observa que con el modelo propuesto se da una significativa mejora en el tiempo de balance de los *SKUs* y en los traslados a estanterías que implican las reposiciones heterogéneas. Existe también una mejora dada por la menor frecuencia de reposición. Si bien la introducción de los paquetes genera un aumento en el tiempo de guardado y control de *SKUs*, esto se compensa con el ahorro que se da en los balances, llegando a prácticamente equipararse. En este caso no sólo se ahorra alrededor de la mitad de tiempo sino que se estima que con esta reducción los errores en el conteo también se verían disminuidos.

El hecho de que las reposiciones propuestas con el modelo sean más homogéneas que en la actualidad permite que los reabastecimientos al DA sean de un mayor volumen y por ende, más espaciados en el tiempo. Actualmente, al efectuar órdenes diariamente sin tener un punto de pedido, en general todos los *SKUs* que hayan tenido al menos un movimiento el día anterior serán sugeridos por el sistema informático para ser repuestos al día siguiente.

La Figura 38 muestra qué porcentaje de *SKUs* aumentó, disminuyó o mantuvo igual sus valores de stock máximos, en comparación con la situación actual. Se consideraron únicamente como variaciones aquellas diferencias mayores al 10%. Se debe tomar en cuenta que el nivel de stock máximo del DA está compuesto por el stock fijo deseado en las estanterías de alta rotación (definido en 5.2.5) y las variables de decisión que determinan el nivel de stock máximo en el resto de las estanterías, representadas por  $smaxA_m$  y  $smaxBC_m$  en el modelo.

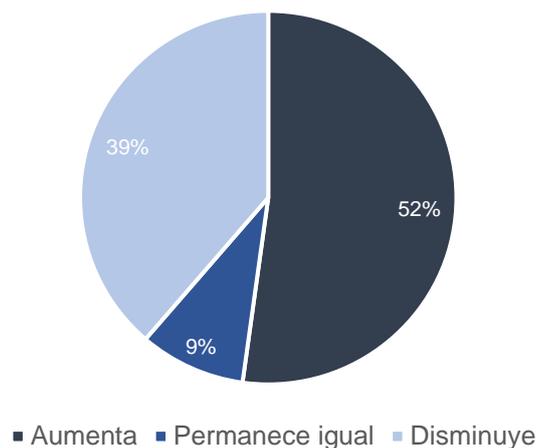


Figura 38. Variación del nivel de stock máximo en cantidad de SKUs respecto a situación actual para la Etapa 1. Elaboración propia.

Se tiene que aproximadamente la mitad de los SKUs aumenta su valor de stock máximo, un 39% disminuye su valor y únicamente un 9% lo mantiene. En la Figura 39 se presenta la misma información pero distinguida por rotación.

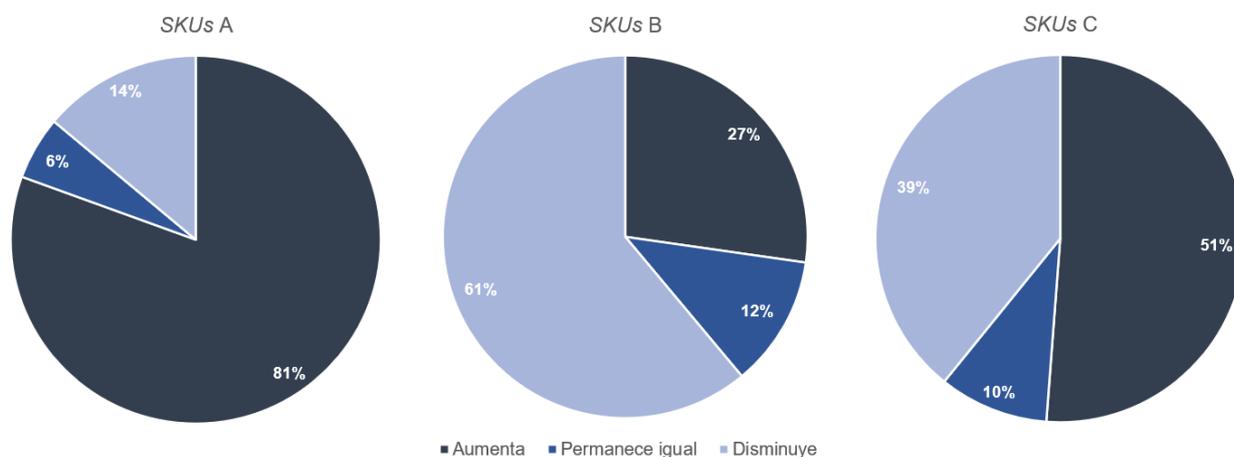


Figura 39. Variación del nivel de stock máximo en cantidad de SKUs desglosado por rotación respecto a situación actual para la Etapa 1. Elaboración propia.

Se desprende de la Figura 39 que en los tres casos el porcentaje de SKUs que mantiene el valor actual de stock máximo es muy bajo. Se observa que el 81% de los SKUs de rotación A aumentan su valor, a diferencia de los SKUs de rotación B para los que solamente el 27% sufre un aumento. En este último caso llama la atención la importante cantidad de SKUs que reducen su valor de stock máximo. En los SKUs de rotación C, si bien la mitad de estos aumenta su valor, la proporción es más equitativa dado que otro 39% lo reduce.

Lo anterior es un resultado esperable, principalmente para los SKUs de rotación A, debido a la implementación del sistema *Two-Bin* y la incorporación de un stock pulmón para reabastecer las estanterías de alta rotación. Respecto a los SKUs de rotación B, la disminución en los niveles máximos de stock es coherente con el tiempo que implica realizar los balances diarios por unidad, prefiriendo mantener el menor stock posible para satisfacer el nivel de servicio deseado. Por su parte, para los SKUs de rotación C el comportamiento

dividido entre aumentos y disminuciones de niveles de stock máximo se puede atribuir a la mayor variabilidad en la demanda que redunda en mayores niveles de stock de seguridad, que no están siendo considerados en la actualidad. Además, es posible que la nueva definición de los puntos de pedido  $pp_m$  permita cumplir con el nivel de servicio deseado utilizando niveles de stock máximo más reducidos.

En términos de total de unidades, se puede ver representado en la Figura 40 un aumento del 68% para los A, una disminución del 33% para los B y una disminución del 8% para los C.

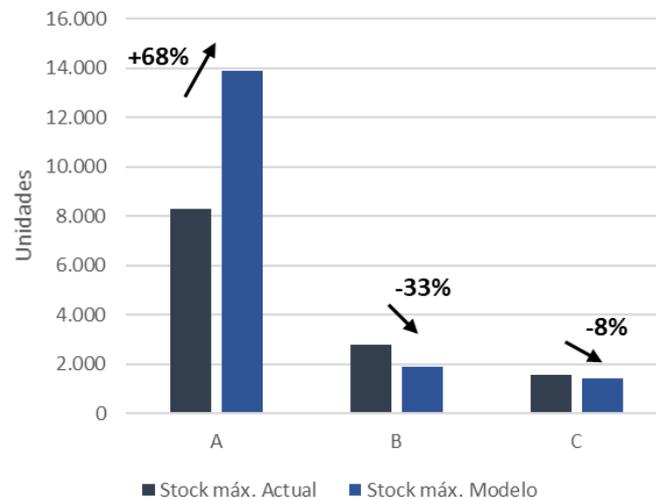


Figura 40. Variación del nivel de stock máximo en unidades por rotación respecto a situación actual para la Etapa 1. Elaboración propia.

Es interesante notar que para los *SKUs* de rotación C, si bien la mitad de los *SKUs* aumenta su nivel de stock máximo, se observa una disminución del stock en unidades. De esto se desprende que aquellos *SKUs* de rotación C que disminuyeron su valor de stock máximo lo hicieron en mayor medida que aquellos que aumentaron.

## 5.4. Análisis de sensibilidad

Los análisis de sensibilidad que se presentan a continuación buscan mostrar cómo se comportará la solución del sistema si ocurren tanto cambios anticipados, como ser el proyecto de traslado del Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas (SEIC), como inesperados (un aumento de demanda, por ejemplo).

### 5.4.1. Escenarios

En esta sección se presentarán en detalle las situaciones consideradas en cada análisis de sensibilidad, junto con los resultados arrojados. En la Tabla 5 se pueden visualizar con una cruz los cambios considerados en los conjuntos y parámetros, con respecto al caso base. Son señalados con N/A aquellos que por su definición no forman parte de la formulación en algún escenario.

Tabla 5. Modificaciones en cada escenario de sensibilidad con respecto a E0 para la Etapa 1.

			E1) Mayor demanda de DA	E2) Demanda incrementada por SEIC	E3) Mayor lead-time de reposición	E4) Sobre stock para liberar DC	E5) Ausencia de paquetes
<b>Conjuntos</b>	M	Total de SKUs		X			
	LT	Leadtime			X		
<b>Parámetros</b>	d	Demanda por SKU por día de la semana	X	X			
	xl	Paquetes a reponer internamente de SKUs A por día	X	X			N/A
	zl	Stock de SKU A en estanterías de alta rotación por día de la semana	X	X			N/A
	pp	Punto de pedido por SKU	X	X	X	X	X
	tgp	Tiempo de guardado de un paquete					N/A
	tbp	Tiempo de balance por paquete					N/A
	te	Tiempo de embolsado de un paquete					N/A
	ps	Cantidad de unidades que conforman el paquete					N/A
	va	Vol. disponible en estanterías móviles destinadas a SKUs A					X
	$\alpha$	Número grande para restricción (10)		X			
	M1	Número grande para restricción (8)		X		X	
	M2	Número grande para restricciones (11), (12) y (15)	X	X		X	X
	M3	Número grande para restricción (9)		X		X	N/A
	M4	Número grande para restricciones (13), (14) y (16)	X	X		X	N/A

A modo de aclaración, en E5 no se hace uso de paquetes, por lo que no se distingue el volumen para almacenar a los *SKUs* de rotación A según la estantería. El parámetro *va* en este escenario representa el volumen total disponible para este tipo de *SKUs*, a diferencia de los escenarios anteriores en los que únicamente refiere al volumen de las estanterías móviles.

#### 5.4.1.1. E1: Aumento de demanda de DA

El primer escenario de sensibilidad que interesó estudiar, fue el de evaluar cómo cambiaría la solución ante un aumento en el nivel de demanda recibida. Este escenario puede resultar de utilidad en algunos casos donde la demanda promedio considerada en el caso base no refleje el comportamiento que tiene el *SKU*; esto es más propenso a suceder en el caso de los *SKUs* de rotación C, pues algunos tienen salidas esporádicas pero en cantidades relativamente grandes.

Para todo el universo de *SKUs* se recalculó la demanda por día de la semana ( $d_{m,k}$ ) considerando un valor correspondiente al percentil 80, esto es, que está por encima del 80% de las salidas diarias en el período analizado. Este cambio resultó en un aumento del 59,4% respecto a la demanda total considerada en el caso base. Distinguiendo por rotación, la demanda de los *SKUs* A aumentó un 28,6%, la de los B un 78,2% y la de los C un 229,8%. Esto es coherente con lo que se mencionaba anteriormente: los despachos de los C son los más esporádicos y los peor representados por la demanda promedio.

Además del parámetro  $d_{m,k}$  se modificó el valor del punto de pedido  $pp_m$  definido según la ecuación (2) como:

$$pp = dem. diaria \cdot LT + z \cdot \sigma_{dem. diaria} \cdot \sqrt{LT} \quad (2)$$

En este caso, en lugar de considerar *dem. diaria* como la demanda diaria promedio del período analizado, se consideró la demanda percentil 80.

Los puntos de pedido resultantes fueron, en promedio, un 10,6% mayores que los definidos para el caso base. Este porcentaje se mantiene igual si se distingue por rotación, dado que la relación entre la demanda percentil 80 y la demanda promedio es muy similar para las tres rotaciones.

Luego de correr durante un día, se obtuvo una solución a 1,17% de la óptima (*gap* de optimalidad), cuya función objetivo tomó el valor de 86.432 segundos. Esto representa un aumento del 26% respecto al caso base. Es interesante destacar como, si bien la demanda aumentó un 59% y los puntos de pedido un 11%, la función objetivo no tuvo el mismo comportamiento. Respecto a las reposiciones, estas se realizan los días martes, miércoles y viernes, al igual que en el caso base.

El incremento en la función objetivo se debe principalmente a una suba en los tiempos de guardado y control de medicamentos, que sufrieron un aumento de 124% en el caso de los *SKUs* B y C y 40% en el caso de los de rotación A. Esto es coherente ya que el tiempo de guardado y control está ligado al tamaño de la reposición, que es mayor en este escenario debido al aumento de demanda. Es interesante mencionar que aun así el tiempo de balance de los *SKUs* A en las estanterías de alta rotación disminuyó un 22%.

Discriminando por día de la semana, en la Figura 41 se puede ver el porcentaje de tiempo utilizado para tareas de gestión de inventarios sobre el tiempo total disponible.

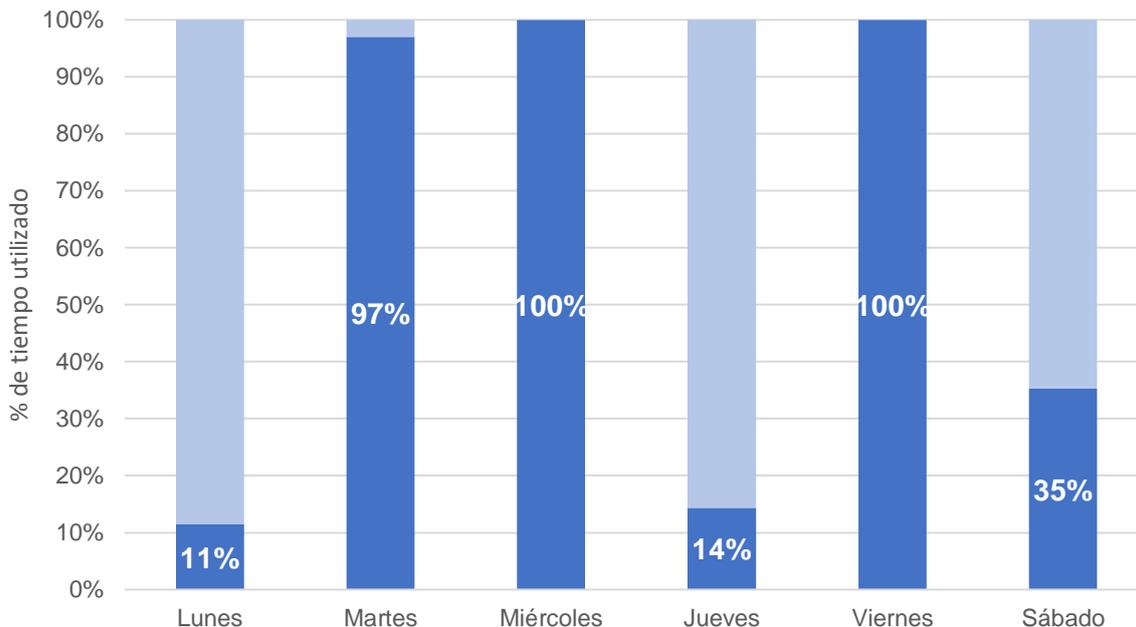


Figura 41. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E1 de la Etapa 1. Elaboración propia.

Es interesante notar que en esta instancia, los días martes, miércoles y viernes se hace uso de la totalidad del tiempo máximo disponible. Esto coincide con los días en los que se reciben reposiciones. Si se compara con el caso base, se observa que estos días están más sobrecargados, lo que se explica por el aumento del tamaño de la reposición.

Por otro lado, se desprende que existe un desbalance notorio en la asignación de tareas entre los días de reposición y los que no se repone, explicado por la cantidad de actividades asociadas a una reposición. Esto no se refleja de igual forma en la función objetivo, pues la misma considera la sumatoria semanal de tiempos. Los días en que no ocurre una reposición existe una proporción mucho menor de tiempo ocupado, pues únicamente entran en juego las operaciones de balance de inventario y movimientos internos de mercadería entre estanterías móviles y de alta rotación.

El hecho de que los sábados se tenga un porcentaje de utilización del tiempo mayor que los lunes y jueves, a pesar de no haber ninguna reposición, se debe a que los días sábado se cuenta con menos auxiliares de farmacia, y por tanto, el tiempo máximo disponible es menor.

#### 5.4.1.2. E2: Incorporación de demanda de SEIC

La mudanza de la farmacia del Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas (SEIC) desde el Instituto de Higiene donde funciona hoy en día, al edificio del Hospital Pasteur (HP) es algo que se está evaluando hace algunos años y es inminente su realización. De parte de Despacho Ambulatorio (DA) fue comunicado al equipo de trabajo que existía incertidumbre respecto a la capacidad de absorber la demanda que esto traería aparejado, puesto que las ventanillas de atención al público que hasta ahora funcionaban en el Instituto de Higiene se combinarían con las de DA.

Para la realización de este análisis de sensibilidad fue necesario incrementar el conjunto de SKUs, para incluir aquellos de SEIC que no se manejaban en DA hasta el momento. El

número de *SKUs* aumentó de 274 a 326. Además, a partir de un nuevo análisis ABC que considera los despachos de SEIC y los nuevos *SKUs*, se redefinieron los subconjuntos *A*, *B* y *C*, resultando en 86 *A*, 87 *B* y 153 *C*.

Respecto a los parámetros, se ajustaron la demanda  $d_{m,k}$  y el punto de pedido  $pp_m$  de acuerdo con los nuevos despachos y *SKUs*. Esto significó un aumento de demanda de 32% y un aumento de los puntos de pedido de 26%, como se verá en la sección 5.4.2.2.

Por la misma razón, se modificaron los parámetros de reposición interna  $xI_{m,k}$  y de stock en estanterías de alta rotación  $zI_{m,k}$ , pues fue necesario incluir los nuevos *SKUs* de rotación *A*. Para poder calcular estos parámetros, se debieron actualizar los valores de stock fijo deseado por *SKU* en estanterías de alta rotación considerando la máxima demanda diaria registrada en el período analizado del nuevo universo de *SKUs*.

En esta instancia, el modelo corrió durante 168 segundos hasta obtener una solución con un *gap* de optimalidad menor al 1%. La función objetivo tomó el valor de 85.741 segundos, un 25% mayor que la obtenida en el caso base. Este porcentaje no dista tanto de la variación a los parámetros de entrada  $d_{m,k}$  y  $pp_m$  (32% y 26% respectivamente).

Las reposiciones se mantuvieron los días martes, miércoles y viernes. En la Figura 42 se puede observar que esta decisión de no utilizar un día más para la reposición, implicó un aumento significativo del porcentaje de utilización del tiempo máximo disponible en dichos días.

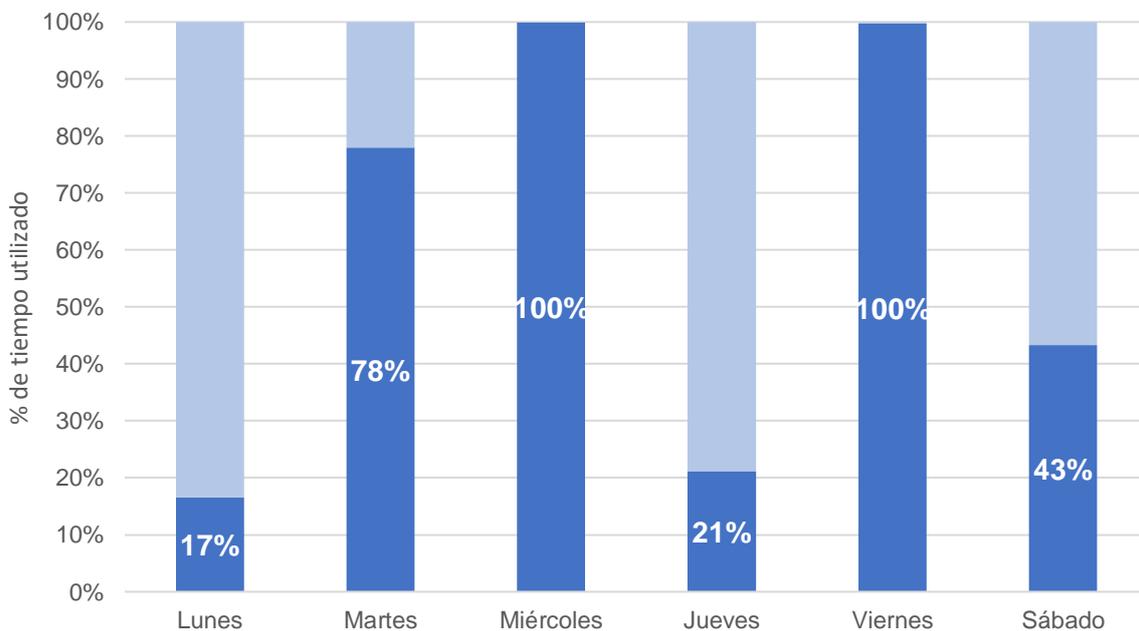


Figura 42. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E2 de la Etapa 1. Elaboración propia.

Se cumple que al igual que en E1, los días lunes, jueves y sábados se cuenta con una mayor holgura del tiempo máximo disponible, y los días de reposición se ocupa un gran porcentaje de tiempo, mayor que en el caso base.

Por último, si se desglosa la función objetivo por actividad, se desprende que si bien todas aumentaron sus tiempos totales, la que tuvo una mayor variación respecto al caso base es la de guardado y control tanto para los *SKUs* *A* como para los *B* y *C*.

### 5.4.1.3. E3: Aumento de *leadtime* de reposición

En esta oportunidad se estudia la posibilidad de que la reposición no se entregue el mismo día que se ordena sino que pueda arribar al día siguiente. Si bien este no es el mecanismo que se sigue actualmente en el Hospital Pasteur (HP), resulta interesante analizar cómo se verían afectados los tiempos, los niveles de stock y las reposiciones en estos casos.

Por lo tanto, en este análisis el parámetro  $LT$  tomó el valor de 1 día. Además, se redefinió el punto de pedido  $pp_m$  de acuerdo con la ecuación (2). Es relevante aclarar que para este cálculo, se utilizó un *leadtime* de 1,5 días, a diferencia del parámetro utilizado en el modelo. Esta diferencia se explica porque en la realidad las reposiciones se ordenan en la mañana pero se reciben por la tarde, por lo que si la reposición llega al día siguiente de haber sido ordenada, habrán transcurrido 1,5 días. Es necesario utilizar este valor para el cálculo de  $pp_m$  para evitar posibles faltantes de stock. Respecto al caso base el aumento total de punto de pedido fue del 53%.

El modelo corrió durante un día y la solución obtenida fue de 74.995 segundos, la que se encuentra a 2,15% de la solución óptima (*gap* de optimalidad). El esfuerzo computacional en este caso fue superior al resto de los escenarios, lo que se evidencia en una diferencia mayor entre la solución óptima y la arrojada luego del tiempo límite de un día.

Este resultado supone un aumento del 10% con respecto a la función objetivo del caso base. Son varios los términos que se ven afectados, pero principalmente la actividad de balance de *SKUs*, para las tres rotaciones. Además, si bien se trata de una variación menor, también se incurre en un tiempo extra por el hecho de reponer un día más a la semana. La solución plantea que ocurran reposiciones desde Depósito Central (DC) los días lunes, martes, miércoles y jueves. En este escenario no se permite emitir órdenes de reposición los viernes dado que los sábados el DC no cuenta con personal para trasladar la reposición.

En la Figura 43 se presenta el porcentaje de tiempo utilizado respecto al disponible a lo largo de la semana para este escenario.

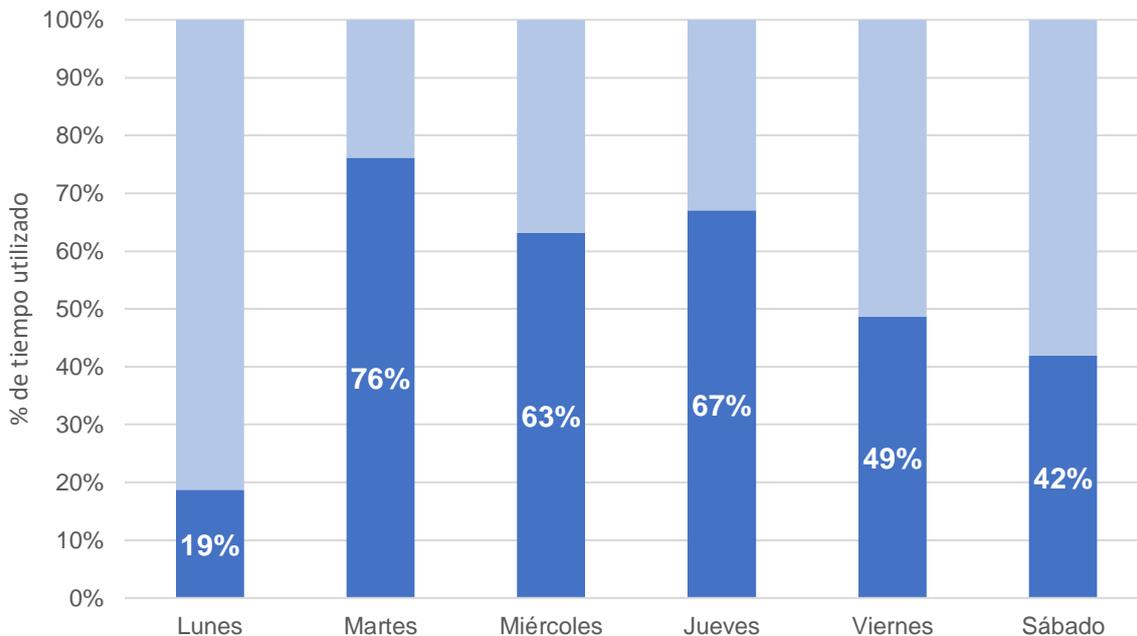


Figura 43. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E3 de la Etapa 1. Elaboración propia.

Si se analiza el porcentaje de tiempo utilizado por día de la semana, respecto al total disponible, se puede notar que se tiene una carga más balanceada que en el caso base. El día jueves se utiliza el 67% del tiempo máximo disponible, mientras que en el caso base era necesario utilizar únicamente un 17% (dado que no ocurría una reposición en ese día). Además, el día viernes la carga de trabajo se aliviana dado que no es necesario reponer el volumen que se reponía en el caso base. El miércoles también se ve más holgado debido a que, mientras que en el caso base el tamaño de la reposición representa el 47% de lo que se repone en la semana, en este escenario los tamaños de las reposiciones se reparten de forma mucho más equitativa entre los días de reposición.

#### 5.4.1.4. E4: Aumento de punto de pedido

En este escenario se buscó modificar la política definida en el caso base respecto al punto de pedido. En lugar de calcular el parámetro  $pp_m$  a partir de la ecuación (2) que considera la demanda durante el *leadtime* y su variabilidad, se definió como dos veces la demanda máxima registrada para cada *SKU* en el período de 8 meses analizado (demanda pico). En total, el punto de pedido aumentó un 184% con respecto al caso base, como se podrá observar en la sección 5.4.2.2. Si se distingue por rotación se tiene que en los tres casos el punto de pedido aumentó de forma pareja.

Se espera que esta política resulte en mayores tiempos de balances dado que se tendrán mayores niveles de inventario causados por el aumento de los puntos de pedido. Aun así, se entiende que con esta política más conservadora se podrían reducir los desabastecimientos, principalmente de los *SKU* de rotación C, que si bien sus salidas son en menor cantidad, también pueden ser críticos para los tratamientos de los pacientes. Además, este escenario podría ser de utilidad para reflejar el posible interés del hospital en aumentar los niveles de stock en Despacho Ambulatorio (DA) con el fin de liberar al Depósito Central (DC), que es un lugar muy pequeño y que en ocasiones se encuentra desbordado.

El modelo corrió durante 126 segundos y arrojó una función objetivo de 87.451 segundos que se puede afirmar que se encuentra a menos de un 1% de la solución óptima. La variación de la función objetivo respecto al caso base fue positiva, de un 28%. Si bien el aumento en los puntos de pedido fue mayor, los tiempos no aumentaron en la misma proporción sino en una relación mucho menor. Además, los días en que ocurre la reposición se mantienen invariantes respecto al caso base; los días martes, miércoles y viernes.

El aumento en los puntos de pedido se puede ver reflejado en la Figura 44, donde se presenta el nivel de stock total a almacenar a lo largo de la semana en DA.

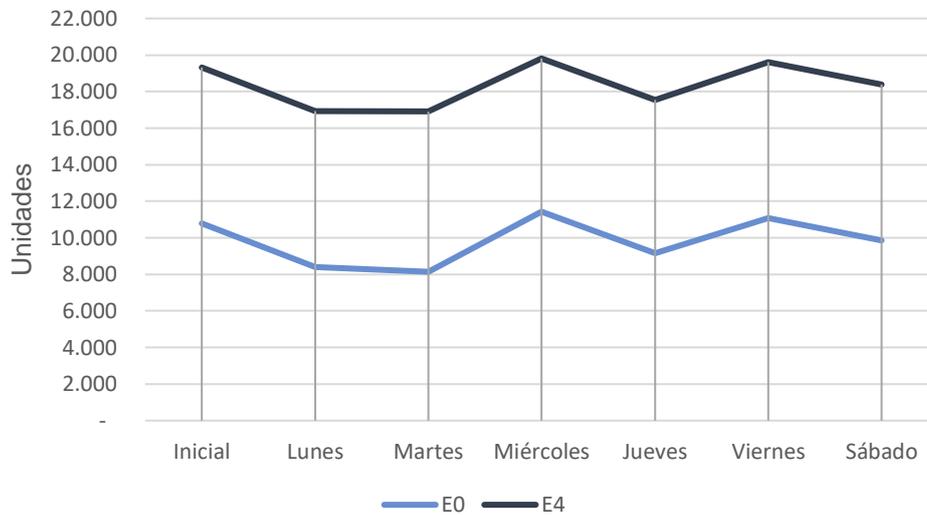


Figura 44. Comparación del nivel de stock total en DA a lo largo de la semana entre E0 y E4 de la Etapa 1. Elaboración propia.

Se puede observar que si bien se sigue la misma tendencia en cuanto al aumento de stock en los días de reposición, el nivel de stock en este escenario aumenta más de 50% con respecto al caso base. La mayor diferencia se da los días lunes y martes, en los que el stock en E4 se duplica.

En línea con lo comentado en los escenarios anteriores, si se analizan los tiempos invertidos en las actividades contempladas en el modelo, se tiene que los días miércoles y viernes se utiliza casi la totalidad del tiempo máximo disponible, siendo el día más crítico el miércoles. En la Figura 45 se ilustra lo mencionado.

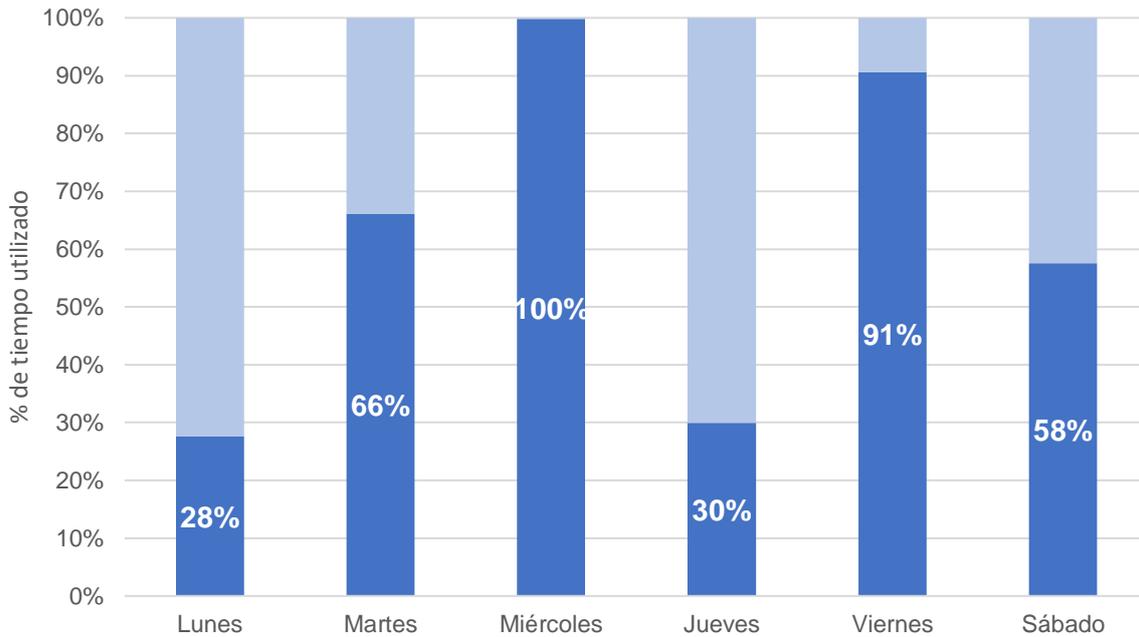


Figura 45. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E4 de la Etapa 1. Elaboración propia.

Se desprende de lo analizado en esta sección que la función objetivo del modelo no es particularmente sensible en términos de puntos de pedido. En este escenario y en el anterior se introduce un aumento significativo en este parámetro y sin embargo la función objetivo aumenta en proporciones mucho menores.

#### 5.4.1.5. E5: Ausencia del sistema *Two-Bin*

Fue de interés para el equipo de trabajo evaluar qué solución se obtendría si bajo las mismas condiciones que en el caso base, no se implementara el uso de paquetes. Este escenario significó algunas modificaciones en las variables y restricciones del problema, ya que todos los *SKUs* se pasaron a tratar de la misma forma, independientemente de su rotación.

Se volvió innecesaria la distinción de las variables correspondientes a *SKUs* A y *SKUs* B o C. Por lo tanto, ciertas variables se unificaron de la siguiente manera:

- $x_{A_{m,k}}$  y  $x_{BC_{m,k}}$  se unificaron en  $x_{m,k}$ .
- $z_{A_{m,k}}$  y  $z_{BC_{m,k}}$  se unificaron en  $z_{m,k}$
- $smax_{A_m}$  y  $smax_{BC_m}$  se unificaron en  $smax_m$ .

De la misma forma que para las variables, se unificaron aquellas restricciones que se desglosaban por rotación, extendiendo su dominio al conjunto  $M$  en su totalidad (sin distinguir entre A, B o C). Además, los parámetros vinculados al sistema *Two-Bin*  $xI_{m,k}$  y  $zI_{m,k}$  fueron eliminados del modelo para este escenario.

Para que la comparación con el caso base tenga validez y poder reflejar el stock que se desea mantener en las estanterías de alta rotación (representado en el caso base por el parámetro  $zI_{m,k}$ ), se decidió sumar en el parámetro  $pp_m$  el valor de la demanda pico en cada caso. Con esto se logra asegurar un nivel de stock en DA similar al del caso base, que aprovecha el espacio disponible y descongestiona las estanterías del Depósito Central.

Este escenario corrió durante 2.001 segundos hasta que encontró una solución que se encuentra dentro de un intervalo de 1% respecto a la óptima, en la que la función objetivo tomó el valor de 79.259 segundos.

Se observa una diferencia frente al caso base en la cantidad de días de reposición, sumando el día lunes. Es interesante observar que a pesar de reponer más veces en la semana, la distribución de carga de trabajo sobre los recursos es más pareja, como muestra la Figura 46.

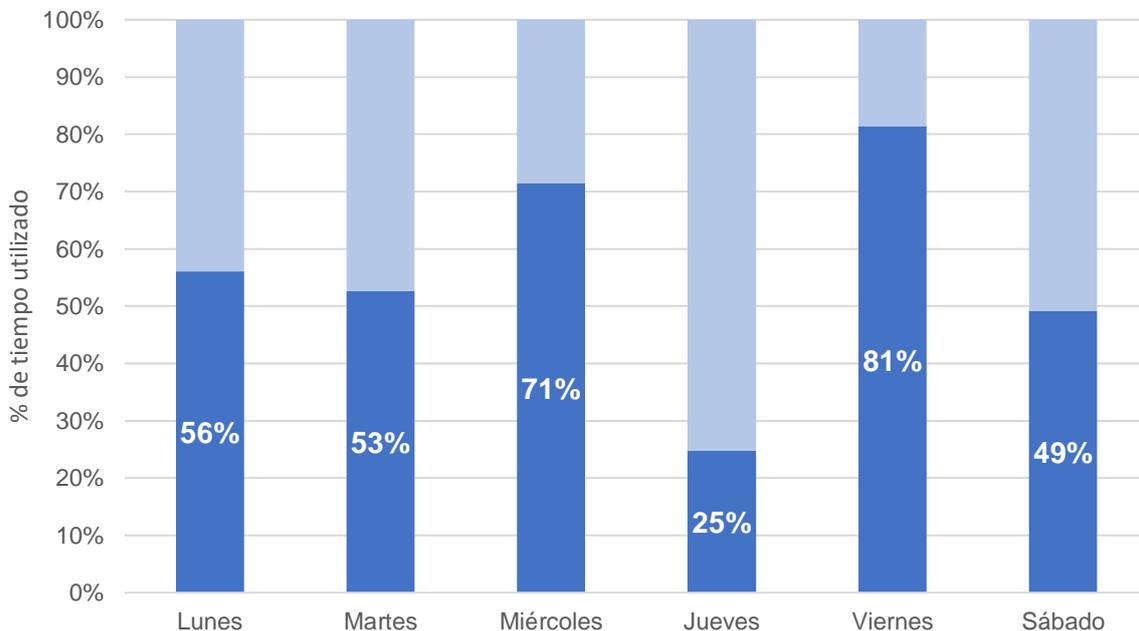


Figura 46. Porcentaje de tiempo utilizado sobre el total disponible por día de la semana: E5 de la Etapa 1. Elaboración propia.

De todas formas, se puede notar un incremento del 16% en la función objetivo respecto al caso base, lo que el equipo de trabajo encuentra coherente en el entendido de que para este escenario no se considera la posibilidad de contar por paquetes durante los balances diarios, sino que es necesario contar por unidad. En total se utilizaron para este escenario 22 horas, un 16% más que para el caso base.

En cuanto al impacto término a término en la función objetivo para este escenario respecto al caso base, se evidencia una gran paridad en los términos relacionados a rotaciones B y C, mientras que el término correspondiente al balance de medicamentos A duplica su valor. Finalmente la diferencia no es tan notoria en el resultado total debido a que el tiempo de guardado y control de reposiciones de A es un 20% menor que para el caso base, en parte debido a la no necesidad de empaquetar pero también debido a un menor nivel de stock en el sistema. Esta reducción en el nivel de stock es un resultado esperable ya que el balance de todos los SKUs en stock para este escenario deberá ser realizado por unidad, con el mayor tiempo que esto implica.

Es interesante notar cómo es preferible reponer un día más en lugar de mantener un nivel de stock mayor, pues es más costoso esto último. Evidencia de esto es que si se considera la sumatoria total del stock máximo para E5 frente al caso base, existe una reducción del 27% en la cantidad de cajas a guardar, reflejada casi en su totalidad por una disminución del nivel

de stock de *SKUs* de rotación A a mantener en estanterías. Por mayor detalle, se recomienda al lector referirse a la sección 5.4.2.3.

A modo de resumen, se puede concluir que el impacto del sistema *Two-Bin* en el tiempo semanal es positivo, permitiendo almacenar mayor cantidad de medicamentos con un menor tiempo requerido. El equipo de trabajo incita a implementar esta práctica en el corto o mediano plazo.

## 5.4.2. Comparación de resultados

En esta sección se presentarán los principales resultados de los escenarios de sensibilidad estudiados para el Modelo I y la comparación entre ellos. A modo de resumen se presenta en la Tabla 6 una comparativa entre las distintas corridas de los escenarios.

Es importante aclarar que la cota inferior refiere al menor valor que podría tomar la función objetivo dentro del dominio de búsqueda restante. A partir de esta cota, queda definido el *gap* de optimalidad como la diferencia porcentual entre el valor de la función objetivo y la cota inferior, tomando como referencia al primero.

Tabla 6. Resumen de corridas de los distintos escenarios de sensibilidad de la Etapa 1.

Escenario	Cota inferior (s)	Función objetivo (s)	Función objetivo (hs)	% <i>gap</i>	Tiempo de corrida (s)	Variación de la función objetivo
Actualidad	-	97.430	27,06	-	-	42,55%
<b>E0: Caso base</b>	<b>67.674</b>	<b>68.350</b>	<b>18,99</b>	<b>1,00%</b>	<b>80</b>	-
<b>E1: Mayor demanda de DA</b>	85.424	86.432	24,01	1,17%	86.411	26,45%
<b>E2: Demanda incrementada por SEIC</b>	84.884	85.741	23,82	1,00%	168	25,44%
<b>E3: Mayor lead-time de reposición</b>	73.386	74.995	20,83	2,15%	86.458	9,72%
<b>E4: Sobre stock para liberar depósito central</b>	86.581	87.451	24,29	1,00%	126	27,95%
<b>E5: Ausencia del sistema Two-Bin</b>	78.466	79.259	22,02	1,00%	2.001	15,96%

### 5.4.2.1. Tiempos de gestión de inventario

En primer lugar, si se comparan las funciones objetivo se tiene que todos los escenarios resultaron en un tiempo semanal mayor que el caso base. En los escenarios planteados este tiempo no supera en ningún caso las 24 horas semanales, mientras que en la actualidad se insume un tiempo total de 27 horas. Esto supone que, más allá de las distintas situaciones evaluadas, el modelo propuesto permitiría mejorar la gestión actual.

Desglosando por actividad, en la Figura 47 se representa cómo varía el peso de las actividades en la función objetivo de cada situación.

Partiendo del guardado y control de *SKUs* A en estanterías móviles, se puede observar que es la tarea de mayor peso en los escenarios 0 a 4, teniendo su máxima contribución en

E1 que es el de demanda aumentada. Esto es razonable dado que por tratarse de *SKUs* de mayor rotación, el stock a mantener es más elevado. Además, esta actividad, a diferencia del guardado y control de *SKUs* B y C, incluye el armado de paquetes.

En la actualidad y en E5 esta actividad tiene un peso menor, pues al no hacer uso del sistema *Two-Bin*, el guardado y control de *SKUs* A no incluye el armado de paquetes. Resulta interesante notar que, en la actualidad, el peso de esta actividad es aún menor dado que los valores de stock a mantener para los *SKUs* A son significativamente menores. En ambos casos, la tarea de mayor trascendencia es el balance de estos *SKUs* en estanterías de alta rotación, que tiene casi el doble de peso que en los otros escenarios. Esto se debe a que fue necesario asignar estos *SKUs* a la estantería de alta rotación para indicar que el balance se realiza por unidad y no por paquetes. Por lo tanto, el término de balance en estanterías móviles es nulo en estos casos.

La tarea de balance de *SKUs* A en estanterías de alta rotación tiene un peso significativo y equitativo en el resto de los escenarios (0 a 4). Esto se explica por el sistema *Two-Bin* planteado para la reposición a estas estanterías. Si se detiene en E1, el peso relativo asociado a balances disminuye puesto que se trata de una situación con demanda aumentada, que repercute directamente en una menor cantidad de stock que se debe controlar en los balances al final del día.

En cuanto a los *SKUs* B y C, la tarea de balance tiene un peso bastante parejo salvo para E4, en el que su contribución es de casi el doble que en el resto de los escenarios. La tarea de balance de los *SKUs* A en estanterías móviles presenta el mismo comportamiento. Este hecho se explica por el aumento en el parámetro  $pp_m$  que se pasa a definir igual a dos demandas pico. El comportamiento más esporádico de los *SKUs* B y C lleva a que este cambio en  $pp_m$  sea más pronunciado que en el caso de los *SKUs* A.

Se concluye que la relación entre el tiempo invertido en el guardado y control de *SKUs* B y C en comparación al balance, se invierte en el caso de los *SKU* A, lo que se asocia a la introducción de los paquetes.

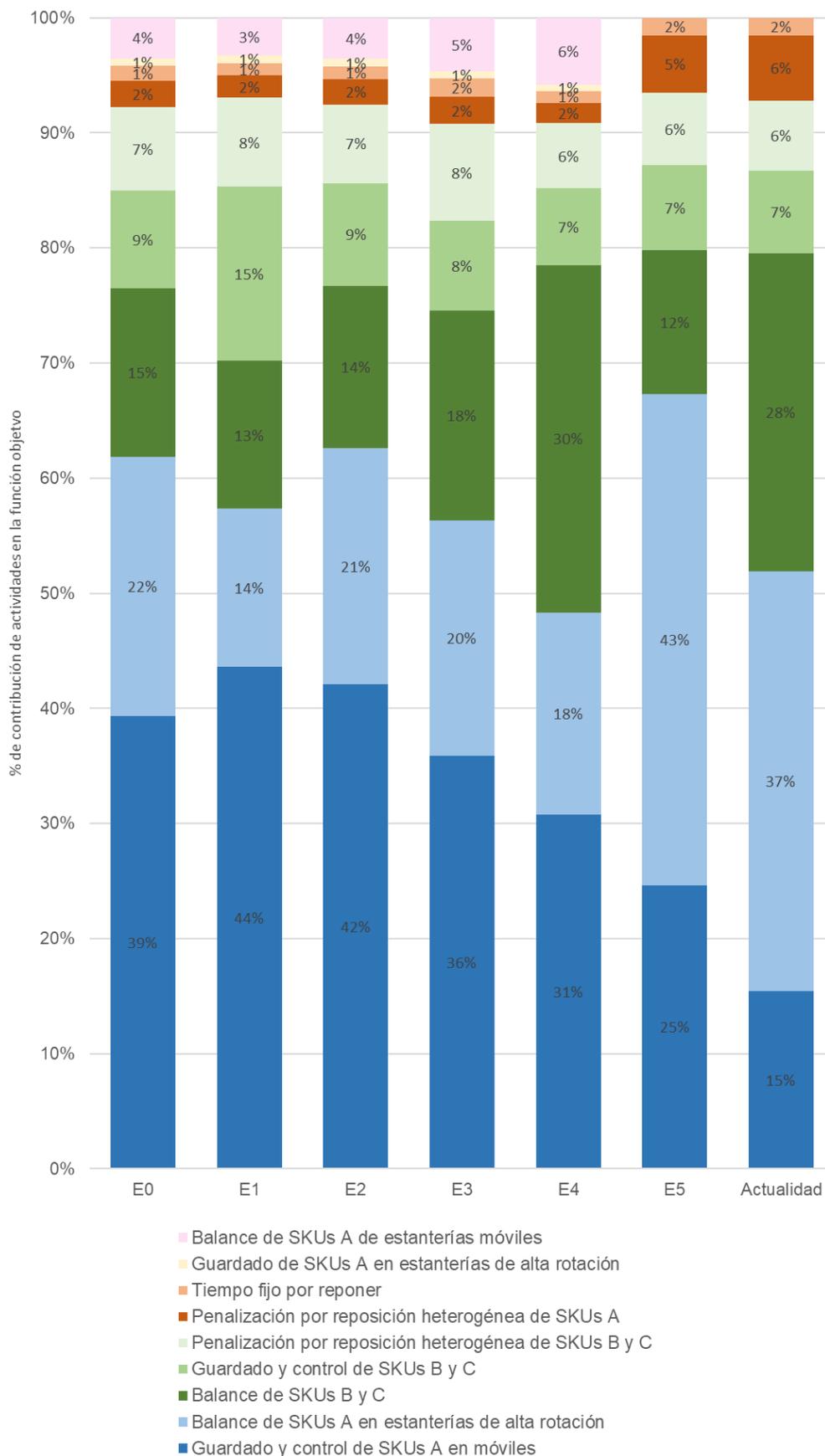


Figura 47. Contribución de actividades en la función objetivo de la Etapa 1 por escenario. Elaboración propia.

Si se observa la contribución de las penalizaciones por reposición heterogénea, estas no presentan grandes variaciones de un escenario a otro, a excepción de E5 y actualidad. En el primer caso se repone con mayor frecuencia dado que no se cuenta con la posibilidad de utilizar paquetes para aliviar la carga de balances, lo que repercute en tener reposiciones más heterogéneas. En el segundo caso, debido al sistema de gestión de inventarios que se utiliza, todos los *SKUs* se reponen de forma frecuente y en bajas cantidades.

Por último, de la Figura 47 se desprende que las actividades de recepción de la reposición y guardado de *SKUs* A en estanterías de alta rotación son las de menor influencia en la función objetivo. En suma, el análisis realizado permite concluir que para disminuir los tiempos de gestión de inventarios se deben atacar los balances de inventario y el guardado y control de *SKUs*.

#### 5.4.2.2. Parámetros de entrada

En la Figura 48 y Figura 49 se presenta una comparación de la demanda semanal y el punto de pedido respectivamente, respecto al caso base.

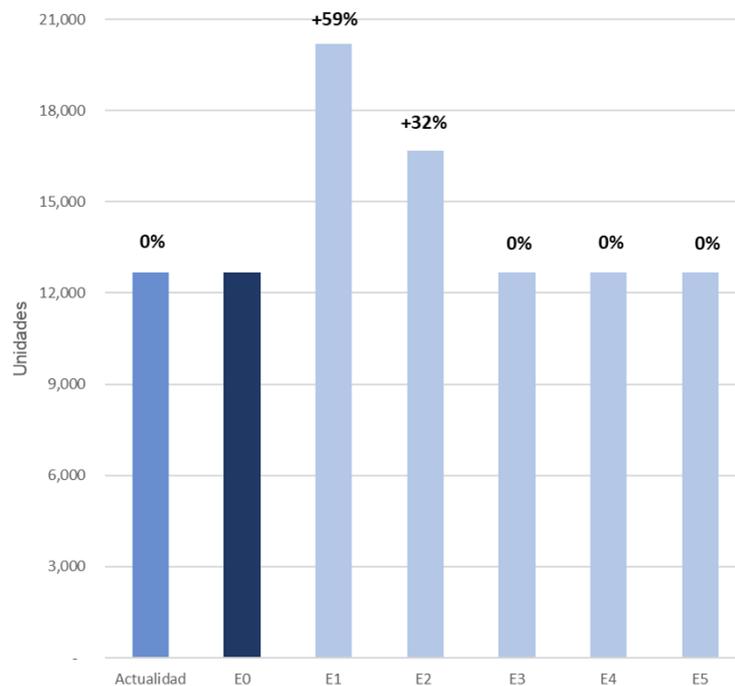


Figura 48. Comparación de demanda semanal respecto a E0 de la Etapa 1. Elaboración propia.

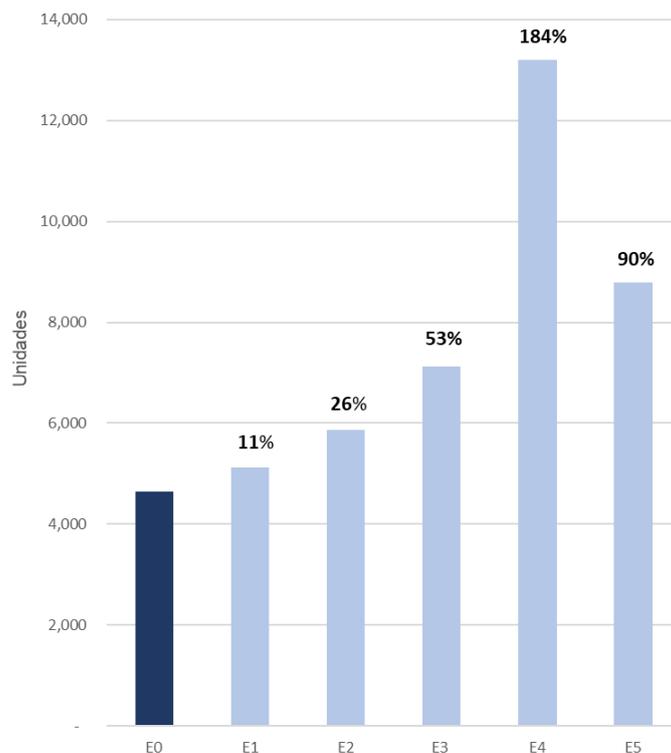


Figura 49. Comparación de puntos de pedido respecto a E0 de la Etapa 1. Elaboración propia.

Si se observan únicamente aquellos escenarios en los que se da un aumento en la demanda semanal (E1 y E2), se puede notar que en E1 el aumento de demanda con respecto al caso base es mayor que en E2 (59% versus 32%). Esto implica que el volumen de reposición desde Depósito Central a lo largo de la semana sea mayor en E1 que en E2, provocando un aumento más significativo en los tiempos de guardado y control en el primer caso. Aun así, este aumento de demanda supone que los niveles de stock en las estanterías de alta rotación al final de cada día sean menores en E1 que en E2, disminuyendo la cantidad de stock a contar (tiempo de balance).

En cuanto a los puntos de pedido, se observa un incremento del 11% en E1 mientras que en E2 este es del 26%. Este parámetro afecta los tiempos de balance en estanterías de baja rotación y móviles pues implica un mayor nivel de stock en las mismas. En suma, estas variaciones se compensan y la función objetivo resulta similar en ambos casos, con un aumento respecto a E0 del 26% en E1 y 25% en E2.

Analizando los puntos de pedido para los cinco escenarios planteados estos totalizan valores diferentes. En E2 este aumento se da lógicamente por un aumento en la cantidad de SKUs y en E5 por la consideración especial de almacenar una reserva de stock significativa para los SKUs de rotación A. En E3 el aumento de este parámetro se debe a que el *leadtime* considerado es mayor al del caso base, incidiendo directamente en el cálculo del punto de pedido. El E4 es el escenario que presenta una mayor variación respecto a E0, lo que se puede ver directamente reflejado en la función objetivo ya que esta alcanza el máximo valor.

### 5.4.2.3. Niveles de stock

La Figura 50 presenta el nivel de stock máximo que podría alcanzarse según cada escenario, en unidades.

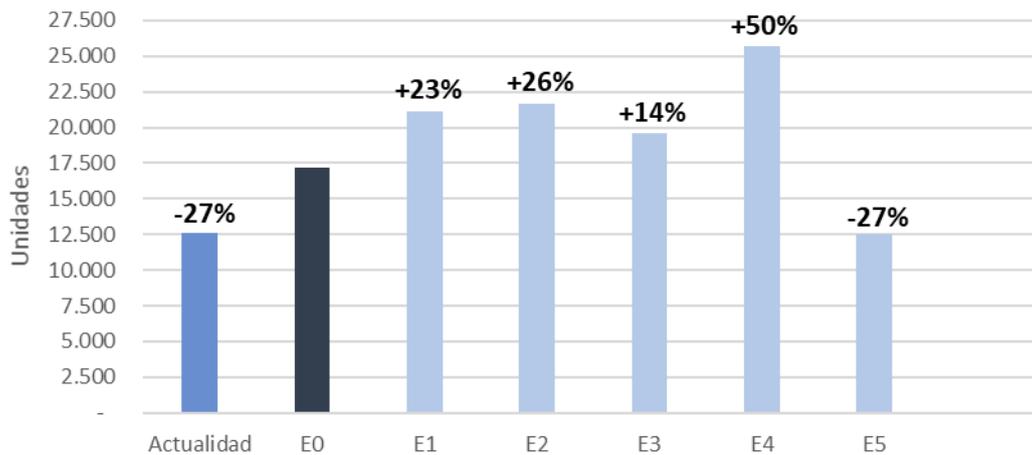


Figura 50. Nivel de stock máximo en DA para la Etapa 1. Elaboración propia.

Si bien se constata que en todos los escenarios se permitiría mantener un nivel de stock mayor o igual a los valores máximos de la actualidad, no se observa este aumento en los tiempos. En ningún caso el tiempo invertido superó al estimado para la situación actual. Se concluye que es posible lograr un mayor nivel de servicio sin tener que invertir más tiempo para lograrlo.

Resulta llamativo notar que E4 es el escenario que implica el mayor nivel de inventario. Esto es coherente ya que se aumentaron los puntos de pedido con el fin de descongestionar al Depósito Central. Es curioso observar que en E5, si bien existen variaciones significativas en los valores de stock máximo de cada SKU, el nivel de stock total se termina equiparando con el de la actualidad. Incluso manteniendo los mismos niveles de stock y sin hacer uso de paquetes, en E5 se logra invertir un menor tiempo que en la situación actual. Se evidencia que la implementación de un sistema Mín-Máx de gestión de inventarios (ver 2.2.2) y el atenerse a sus reglas de decisión tiene un impacto significativo en los tiempos.

En la Figura 51 se presenta el porcentaje de ocupación de DA en términos de volumen por día de la semana para todos los escenarios. Para mayor detalle el lector puede referirse a

## Anexo X: Volumen ocupado por estantería a lo largo de la semana.

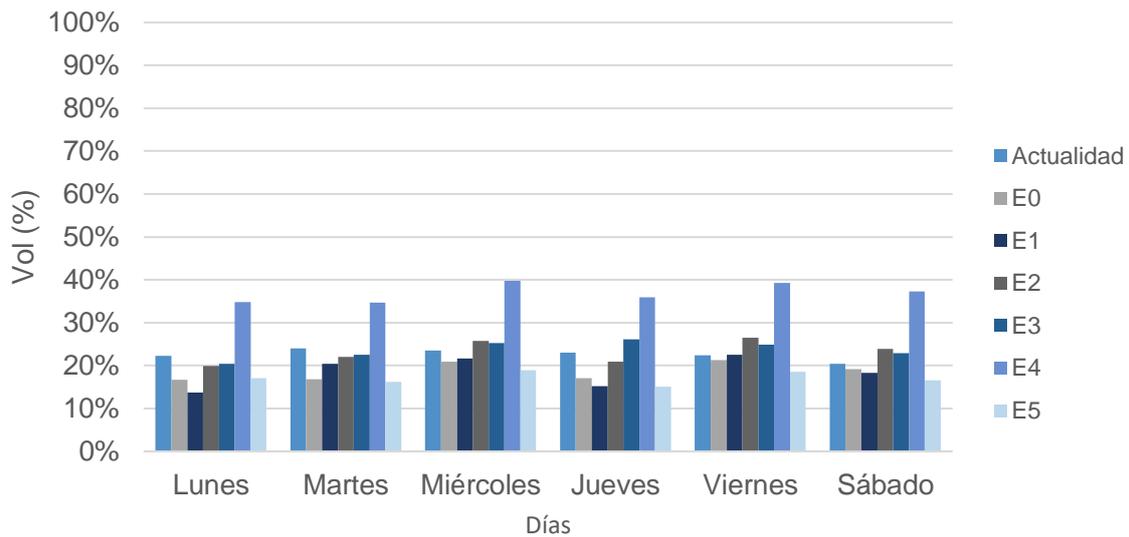


Figura 51. Volumen ocupado en DA por día de la semana para la Etapa 1. Elaboración propia.

Tal como se adelantó en la sección 5.3.1, el porcentaje de ocupación de estanterías a lo largo de la semana es realmente bajo; se tiene más del 50% de espacio libre en todos los casos, incluso en la situación actual. Esto indica que la ubicación actual de DA, luego de su traslado a comienzos de 2020, permite albergar mucho más stock del necesario, pudiendo dedicar el espacio libre para otras aplicaciones.

Se puede notar que los niveles de volumen ocupado se mantienen bastante parejos entre los escenarios, a excepción de E4 en el que se observa un aumento significativo. Esto es coherente con lo analizado previamente sobre el aumento de los puntos de pedido de los SKUs.

Entrando en mayor detalle, se constata un leve incremento en la ocupación los días miércoles y viernes, coincidente con los días de reposiciones más abultadas. Esto se condice con los mayores niveles de utilización del tiempo máximo disponible de los auxiliares de farmacia en dichos días.

En la Figura 52, se puede observar el porcentaje de ocupación promedio de cada estantería en los escenarios planteados. Cabe mencionar que para E5, todos los SKUs de alta rotación son almacenados únicamente por unidad, por lo que, por simplicidad del modelo, se decidió considerar un solo tipo de estantería para su almacenamiento (estanterías de alta rotación).

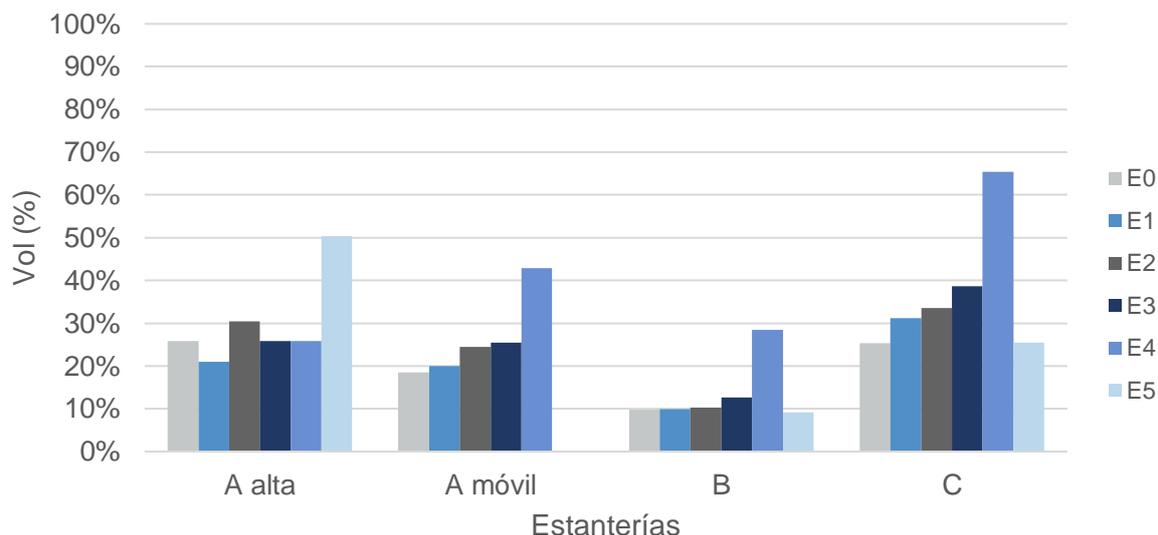


Figura 52. Volumen promedio diario ocupado por estantería para la Etapa 1. Elaboración propia.

En primer lugar, se observa que los *SKUs* de rotación C son los que presentan el mayor porcentaje de ocupación, mientras que los *SKUs* de rotación B tienen niveles de ocupación muy bajos. Esto es coherente dado que el volumen otorgado para *SKUs* C fue el de menor tamaño (0,94 m<sup>3</sup>), correspondiendo únicamente a un frente de las estanterías móviles. Las estanterías para *SKUs* B ocupan 2,5 m<sup>3</sup> y el volumen disponible para los A es de 4,7 m<sup>3</sup> en las móviles y 2,7 m<sup>3</sup> en zona de ventanillas. Respecto a los *SKUs* A, se observa un porcentaje de ocupación similar en ambas estanterías.

Es interesante señalar el incremento escalonado que se observa entre los escenarios 0 a 4 en todas las estanterías, a excepción de las de alta rotación. Este escalonamiento el equipo de trabajo lo encuentra coherente con las situaciones planteadas en cada escenario; en E1 se presenta un incremento de demanda respecto al E0, mientras que sucede lo mismo para E2 respecto a E1 y E0, donde se aumentan tanto las demandas como la cantidad de *SKUs* a manejar. Por su parte, E3 precisa mantener más días de stock para poder cumplir con el servicio, debido al impedimento de no poder reponer ni viernes ni sábado. Finalmente, E4 mantiene niveles más elevados de stock por haber sido planteado con una exigencia de puntos de pedido más elevados, que lo obligan a mantener más llenas las estanterías de DA.

## 6. Etapa 2

En esta sección se presenta el modelo propuesto para la Etapa 2, partiendo por su formulación matemática. Luego se detalla cómo se adecuaron los datos relevados y qué supuestos fueron considerados en cada caso. A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos para el caso base, y se propone una extensión del mismo. Finalmente, se incluyen cinco escenarios de sensibilidad para estudiar variaciones en la solución ante cambios en la demanda y en la estructura de la cabina.

### 6.1. Modelo matemático

El objetivo de este modelo matemático consiste en distribuir de forma óptima una cantidad fija de *slots* (o canaletas) dada una grilla de posibles posiciones, buscando priorizar los *slots* según su rotación de forma de lograr que el manipulador de dispensación del sistema robotizado recorra la menor distancia posible durante su operación.

El problema de optimización se modela como un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP), siendo entonces de la misma naturaleza que el Modelo I. Se trata de un problema de optimización lineal entero mixto pues combina variables de decisión continuas y discretas en su formulación.

#### 6.1.1. Conjuntos

- $C$ : conjunto de columnas.
- $F$ : conjunto de filas.
- $T$ : conjunto de talles.
- $R$ : conjunto de rotaciones.
- $FT$ : conjunto de pares  $f \in F, t \in T$ .

#### 6.1.2. Parámetros

- $nC$ : cantidad de columnas.
- $nF$ : cantidad de filas.
- $ancho_t$ : ancho del *slot* de talle  $t \in T$ .
- $alto_t$ : alto del *slot* de talle  $t \in T$ .
- $Lmax$ : largo útil máximo de la cabina.
- $Hmax$ : altura útil máxima de la cabina.
- $S_{t,r}$ : cantidad necesaria de *slots* de talle  $t \in T$  y rotación  $r \in R$ .
- $\alpha_r$ : penalización según rotación  $r \in R$ .
- $Lboca$ : posición horizontal del centro de la boca de dispensación.
- $Hboca$ : posición vertical de la boca de dispensación.

- $M1$ : numero grande para restricción (36) calculado como la mayor distancia de acceso posible;  $M1 = \max(\alpha_{r \in R}) \cdot (Lmax + Hmax) \cdot \frac{1}{2}$ .
- $M2$ : numero grande para restricción (53), definido como  $M2 = nC$ .

### 6.1.3. Variables

De forma análoga a lo presentado para el Modelo I, las variables utilizadas en el modelo se dividen en dos categorías: de decisión, que son definidas por el modelo y otras variables que quedan determinadas por las anteriores.

#### 6.1.3.1. Variables de decisión independientes

- $x_{c,f,t,r}$ : variable de decisión binaria que vale 1 si la posición  $c \in C \setminus \{0\}$ ,  $f \in F$  está ocupada por un talle  $t \in T$  de rotación  $r \in R$ , y 0 si no, con  $(f, t) \in FT$ .
- $w_{0,f}$ : ancho de la posición inicial de cada fila para  $c = 0$ ,  $f \in F \setminus \{0\}$ .
- $h_0$ : altura de la fila inicial  $f = 0$ .

#### 6.1.3.2. Otras variables

- $w_{c,f}$ : ancho de la posición  $c \in C \setminus \{0\}$ ,  $f \in F \setminus \{0\}$ .
- $h_f$ : altura de la fila  $f \in F \setminus \{0\}$ .
- $wsuma_{c,f}$ : variable auxiliar para definir  $y_{c,f}$ ,  $c \in C$ ,  $f \in F \setminus \{0\}$ .
- $hsuma_f$ : variable auxiliar para definir  $z_{c,f}$ ,  $f \in F$ .
- $y_{c,f}$ : distancia horizontal de la posición  $c \in C \setminus \{0\}$ ,  $f \in F \setminus \{0\}$  al centro de la boca de dispensación.
- $z_f$ : distancia vertical de la fila  $f \in F \setminus \{0\}$  a la boca de dispensación.
- $filas_f$ : variable auxiliar binaria que vale 1 si se ubica al menos un *slot* en la fila  $f \in F \setminus \{0\}$ , 0 si no.
- $d_{c,f,r}$ : distancia del *slot* de rotación  $r \in R$  en la posición  $c \in C \setminus \{0\}$ ,  $f \in F \setminus \{0\}$  a la boca de dispensación.

La Figura 53 ilustra algunos de los parámetros y variables que refieren a la estructura de la cabina y a los *slots*.



1. Restringir el dominio de la variable de decisión  $x_{c,f,t,r}$  para que no todas las filas estén disponibles para todos los talles, estableciéndose el conjunto  $FT$  de pares  $f \in F, t \in T$ . Los *slots* de talle  $t$  podrán ubicarse en la fila  $f$  únicamente si el par  $(f, t) \in FT$ . Esto se estableció en el entendido de que luego de varias corridas se comprobó que es óptimo ubicar los talles de mayor altura en la periferia. Con esto el modelo logra un mejor desempeño en cuanto a tiempos de ejecución, manteniendo buenas soluciones.
2. Limitar la cantidad de columnas ( $nC$ ) y filas ( $nF$ ), ya que estos parámetros determinan los espacios vacíos (u opciones) que tendrá el *solver* para decidir la ubicación de los *slots*. Para esto se partió de una cantidad disponible de ubicaciones igual a la cantidad necesaria, para luego ir aumentando de forma incremental las posiciones disponibles hasta un valor que no enlenteciera demasiado la resolución.
3. Incluir restricciones que reduzcan las simetrías del problema causadas por la posibilidad de asignar a una posición dimensiones nulas. Esto último es consecuencia de que la cantidad de posiciones otorgadas al modelo supera la cantidad de *slots* a ubicar, por lo que las posiciones  $(c, f)$  que queden sin ocupar podrían ubicarse en cualquier punto de la matriz  $C \times F$ .
4. Incorporar un ruido aleatorio al ponderador  $\alpha_r$  para intentar desambiguar las soluciones, haciendo uso de la función  $Uniform(a, b)$ , que genera un número aleatorio en el intervalo  $[a, b)$ .
5. Fijar los parámetros  $M1$  y  $M2$  como el mínimo valor posible tal que las restricciones que los incluyen cumplan su función. Esto es así en el entendido de que cuanto mayor es el valor de  $M1$  o  $M2$ , mayor el espacio de búsqueda de soluciones del *solver*, lo que repercute en el tiempo de ejecución.

### 6.1.5. Formulación del Modelo II

$$\min \sum_{c=1}^C \sum_{f=1}^F \sum_R d_{c,f,r} \quad (35)$$

s.a:

$$d_{c,f,r} + M1 \cdot (1 - \sum_{T:(f,t) \in FT} x_{c,f,t,r}) - (y_{c,f} + z_f) \cdot (\alpha_r + \text{uniform}(0,0.001)) \geq 0, \forall c \in C, \forall f \in F, \forall r \in R: c > 0 \wedge f > 0 \quad (36)$$

$$y_{c,f} \geq w\text{suma}_{c-1,f} + \frac{1}{2}w_{c,f} - L\text{boca}, \forall c \in C, \forall f \in F: c > 0 \wedge f > 0 \quad (37)$$

$$y_{c,f} \geq -w\text{suma}_{c-1,f} - \frac{1}{2}w_{c,f} + L\text{boca}, \forall c \in C, \forall f \in F: c > 0 \wedge f > 0 \quad (38)$$

$$z_f \geq h\text{suma}_{f-1} - H\text{boca}, \forall f \in F: f > 0 \quad (39)$$

$$z_f \geq -h\text{suma}_{f-1} + H\text{boca}, \forall f \in F: f > 0 \quad (40)$$

$$w_{c,f} = \sum_R \sum_{T:(f,t) \in FT} x_{c,f,t,r} \cdot \text{ancho}_t, \forall c \in C, \forall f \in F: c > 0 \wedge f > 0 \quad (41)$$

$$h_f \geq \sum_R \sum_{T:(f,t) \in FT} x_{c,f,t,r} \cdot \text{alto}_t, \forall c \in C, \forall f \in F: c > 0 \wedge f > 0 \quad (42)$$

$$w\text{suma}_{c,f} = w\text{suma}_{c-1,f} + w_{c,f}, \forall c \in C, \forall f \in F: c > 0 \wedge f > 0 \quad (43)$$

$$h\text{suma}_f = h\text{suma}_{f-1} + h_f, \forall f \in F: f > 0 \quad (44)$$

$$w\text{suma}_{nC,f} \leq L_{\max}, \forall f \in F: f > 0 \quad (45)$$

$$h\text{suma}_{nF} \leq H_{\max} \quad (46)$$

$$\sum_{c \in C, c > 0} \sum_{F:(f,t) \in FT} x_{c,f,t,r} = S_{t,r}, \forall t \in T, \forall r \in R \quad (47)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{T:(f,t) \in FT} x_{c,f,t,r} \leq 1, \forall c \in C, \forall f \in F: c > 0 \quad (48)$$

$$w\text{suma}_{0,f} = w_{0,f}, \forall f \in F: f > 0 \quad (49)$$

$$h\text{suma}_0 = h_0 \quad (50)$$

$$\sum_{T:(f,t) \in FT} \sum_R x_{c,f,t,r} \geq \sum_{T:(f,t) \in FT} \sum_R x_{c+1,f,t,r}, \forall c \in C, \forall f \in F: c > 0 \wedge f > 0 \wedge c < nC \quad (51)$$

$$\text{filas}_f \geq \text{filas}_{f+1}, \forall f \in \text{FILAS}: f > 0 \wedge f < nF \quad (52)$$

$$M2 \cdot \text{filas}_f \geq \sum_{c \in C, c > 0} \sum_{T:(f,t) \in FT} \sum_R x_{c,f,t,r}, \forall f \in F: f > 0 \quad (53)$$

$$\text{filas}_f \leq \sum_{c \in C, c > 0} \sum_{T:(f,t) \in FT} \sum_R x_{c,f,t,r}, \forall f \in F: f > 0 \quad (54)$$

$$w_{c,f} \geq 0, \forall c \in C, \forall f \in F: f > 0 \quad (55)$$

$$h_f \geq 0, \forall f \in F \quad (56)$$

$$d_{c,f,r} \geq 0, \forall c \in C, \forall f \in F, r \in R: c > 0 \wedge f > 0 \quad (57)$$

$$x_{c,f,t,r} \in \{0,1\}, \forall c \in C, f \in F, t \in T, r \in R: c > 0 \wedge (f,t) \in FT \quad (58)$$

$$filas_f \in \{0,1\}, \forall f \in F: f > 0 \quad (59)$$

La función objetivo (35) busca minimizar la distancia que debe recorrer el manipulador para trasladarse hasta la ubicación de cada *slot* desde la boca (punto de reposo). En (36) se define la distancia a cada *slot* haciendo uso de la técnica BIG M; cuando la variable  $x_{c,f,t,r}$  toma el valor de 1, indicando que la posición  $(c, f)$  está ocupada, la distancia al *slot* queda definida por la suma de las distancias horizontal y vertical a la boca. En otro caso, la distancia es acotada inferiormente por un valor negativo, lo que le permite a la variable  $x_{c,f,t,r}$  tomar el valor de cero y no generar un impacto en la función objetivo.

Las familias de restricciones (37) y (38) definen la distancia horizontal hasta la posición  $(c, f)$  como el valor absoluto de la diferencia entre la posición horizontal de la boca y el centro de la posición, calculado como la suma de la distancia hasta la posición anterior más la mitad del ancho del *slot* a ubicar en  $(c, f)$ . De la misma manera, las familias de restricciones (39) y (40) definen la distancia vertical hasta la posición  $(c, f)$  como el valor absoluto de la diferencia entre la posición vertical de la boca y la altura acumulada hasta la fila anterior al *slot*.

El ancho de la posición se define en (41) y toma el valor del ancho definido para el talle que se decida asignar a esa posición. En (42) se define el alto de la fila como el máximo de los altos de los talles asignados a las posiciones de dicha fila.

En (43) se define la variable auxiliar  $wsuma_{c,f}$  como la suma del acumulado de los anchos hasta la posición anterior y el ancho de la posición en cuestión. De forma análoga, en (44) se define la variable auxiliar  $hsuma_f$  como la suma del acumulado de los altos hasta la fila anterior y el alto de la fila en cuestión.

Las restricciones (45) y (46) establecen el espacio útil máximo de la cabina para que sus dimensiones finales no excedan el espacio físico disponible en el Despacho Ambulatorio (DA). Para un mayor entendimiento de lo descrito hasta el momento se recomienda al lector referirse a la Figura 53.

En cuanto a la familia de restricciones (47), esta asegura que se ubique exactamente la cantidad necesaria de *slots* de talle  $t$  y rotación  $r$ . En (48) se establece que se pueda ubicar como máximo un *slot* en cada posición.

La familia de restricciones (49) inicializa la variable auxiliar  $wsuma_{0,f}$ , definiéndola igual al ancho de la columna inicial para cada fila  $(w_{0,f})$ . Análogamente, la restricción (50) iguala la variable auxiliar  $hsuma_0$  al alto que tendrá la fila inicial  $(h_0)$ . Estas restricciones se utilizan para darle al modelo la libertad de comenzar a ubicar *slots* con margen respecto de los extremos de la cabina, de forma tal de poder posicionarlos alrededor de la boca.

Las familias de restricciones (51) y (52) fuerzan a que solamente puedan existir posiciones vacías ( $x_{c,f,t,r} = 0$ ) en los extremos de las filas y columnas, lo que asegura la continuidad tanto a lo ancho como a lo alto de la cabina.

Las restricciones (53) y (54) se utilizan para activar la variable auxiliar  $filas_f$ . En (53) se asegura que, si se ubicó algún *slot* en la fila  $f$ , entonces la variable  $filas_f$  debe valer 1. Mientras que en (54) se fuerza a que si no se ubicó ningún *slot* en la fila  $f$ , entonces la variable  $filas_f$  debe ser 0.

Finalmente, las familias de restricciones (55) a (59) definen los dominios de las variables, tanto binarias como reales, que forman parte del problema.

## 6.2. Procesamiento de datos

Para plantear el modelado del sistema de cabina inclinada fue necesario en primer lugar determinar qué medicamentos se procesarán para su dispensación en el sistema automatizado. En cuanto a la estructura de la cabina, se debió definir la inclinación de las canaletas, las dimensiones máximas y la ubicación de la boca de dispensación. Además, se debieron relevar las tres dimensiones de los envases de los medicamentos y la frecuencia de dispensación de los mismos. El cometido de esta sección es presentar el estudio llevado a cabo para el acondicionamiento de los datos previo a su utilización en el modelo.

### 6.2.1. Análisis ABC

En primer lugar, debido a la naturaleza de la cabina automatizada y el manipulador presentados en la sección 3.2.2.1, se debió limitar el universo de *SKUs* únicamente a aquellos con presentación secundaria caja. Otros tipos de presentaciones (como ser ampollas de vidrio, botellas o bolsas) presentan dificultades para su manipulación debido a su fragilidad o forma irregular. Esta discriminación redujo el total de *SKUs* a 245.

Posteriormente, se planteó de forma análoga a 5.2.1 el análisis ABC de los *SKUs* considerados, basado en el número de despachos de cada uno durante el período analizado.

El resultado de este análisis ABC arrojó que 69 *SKUs* son de rotación A, 68 de rotación B y los 108 restantes corresponden a rotación C. La distribución porcentual respecto al total de *SKUs* considerado para este escenario indica que el 28% corresponde a rotación A, el 28% a B y el restante 44% a *SKUs* de rotación C.

### 6.2.2. Dimensionado de la cabina

Al hablar de las dimensiones que tendrá la cabina, en primer lugar es necesario definir la inclinación que tendrán las canaletas. Al respecto, en [42] se estudia el rozamiento de cajas de medicamentos sobre diferentes superficies, como acero, vidrio, madera y teflón. Para la caja más liviana en la superficie más rugosa se determinó que la inclinación mínima para que deslice era de 22° [42]. Por otra parte, en [43] se estudia una cabina inclinada en la que las canaletas se instalan a 20°. La propuesta del equipo de trabajo es de tomar como inclinación 22°, en el entendido de que este valor cumple con las necesidades del caso de estudio.

En cuanto a las dimensiones máximas que podría tener, es importante establecer sus posibles ubicaciones dentro de Despacho Ambulatorio (DA). Se plantean a continuación dos

opciones a las que se arribó luego de estudiar el layout presentado en Anexo V: Layout Hospital Pasteur.

En los intercambios con el hospital se le consultó a la arquitecta responsable sobre la posibilidad de hacer modificaciones en la pared que separa los dos ambientes mencionados en 3.1.3., con el objetivo de que estos ambientes se puedan conectar de forma directa, sin tener que hacer uso del pasillo. La respuesta fue que, sería posible perforar la pared para hacer uso de un vano de 80 cm que existe. Si se deseara ampliar aún más el pasaje, se tendría que realizar un estudio de refuerzo estructural, dado que es un muro portante que sostiene la estructura de los pisos superiores del edificio.

La primera idea que se plantea es ubicar la cabina en el ambiente de ventanillas descrito en la sección 3.1.3, haciendo uso del pasaje mencionado anteriormente. Se entiende que, dado que este ambiente es el más cercano al público, se lograría la mayor rapidez a la hora de entregar un pedido al usuario.

Un ejemplo de cómo sería la configuración del sistema se puede ver representado en la Figura 54:



Figura 54. Posible ubicación de la cabina en zona de ventanillas.  
Adaptado de Anexo V: Layout Hospital Pasteur

Se pasaría a utilizar el espacio donde antes se almacenaban las estanterías de alta rotación, dado que estas ya no son necesarias. El armario que almacena medicamentos psicofármacos y estupefacientes podría trasladarse al segundo ambiente de DA, junto con la heladera que almacena medicamentos refrigerados. La estantería auxiliar podría permanecer ubicada en el mismo ambiente, en la ubicación en la que se encuentra hoy (junto a la puerta de entrada) y utilizarse para almacenar aquellos medicamentos de mayor rotación que no puedan ser almacenados dentro de la cabina, como ser ampollas o frascos.

Considerando que se mantenga un espacio de movilidad razonable detrás de las sillas de atención al público, se buscó ubicar la cabina contra la pared lindera con el segundo ambiente. Con el objetivo de no entorpecer el paso de los auxiliares de un ambiente a otro, se consideró que la cabina podría ocupar un largo máximo de 300 cm. En los extremos de la misma se decidió dejar un margen de 15 cm a cada lado para asegurar el correcto desplazamiento de los manipuladores y contemplar las separaciones entre las canaletas. Con esto, el largo máximo útil de la cabina se fijó en 270 cm, lo que constituye el parámetro  $L_{max}$ . En cuanto a la profundidad de las canaletas, analizando lo utilizado en el mercado y lo presente en otros estudios (ver Anexo I: Resumen de proveedores) y considerando el tamaño disponible en DA, esta se fijó en 100 cm.

Por otro lado, para la definición del alto máximo útil  $H_{max}$ , se debió considerar la restricción de altura que supone el techo del ambiente, que es de 250 cm. Además, para asegurar que el manipulador de despacho pueda acceder a los *slots* de la primera fila ocupada desde el suelo, independientemente de donde resulte ubicada, se debió dejar un margen de 20 cm al suelo. Análogamente, la última fila de *slots* (fila superior) debe mantener una distancia de al menos 25 cm al techo, para permitir el acceso del manipulador de reposición. Con esto, el alto máximo útil de la cabina se fijó en 180 cm, lo que constituye el parámetro  $H_{max}$ . En la Figura 55 se presenta un esquema de la cabina que resume las consideraciones mencionadas hasta el momento.

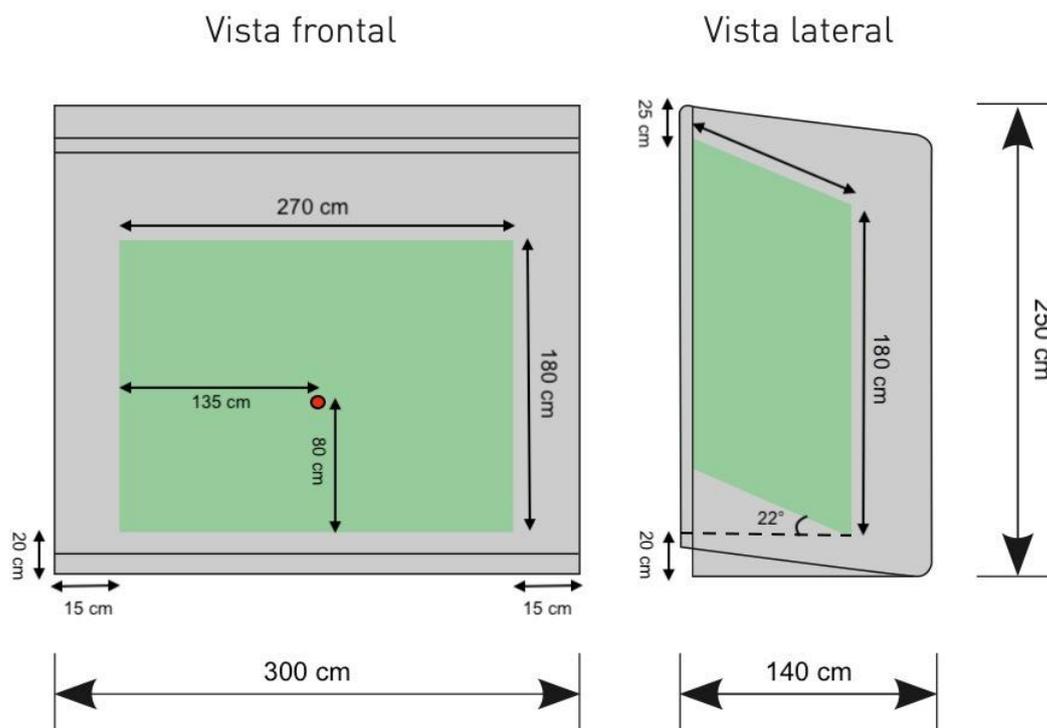


Figura 55. Vista frontal y lateral de la zona del manipulador de dispensación y las canaletas. [34]

En cuanto a la posición de la boca, esta se definió de forma tal que se puedan almacenar la mayor cantidad posible de *slots* a su alrededor, con el objetivo de minimizar las distancias recorridas por el manipulador de dispensación. Por esto se decidió colocarla en  $L_{boca} = 135$

cm y no, por ejemplo, en uno de los extremos. Respecto a la altura, se tuvo en cuenta que el movimiento a realizar por los auxiliares de farmacia al ir a retirar un *SKU* en el proceso de dispensación sea el más favorable desde un punto de vista ergonómico. Se estableció  $H_{boca} = 80$  cm, lo que resulta en una distancia de 100 cm al suelo. Esta decisión se tomó teniendo en cuenta lo establecido en [28] respecto a la altura del codo para el percentil 95 de una mujer y de un hombre.

Volviendo a la Figura 54, las zonas 2 y 4 corresponden a los espacios estimados de incidencia del manipulador de despacho y de reposición respectivamente. La zona 2 se dimensionó a partir de las medidas del manipulador de despacho y su inclinación. Para estimar la profundidad del manipulador, es decir, la dimensión paralela a las canaletas, se analizaron los distintos manipuladores comúnmente utilizados por los proveedores en este tipo de sistemas inclinados. Como se puede ver en la Figura 56 el efector final (varilla rígida) ocupa aproximadamente la mitad de la profundidad del manipulador. Además, en [42] se hace uso de un manipulador de las mismas características cuyo efector final tiene un largo de 20 cm. Tomando esto en cuenta se decidió estimar la profundidad del manipulador en 50 cm, lo que resulta en una profundidad de la zona 2 de 47 cm, ya que se debe considerar la inclinación de  $22^\circ$  a la que trabaja el manipulador (la misma que la de las canaletas).

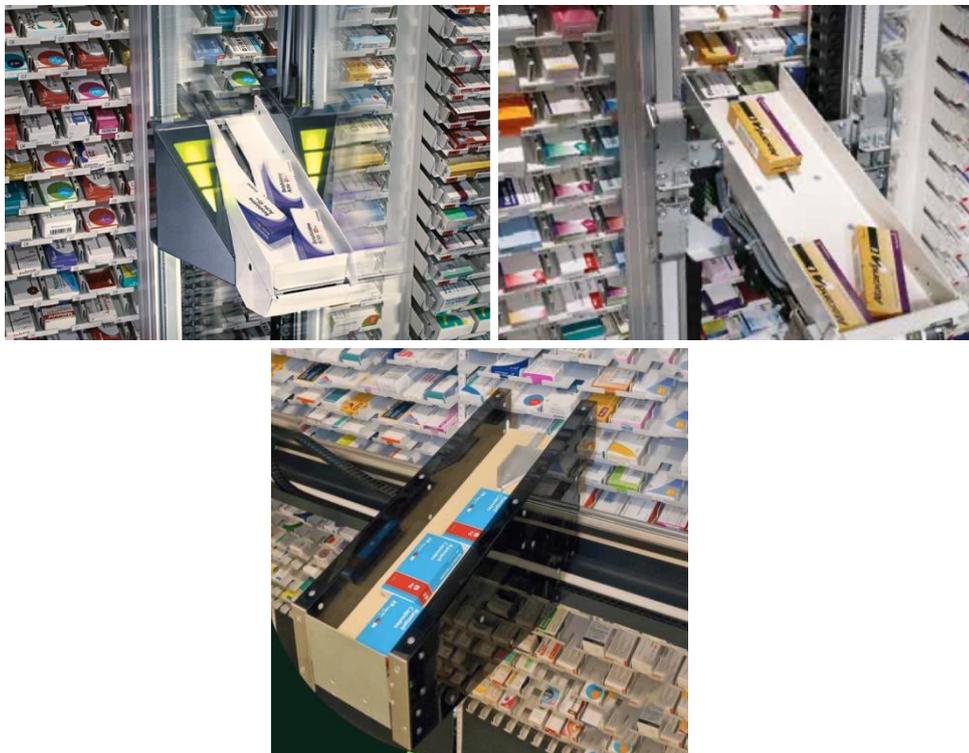


Figura 56. Ejemplos de manipuladores de dispensación. [45, 34, 39]

En el caso de la zona 4 se estima un mayor espacio ya que es necesario contar con una infraestructura para montar el sistema de reposición (ver Figura 14). Este incluye una cinta transportadora que traslada los *SKUs* en línea recta hasta desembocar en una plataforma de identificación donde se captura su código de barras y fecha de vencimiento. En la Figura 57 y Figura 58 se presentan ejemplos de ambos elementos.



Figura 57. Ejemplo de cinta transportadora para sistema de reposición. [40]

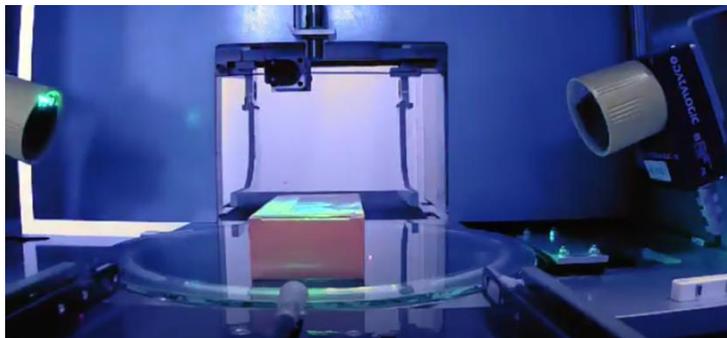


Figura 58. Ejemplo de plataforma de identificación de medicamentos. [44]

Luego, el manipulador de reposición (ver Figura 59) toma los *SKUs* de la plataforma y gira sobre sí mismo para almacenarlos en las canaletas. En este caso, el manipulador no requiere de una inclinación para trabajar, por lo que solo se debe considerar su profundidad y el ancho de la zona correspondiente a la cinta y plataforma para determinar la profundidad de la zona 4. Tomando como referencia el espacio que estos elementos ocupan en los sistemas disponibles en el mercado y la forma en que se disponen en el espacio, se estimó la profundidad de la zona 4 en 100 cm.



Figura 59. Ejemplo de manipulador de reposición. [45]

En cuanto a la zona 5 de la Figura 54, esta se compone de una tolva que se utilizaría para que los auxiliares de farmacia puedan depositar los *SKUs* de los cajones de reposición. Además este sistema incluye una plataforma vibratoria para permitir el correcto pasaje de cada *SKU* hacia la cinta transportadora.

La segunda alternativa respecto a la ubicación de la cabina en DA considera que esta se monte en el segundo ambiente. En este caso, si bien se contaría con más espacio para desplazarse en la zona de ventanillas, se necesitaría implementar un sistema auxiliar tipo tobogán para sortear el largo del pasaje desde el segundo ambiente hasta el primero. Además, esta nueva ubicación supone un desplazamiento de la boca de dispensación, para que coincida con la posición del pasaje. En la Figura 60 se puede ver un ejemplo de cómo sería la configuración en este caso:

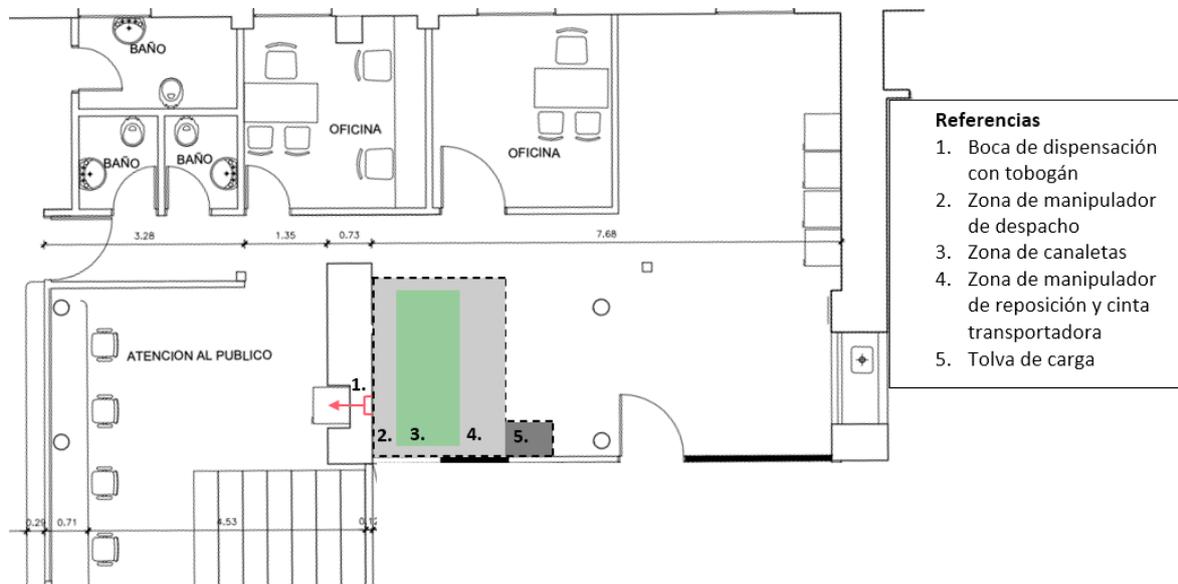


Figura 60. Posible ubicación de la cabina en segundo ambiente.  
Adaptado de Anexo V: Layout Hospital Pasteur

Esta alternativa se estudiará como un análisis de sensibilidad dado que se entiende que existe un mayor potencial en la primera ubicación, que será utilizada en el caso base.

Una vez definidos los parámetros estructurales de la cabina, se determinaron los parámetros  $nC$  y  $nF$ , referentes al número máximo de columnas y filas disponibles respectivamente. Estos idealmente no deberían ser parámetros sino que podrían ser indefinidos, dándole completa libertad al modelo para definir cuántas filas y columnas utilizar. Sin embargo, a nivel computacional esto significó gran un esfuerzo y unos tiempos de ejecución no aceptables para el equipo de trabajo.

Lo anterior motivó a encontrar cotas que permitan reducir el dominio del problema, haciéndolo manejable pero sin comprometer su optimalidad. Se optó por una estrategia de ensayo y error, considerando el total de posiciones necesarias y variando la relación entre filas y columnas hasta lograr consistentemente mejores resultados. Finalmente, los valores utilizados para el caso base del modelo fueron de 26 filas y 32 columnas, brindándole de esta forma 175 *slots* de holgura.

### 6.2.3. Medidas y talles de los *slots*

Para definir los talles de los *slots* se identificaron en primer lugar las fantasías correspondientes a cada *SKU* del listado presentado en el Anexo VII: Listado de *SKUs* para la Etapa 1 cuya presentación secundaria fuera caja. El porcentaje de *SKUs* que se podría almacenar dentro de la cabina es alto, correspondiendo a un 89% del total de medicamentos regulares no refrigerados, como se puede ver en la Figura 61.

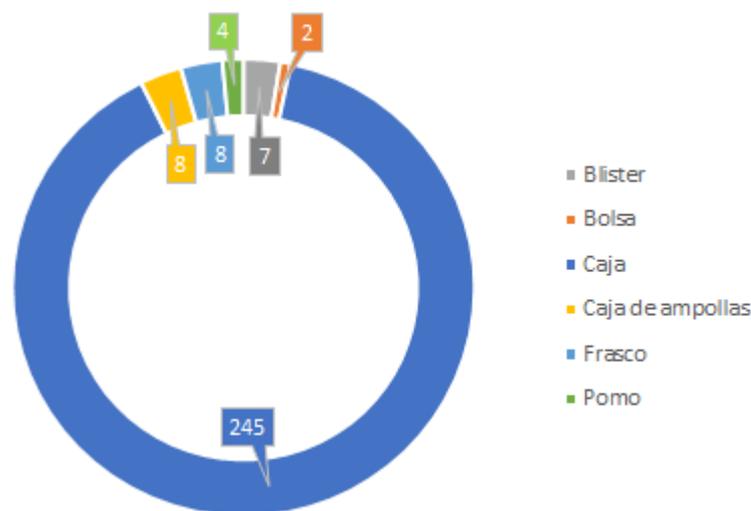


Figura 61. Cantidad de *SKUs* por tipo de presentación secundaria para E0 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

Una vez obtenidos de la base de datos el ancho, alto y profundidad de cada presentación comercial se construyó una gráfica de puntos en la que se representa, para cada fantasía, en el eje horizontal el ancho de la caja y en el vertical el alto.

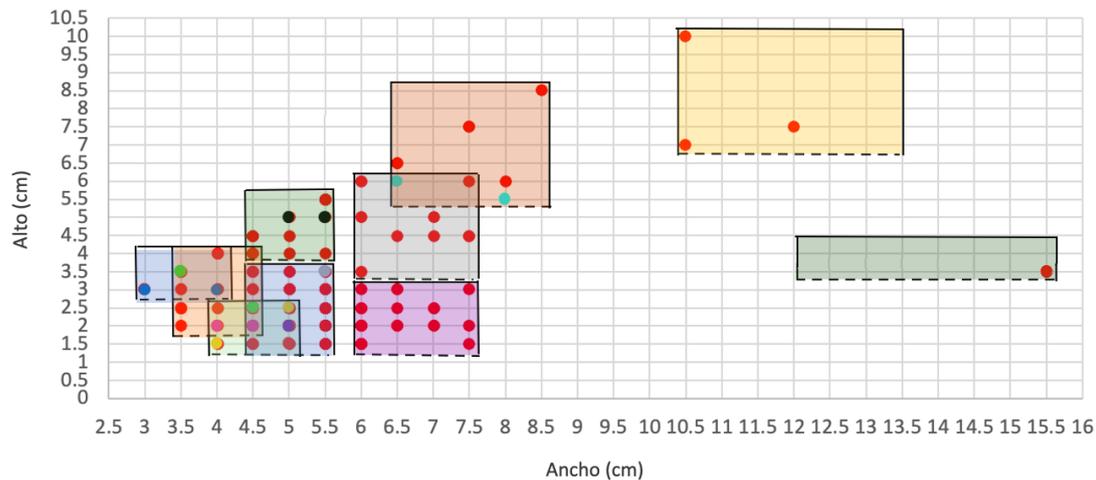


Figura 62. Agrupamiento de fantasías para conformar los talles correspondientes al E0 de la Etapa 2. Elaboración propia.

Como muestra la Figura 62, se agrupan fantasías en rangos de anchos y altos, conformando las áreas coloreadas a las que se les llamará de aquí en adelante talle.

Es importante recordar lo señalado en 4.1.2 con respecto a que un mismo SKU puede despacharse al usuario en distintas fantasías, según la que exista en ese momento en stock. En estos casos, se puede dar la situación que las fantasías no necesariamente tengan las mismas dimensiones de caja y eso debe contemplarse a la hora de querer almacenarlas en una misma canaleta.

En el presente caso de estudio esta situación se dio para 7 de los SKUs estudiados, los cuales tenían asociadas 2 fantasías distintas. En la Figura 62 se representan como puntos (*ancho, alto*) con un mismo color, distinto que rojo, lo que ayudó a visualizar en qué casos podrían incluirse en un mismo talle y en qué casos no. Para 6 de estos SKU, las fantasías se agruparon en un mismo talle por tener dimensiones similares, mientras que para un solo caso esto no fue posible. Lo anterior obliga al modelo a no poder almacenar a esas dos fantasías en un mismo *slot*.

Si bien en este estudio la particularidad anterior ocurrió para un único SKU, es posible que lo mismo ocurra en otras ocasiones cuando, o bien las dimensiones del envase secundario de una fantasía cambien y esto haga que el talle asignado ya no sea válido, o cuando se empiece a manejar otra fantasía distinta para un mismo SKU.

Con las consideraciones anteriores se establece para cada talle un ancho mínimo, ancho máximo, alto máximo y alto máximo más un margen de seguridad para contemplar la elevación que tiene la caja cuando el manipulador la golpea para retirarla de la canaleta, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 7. Consideraciones de los tamaños de las fantasías a asignar en cada talle para E0 de la Etapa 2.

Talle	Ancho mín. (cm)	Ancho máx. (cm)	Alto máx. (cm)	Alto + seguridad (cm)
1	3,4	4,5	4,0	6,0
2	3,8	5,0	2,5	4,5
3	10,1	13,5	10,0	12,0
4	6,4	8,5	8,5	10,5
5	4,1	5,5	5,5	7,5
6	5,6	7,5	3,0	5,0
7	5,6	7,5	6,0	8,0
8	11,6	15,5	4,5	6,5
9	4,1	5,5	3,5	5,5
10	3,0	4,0	4,0	6,0

El  $ancho_t$  se define igual al ancho máximo del talle, lo que asegura que los SKUs a almacenar en los slots de dicho talle cumplan que sus fantasías asociadas quepan en la canaleta (restricción física de espacio). Por otra parte, las fantasías también deben cumplir que en ningún caso su ancho sea menor al ancho mínimo del talle, definido como  $\frac{3}{4}$  del ancho máximo (restricción dada por la forma de operar del manipulador de dispensación). Dado que es necesario que en las canaletas exista una perforación en la mitad de la posición para que el manipulador de dispensación pueda retirar las cajas, el ancho mín. asegura que en todos los casos el impacto del manipulador será en la caja y no al vacío. La Figura 63 ilustra lo anterior con dos ejemplos. En el primer caso el ancho de la caja supera  $\frac{3}{4}$  del ancho del talle, mientras que en el segundo no lo hace, comprometiendo así el correcto accionamiento del manipulador de dispensación.

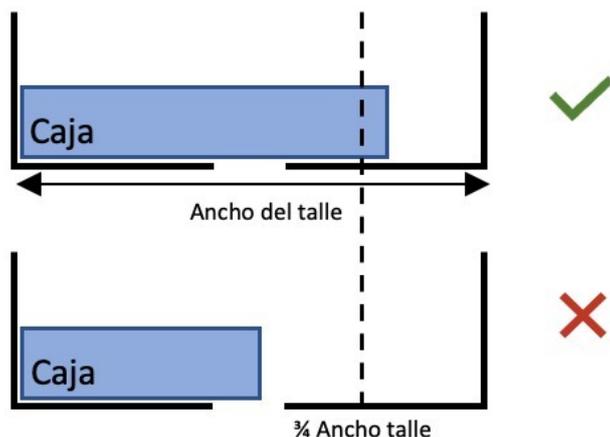


Figura 63. Restricción física para el correcto accionamiento del manipulador de dispensación. Elaboración propia.

El  $alto_t$  se define igual al alto máximo del taller (restricción física de espacio) pero además se establece una seguridad de 2 cm para una vez más tener en cuenta la forma en que opera el manipulador de dispensación. En la Figura 23 se ilustra la forma en que una caja es retirada de su posición.

El alto mínimo representado en la Figura 62 como una línea punteada es utilizado únicamente para establecer límites a la hora de asignar qué puntos (o fantasías) permanecen en qué taller. Aun así es posible almacenar cajas cuyos altos sean menores al alto mínimo del *slot*. La Tabla 8 muestra un resumen de cómo resultaron los talleres en cada caso:

Tabla 8. Dimensiones de los talleres utilizados en E0 de la Etapa 2.

Taller	Ancho <sub>t</sub> (cm)	Alto <sub>t</sub> (cm)
1	4,5	6
2	5	4,5
3	13,5	12
4	8,5	10,5
5	5,5	7,5
6	7,5	5
7	7,5	8
8	15,5	6,5
9	5,5	5,5
10	4	6

A partir de la Figura 62 y de las restricciones consideradas anteriormente se procedió a asignar un talle a cada fantasía y calcular la cantidad de cajas a almacenar dentro de la cabina para satisfacer la demanda durante un cierto período de tiempo. Esta demanda fue considerada como la demanda diaria promedio en el período de datos analizados.

Dado que la profundidad de la cabina está definida, cuanto más stock se desee mantener mayor será la cantidad de *slots* necesarios por *SKU*, aumentando así las distancias que el manipulador de dispensación debería recorrer. Por otro lado, la frecuencia con la que se tendría que reabastecer la cabina aumentaría si se decidiera mantener menos stock. Considerando este compromiso, se decidió almacenar 3 días de stock. Se realizará un análisis de sensibilidad para estudiar el impacto que tendría en la solución la decisión de mantener más días de stock.

La cantidad de *slots* necesarios para cierto *SKU*  $cant.slots_{SKU}$  se calculó según la ecuación (60):

$$cant.slots_{SKU} = días\ de\ stock \cdot dem.diaria_{SKU} \cdot \frac{prof_{SKU}}{prof_{slot}} \quad (60)$$

Se obtuvo la cantidad de unidades de cada *SKU* a almacenar durante el periodo definido como el producto entre los *días de stock* (en días) y la demanda diaria del *SKU*  $dem.diaria_{SKU}$  (en unidades por día). La demanda diaria del *SKU* se calculó como la suma de la demanda de cada una de sus fantasías asociadas. Para obtener la cantidad de *slots* se debió multiplicar a este término por el cociente entre la profundidad del *SKU*  $prof_{SKU}$  (en cm) y la profundidad de los *slots*  $prof_{slot}$  (en cm). La profundidad del *SKU* se tomó como la máxima profundidad de sus fantasías asociadas. De esta forma se cuenta con holgura en caso de que se trabaje en algún momento únicamente con la fantasía de mayores dimensiones.

Al tener identificado el talle de cada fantasía y la rotación asignada según el *SKU* al que corresponda de acuerdo a lo establecido en 6.2.1, se obtuvieron las cantidades de *slots* necesarios por talle-rotación, que conforman el parámetro  $S_{t,r}$ . En total se necesitan ubicar 657 *slots* dentro de la cabina

Por último, para validar que la profundidad elegida de las canaletas se adecúa a la cantidad de stock que se necesita almacenar en la cabina, se calculó el estimado de volumen que sería necesario para mantener 3 días de demanda promedio de los *SKUs*. Luego, del volumen máximo disponible definido por  $H_{max}$  y  $L_{max}$  se desprende que como mínimo se necesitaría una profundidad de 38 cm.

Dado que en este cálculo se asume que las fantasías pueden almacenarse en todo el volumen disponible y no en canaletas independientes según el *SKU* al que correspondan, se decidió tomar un valor conservador de 100 cm para definir la profundidad. Además este valor permite contemplar posibles aumentos de demanda y dimensionar el sistema con una mayor flexibilidad.

### 6.3. Análisis de resultados

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos para el modelo correspondiente a la propuesta de diseño de un sistema de dispensación automática de tipo inclinado. A esta instancia se la designará como el caso base (E0) de la Etapa 2.

Al igual que para el modelo correspondiente a la Etapa 1, se utilizó AMPL con licencias estudiantiles y el *solver* Gurobi. A nivel computacional, se corrió tanto el caso base como los análisis de sensibilidad con una computadora en ambiente macOS con procesador de dos núcleos Intel Core i5 @2.7GHz y 4GB de memoria RAM.

Debido al esfuerzo computacional asociado al tamaño y combinatoriedad de soluciones simétricas, no resultó posible calcular el intervalo de confianza (*gap* de optimalidad) entre la solución alcanzada y la óptima. En consecuencia, el criterio considerado por el equipo de trabajo fue el de un tiempo de ejecución de 48 hs para todos los casos.

Luego de correr el modelo durante ese tiempo, se obtuvo una solución en la que la función objetivo tomó un valor de 21.286 cm. En la Figura 64 se presenta una vista frontal de la cabina donde se enmarca en blanco el espacio útil en el que se pueden ubicar las canaletas. Alrededor de este se colorea en gris el resto de la estructura de la cabina. Se puede visualizar con distintos colores la distribución de *slots* según su tamaño y rotación. En el centro se representa al punto de reposo del manipulador de dispensación, que coincide con la boca de dispensación, como un círculo de color rojo. Para un mejor entendimiento se recomienda al lector referirse a la Figura 60.

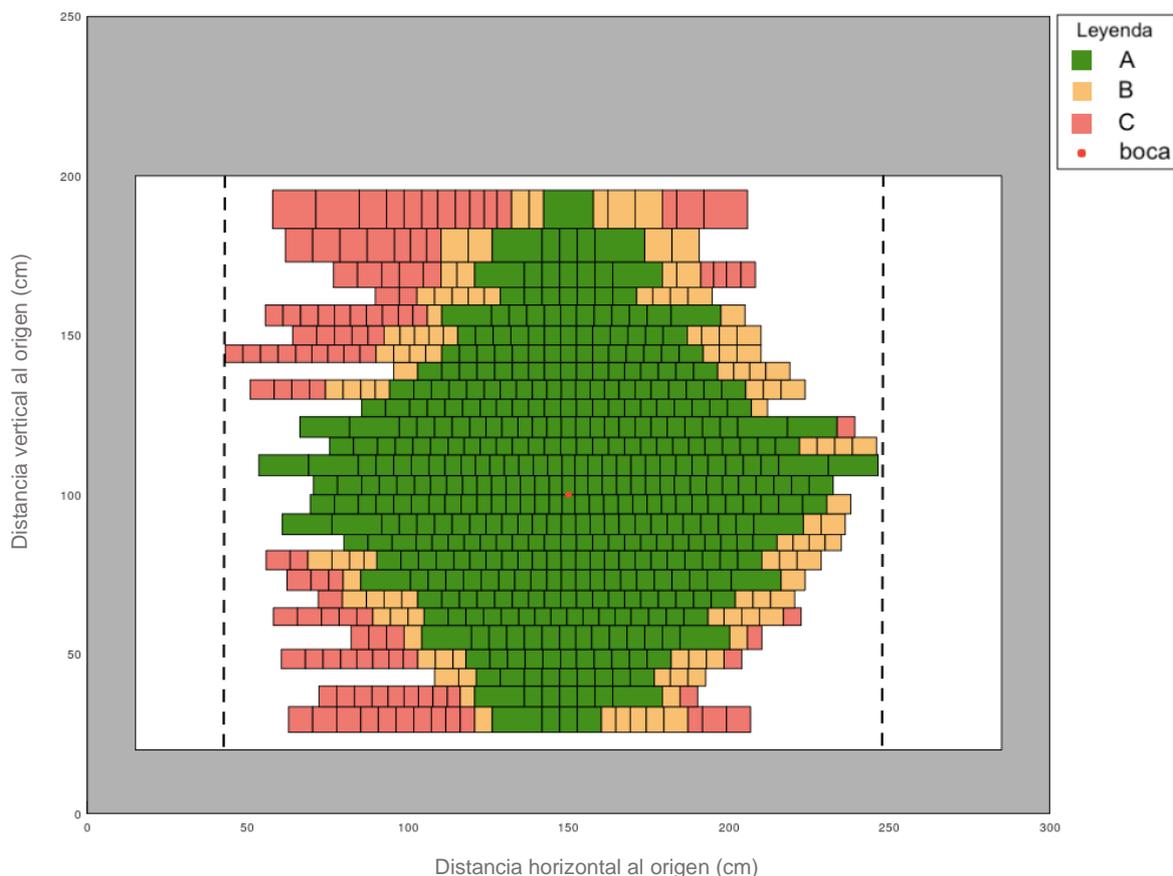


Figura 64. Vista frontal de la distribución de slots para E0 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

Es interesante observar cómo los *slots* se ubican en forma romboidal alrededor del punto de reposo, logrando así que las distancias a recorrer sean lo más cortas posible. Se puede ver que en las filas centrales se utilizó la totalidad de las posiciones otorgadas, mientras que

en las más alejadas se pueden encontrar posiciones libres. Además, en cuanto al alto de las filas, al alejarse del centro se puede notar que este tiende a aumentar. Si en su lugar, las filas centrales fueran las más altas, el manipulador tendría que recorrer distancias más largas para acceder al resto de los *slots*.

Es claro que la distribución respeta la probabilidad de despachos, ubicando a aquellos *slots* de mayor rotación (A) en las posiciones más cercanas a la boca de dispensación, en siguiente lugar a los de rotación intermedia (B) y completando las ubicaciones más alejadas con los de más baja rotación (C).

Si bien se puede observar una leve tendencia a una distribución asimétrica hacia el lado izquierdo de la cabina, el equipo de trabajo lo atribuye a que la solución no es la óptima, sino la mejor alcanzada al cabo de dos días de ejecución. De todas formas, esto se observa en los *slots* de rotación C, siendo estos los de menor peso en la función objetivo.

Otro aspecto a atender refiere al hecho que el modelo prefirió agrupar los *slots* hacia arriba de la boca en lugar de hacia abajo. Esto es coherente con la posición a la que debe acceder el manipulador para la dispensación, que se ubica en la zona inferior de cada *slot*. En términos de distancia, se puede concluir que para acceder a un *slot* de rotación A, en promedio es necesario recorrer 54 cm, para un *slot* de rotación B 95 cm y para un C 122 cm.

Como el lector podrá observar en la Figura 64, existe un amplio espacio vacío si se considera el espacio total otorgado en la dimensión horizontal respecto al ocupado. Se presentan dos líneas punteadas que delimitan el ancho máximo ocupado, buscando representar el ancho mínimo que permitiría cumplir con la distribución desprendida del modelo. Lo anterior no se cumple para la dimensión vertical pues no existe tanta holgura.

Si bien se podría tomar la decisión de adquirir la instalación acotando el tamaño a los límites dibujados en la figura, se entiende que también podría ser conveniente adquirirla del tamaño originalmente preestablecido para enfrentar distintas casuísticas que a futuro se pudieran presentar. Ante un aumento de demanda, introducción de nuevos *SKUs* de distintos tamaños, o simplemente una decisión estratégica de almacenar más *slots*, se podría hacer uso del espacio libre para introducir nuevos *slots* o cambiar las dimensiones de los existentes. Para la decisión final también influirá el costo, las opciones disponibles en el mercado y su ubicación en Despacho Ambulatorio (DA), entre otros.

Resultó interesante plantear una extensión respecto al caso base (en el que se buscaba mantener stock para tres días) que permita observar la distribución óptima en caso de que, una vez funcionando el sistema en DA, se desee aumentar la cantidad de unidades a almacenar dentro de la cabina. Considerando las dimensiones originales de la cabina (300x200x100 cm<sup>3</sup>), sería posible aumentar la cantidad de *slots* para almacenar hasta el equivalente a 6 días de la demanda promedio actual. Esto implicaría:

1. Añadir *slots* para cumplir con la nueva necesidad de 6 días de demanda actual.
2. Brindar la posibilidad de reasignar las rotaciones de los *slots* ya existentes, que mantienen sus posiciones definidas en el caso base, permitiendo que los nuevos *SKU* de rotación A puedan ubicarse en las posiciones cercanas a la boca de dispensación.

Para esto, se recalculó el parámetro  $S_{t,r}$  considerando 6 días de demanda promedio de cada *SKU*. Este totalizó 1.176 *slots* a ubicar. Se debieron rever los parámetros  $n_C$  y  $n_F$  para que las posiciones disponibles sean suficientes para albergar a esta nueva cantidad de *slots*.

Debido a que el caso base utiliza toda la dimensión vertical, el parámetro  $nF$  se mantuvo en 26 filas. Se decidió fijar  $nC$  en 54, para así disponer de 1.404 posiciones y tener 228 ubicaciones de holgura.

El resultado del caso base fue pasado en forma de restricciones, fijando las posiciones y tamaños de los *slots* ya existentes pero liberando la asignación de rotaciones de los *slots* para poder reasignarlos según sea conveniente en la nueva configuración.

En cuanto a la formulación, no fue necesario hacer uso del conjunto  $FT$ ; conjunto de pares  $(f, t)$  que condicionan la cardinalidad de la variable de decisión  $x_{c,f,t,r}$ , dado que la altura de las filas estaba predeterminada por los resultados del caso base. Esto implica que el dominio de la variable  $x_{c,f,t,r}$  no se restrinja a los índices  $(f, t)$  y por ende, que las familias de restricciones numeradas en 6.1.5 como (36), (41), (42), (47), (48), (51), (53), (54) y (58) se vean modificadas en el mismo aspecto.

Además fue necesario incluir un parámetro denominado  $ncol$  que indica la cantidad de columnas disponibles que se añaden a cada lado de la solución obtenida en el caso base. El valor de este parámetro se definió en 11 considerando el total de 22 columnas nuevas que se otorgaron.

Se representa en la Figura 65 el resultado alcanzado luego de correr el modelo durante 48 horas. La solución obtenida luego de transcurrido ese tiempo se encuentra a menos de 1,6% de la óptima.

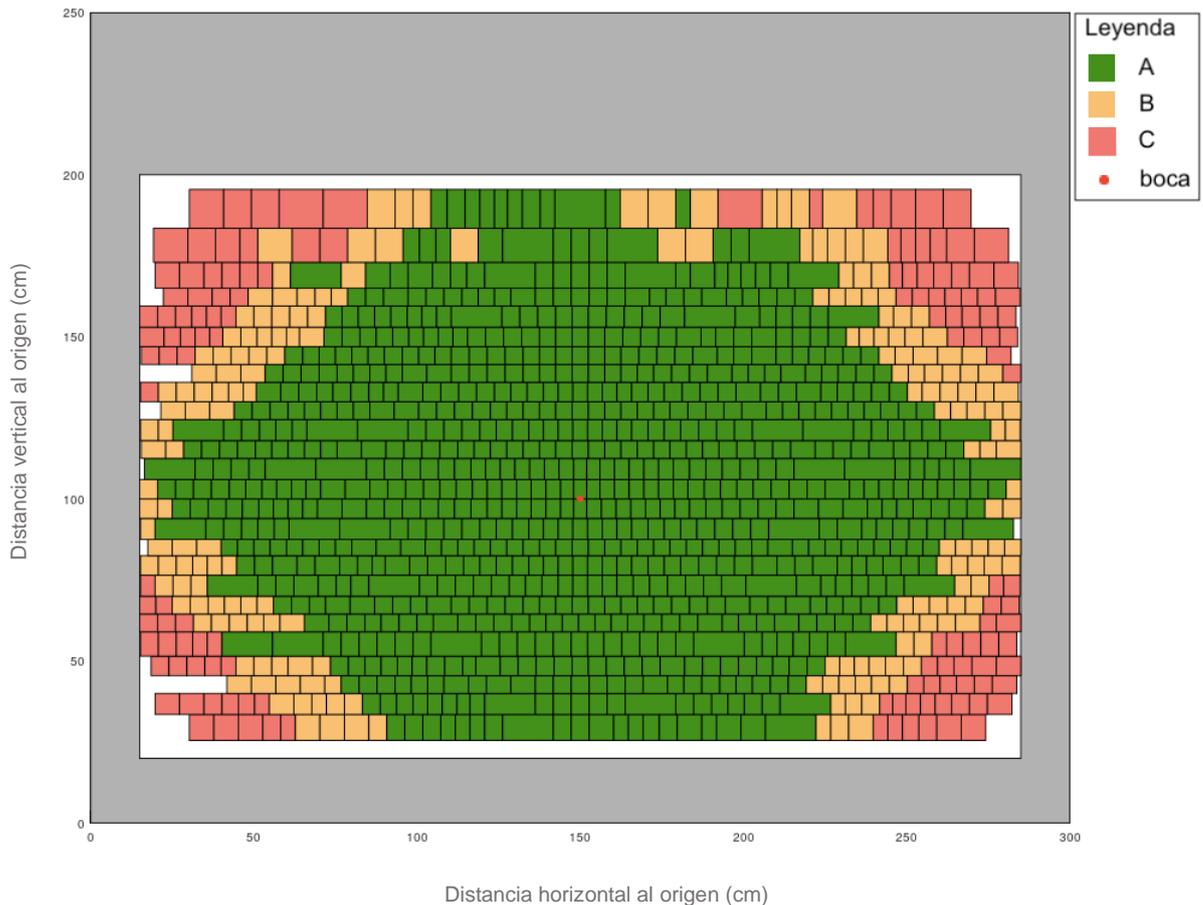


Figura 65. Vista frontal de la distribución de slots para la extensión de E0 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

La función objetivo arrojó un valor de 59.849 cm, lo que representa un incremento de 181% respecto al caso base. Se puede notar que, si bien la demanda se duplicó, las distancias a recorrer por el manipulador aumentaron en una proporción aún mayor, casi triplicando su valor. Se obtuvo que la distancia promedio que debe recorrer el manipulador para acceder a un *slot* de rotación A es de 81 cm, mientras que para un B es 144 cm y para un C 173 cm.

Se observa nuevamente que la distribución es coherente con las rotaciones, distribuyéndose de forma romboide alrededor del centro, primero con los *slots* de mayor rotación, seguidos por los de media y por último los de baja rotación. Es notorio que el porcentaje de utilización de la cabina aumenta considerablemente hasta el punto de casi no tener espacios libres.

Este escenario permite concluir que sería posible aumentar la capacidad de la cabina una vez que ya esté operativo el sistema, manteniendo la configuración inicial y las dimensiones originales de la cabina.

#### 6.4. Análisis de sensibilidad

Esta sección presenta distintos análisis que el equipo de trabajo se propuso estudiar para verificar el comportamiento del sistema ante distintas modificaciones en sus datos de entrada. Se presentarán escenarios referidos a modificaciones estructurales y de demanda. Sobre el

final se presenta una sección con un resumen de los resultados arrojados por los distintos escenarios.

#### 6.4.1. E1: Incorporación de demanda de SEIC

Al igual que en la Etapa 1, en este escenario se estudió la posible llegada del Servicio de Enfermedades Infecciosas a la farmacia del Hospital Pasteur.

##### 6.4.1.1. Modificaciones respecto al caso base

Se partió del conjunto de *SKUs* mencionado en 4.1.4 y se tomaron aquellos cuya presentación secundaria era caja. Estos representan el 88% del total, como se puede ver en la figura que se muestra a continuación, por lo que al igual que en el caso base, se contempló a la mayor parte de los *SKUs* procesados en la actualidad.

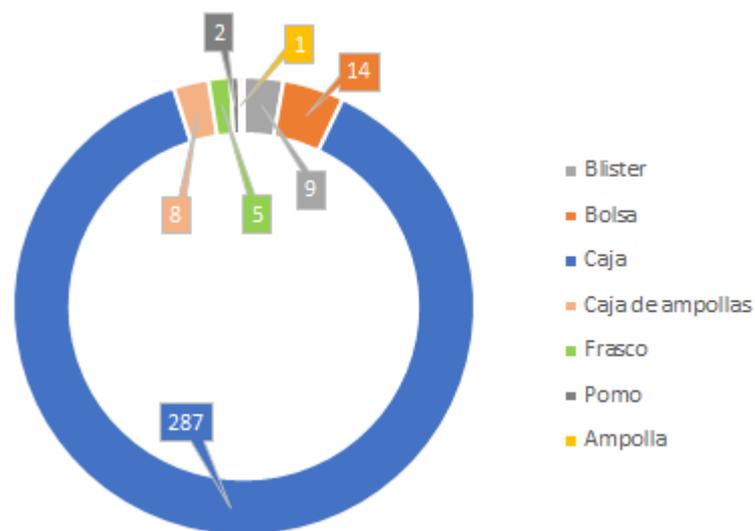


Figura 66. Cantidad de *SKUs* por tipo de presentación secundaria para E1 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

Debido a la incorporación de nuevos *SKUs* respecto al caso base, fue necesario redefinir los talles de los *slots* a ubicar en la cabina. En primer lugar, los nuevos *SKUs* se asignaron a los talles ya existentes. Luego, para aquellos *SKUs* con medidas distintas a las consideradas en el caso base, se debió crear un nuevo talle, que puede albergar cajas de 8,5 a 10,5 cm de ancho y un máximo de 6,5 cm de alto. Con este agregado, se logra cubrir las dimensiones de todas las cajas de anchos entre 3 y 15,5 cm. En la Figura 67 se presenta la distribución final de fantasías en sus diferentes talles para este escenario.

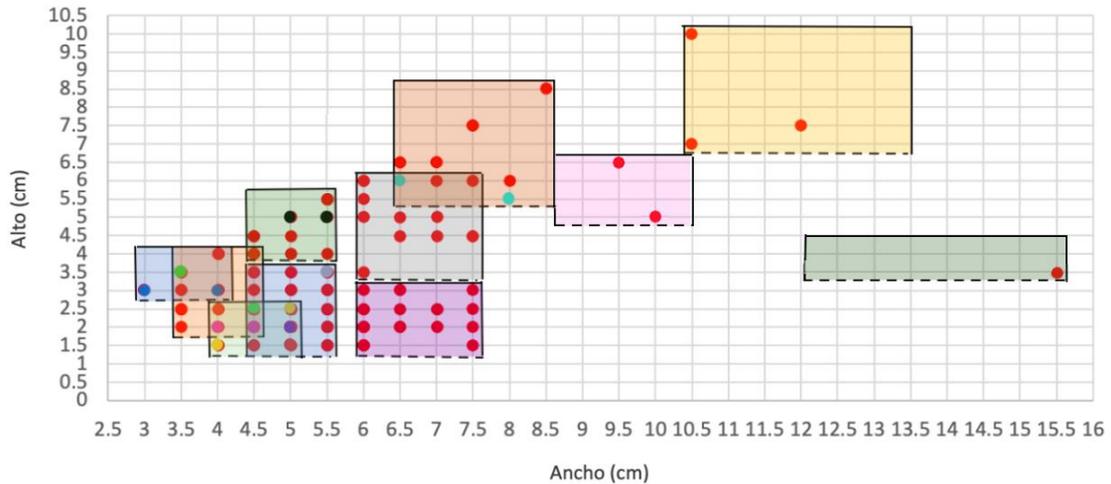


Figura 67. Agrupamiento de fantasías para conformar los talles correspondientes al E1 de la Etapa 2. Elaboración propia.

Al igual que en el caso base, luego de establecidos los talles se procedió a calcular la cantidad de *slots* necesarios de cada dupla talle-rotación para satisfacer tres días de demanda de cada *SKU*. De esto se obtuvo que el parámetro  $S_{t,r}$  totaliza 860 *slots*, un 31% más que en el caso base. Desagregando por rotación, 577 son de rotación A, 149 B y 134 C.

Como los parámetros  $nC$  y  $nF$  definidos en el caso base resultan en una cantidad insuficiente de posiciones disponibles para este escenario ( $nC \times nF = 32 \times 26 = 832$ ), fue necesario redefinirlos. Se decidió otorgar al menos la misma holgura en la cantidad de posiciones disponibles respecto a las necesarias que en el caso base, por lo que se fijaron  $nC = 46$  y  $nF = 24$ , resultando en 1.104 posiciones. El cambio en el parámetro  $nF$  se debe a que en este escenario se cuenta con *SKUs* de mayor alto que condicionan la altura de filas, resultando en que la cantidad de filas aprovechables sea menor que en el caso base. Por su parte, el parámetro  $M2$  quedó definido por el nuevo valor de  $nC$ .

Este cambio en el número de columnas y filas también trajo aparejada una modificación del conjunto  $FT$ , manteniendo que los talles altos no tengan permitido ubicarse en las filas cercanas a la boca de dispensación. Asimismo, la introducción del nuevo talle también implicó una modificación en este conjunto, para definir en qué filas se permite ubicarlo. Se restringieron sus posibles ubicaciones tomando como referencia lo definido para talles de altos similares.

#### 6.4.1.2. Resultados obtenidos

Luego de realizados todos los cambios, se dejó correr el modelo durante dos días. La función objetivo resultante tomó el valor de 33.241 cm, un 56% mayor que la obtenida en el caso base. En la Figura 68 se observa una vista frontal de la solución.

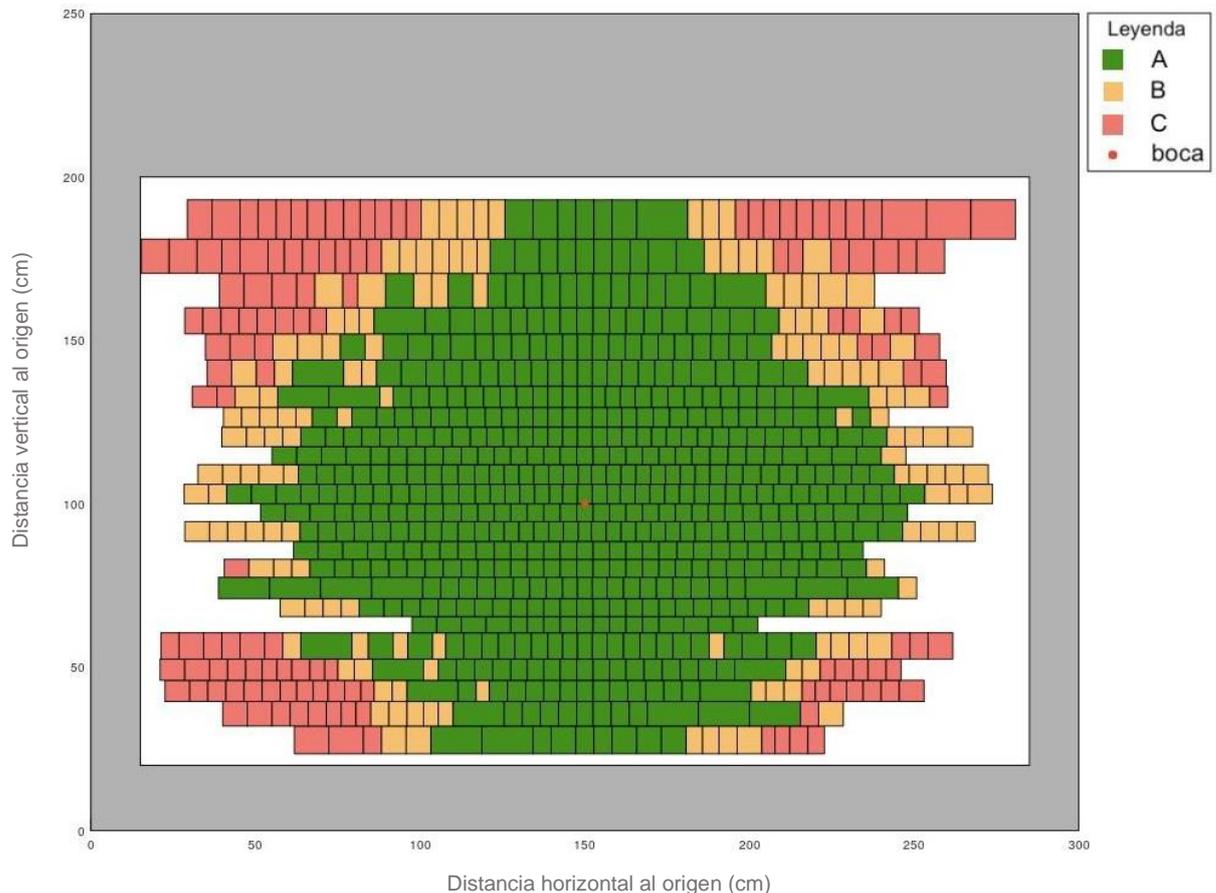


Figura 68. Vista frontal de la distribución de slots para E1 de la Etapa 2. Elaboración propia.

Se puede notar que, como era esperado, el modelo decide alojar a los *slots* de mayor rotación (A) cerca de la boca, continuando por los de rotación B y dejando a los C en las posiciones más alejadas.

A partir de los resultados obtenidos para  $d_{c,f,r}$ , se calculó la distancia de acceso promedio para cada rotación. Se obtuvo que para acceder a un *slot* de rotación A es necesario recorrer 64 cm (10 cm más que en E0), para uno de rotación B 118 cm (23 cm más que en E0) mientras que para uno de rotación C 154 cm (32 cm más que en E0). Estos valores reflejan lo que se observa en la Figura 68: la distancia promedio de acceso para los A es significativamente menor que para los B y los C.

Por otro lado, es notorio el mayor porcentaje de ocupación respecto al caso base, generado por el aumento en la cantidad de *slots* a ubicar. Se constata que en este caso la holgura en la dirección horizontal es muy pequeña, por lo que una cabina de las dimensiones planteadas como máximas en el presente trabajo estaría acorde a la situación del hospital luego de la llegada del Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas (SEIC).

Es llamativo que las filas de mayor alto tengan preferencia por ubicarse en la parte superior de la cabina y no de forma simétrica respecto a la boca de dispensación. Esto se explica, por un lado, porque el manipulador accede a los *slots* desde la base de éstos, por lo que es natural que prefiera colocar una fila más en la parte superior que en la inferior. Sumado a esto, la boca no se encuentra en el punto medio respecto al eje vertical, sino que 10 cm más abajo. Además, se debe recordar que no se trata de la solución óptima.

Este último hecho explica también por qué algunos *slots* de rotación B se encuentran intercalados entre los de rotación A, cuando se esperaría que se ubiquen alrededor de estos.

Si se observa la Figura 68 se puede notar que la fila 6 es la de menor longitud y altura. En esta se asignaron algunos de los *slots* de talles 2 y 6 (que se corresponden con los de menor alto). La corta longitud se atribuye a que fue más conveniente, en términos de la función objetivo, ubicar *slots* en las filas superiores más cercanas a la boca de dispensación o en posiciones centrales de las filas inferiores antes que completar la fila 6 ubicándolos en sus extremos.

#### 6.4.2. E2: Filas con altura única

En este escenario se plantea la posibilidad de dimensionar la cabina utilizando un único valor predefinido para el alto de las filas, de forma tal que sea posible ubicar *slots* en las distintas filas independientemente de la altura de su talle.

Lo que se espera en este caso es que el volumen ocupado por los *slots* sea mayor que en el caso base, debido al mayor tamaño que estos adquieren. Es razonable que las distancias para acceder a cada uno de ellos aumenten, lo que permitiría evaluar la ventaja que supone el caso base por hacer uso de distintas alturas de fila.

Este escenario resulta interesante para evaluar las consecuencias de tener una mayor flexibilidad frente a modificaciones en términos de altura de los *SKUs*.

##### 6.4.2.1. Modificaciones respecto al caso base

A continuación se mencionan las implicaciones que tiene el hecho de considerar un mismo alto de fila en la formulación matemática del caso base.

En primer lugar, el parámetro  $n^F$  utilizado en el caso base (igual a 26 filas), ya no es factible físicamente dado el alto elegido para las filas. En su lugar, el valor que se tomó fue de 15 filas ya que es el máximo posible que permite cumplir con la limitante física de espacio, modelada como la restricción (46). Consecuentemente fue necesario redefinir el valor de  $n^C$  para cumplir con la familia de restricciones (47). Esta última restricción asegura que se proporcione una cantidad suficiente de posiciones vacías para ubicar los 657 *slots* necesarios. El parámetro  $n^C$  se aumentó de 32 a 56 columnas, lo que supone un total de 840 ubicaciones disponibles y 183 ubicaciones de holgura.

El conjunto  $FT$  no es utilizado en este escenario dado que, tal como fue mencionado anteriormente, no existe una restricción en términos de en qué filas se podrán ubicar los talles. Esto implica las mismas modificaciones en la formulación que las descritas en la extensión del caso base.

El dominio de la variable de decisión  $h_f$  se limita únicamente a la fila 0, dado que para el resto de las filas el alto está dado por un valor predeterminado. En este escenario  $alto_t$  no se indexa según el talle sino que toma un valor único definido como  $alto = \max(alto_t)$  con  $t \in T$  del caso base.

Lo anterior implica que la restricción (42), donde se define  $h_f$ , pase a no ser necesaria en este escenario. Aun así, interesa que se mantenga la decisión de elección de  $h_0$  dado que permite centrar a los *slots* alrededor de la boca de dispensación.

La familia de restricciones (44), donde se define la variable auxiliar  $h_{sumaf}$  se ve afectada por lo mencionado anteriormente en el sentido que, en lugar de incluir a la variable de decisión  $h_f$ , se incluye al parámetro  $alto$ .

Con el cambio en la altura de las filas resulta conveniente redefinir el conjunto de talles  $T$  utilizados en el caso base, manteniendo en todo momento las restricciones que se mencionan en 6.2.3. La lógica seguida fue minimizar la cantidad de talles diferentes y unificar en uno solo a aquellos que se diferenciaban únicamente por el alto, buscando tener una mayor flexibilidad al momento de almacenar los  $SKUs$  en los  $slots$ . En total se tienen 7 talles en lugar de 10, que eran los utilizados en el caso base. En la Figura 69 se pueden visualizar los nuevos talles.

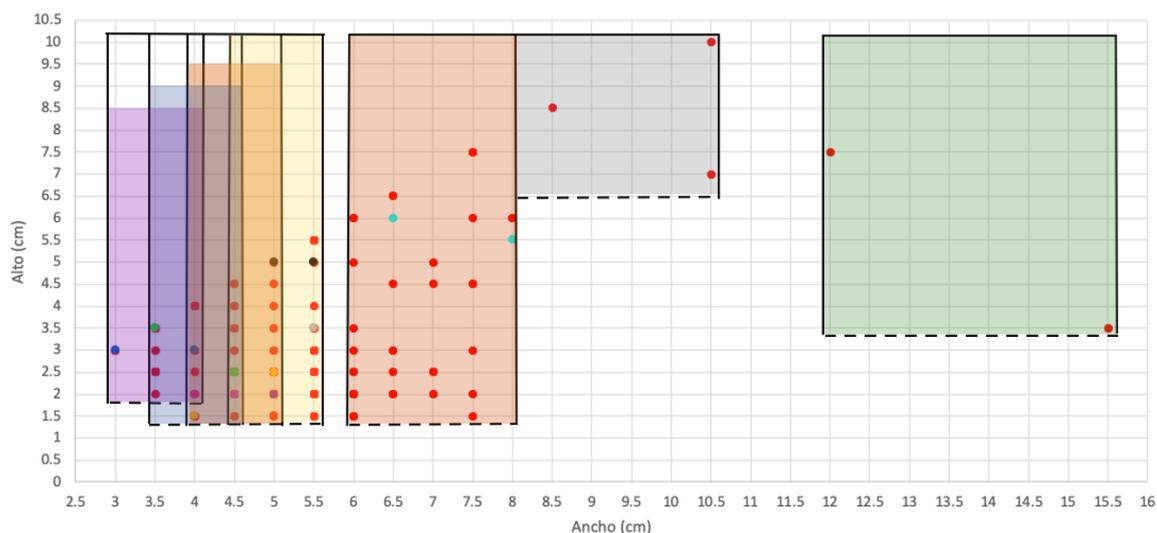


Figura 69. Agrupamiento de fantasías para conformar los talles correspondientes al E2 de la Etapa 2. Elaboración propia.

#### 6.4.2.2. Resultados obtenidos

Luego de correr el modelo durante dos días, se alcanzó una función objetivo de 29.726 cm: una variación positiva de 40% respecto al caso base. La solución obtenida se presenta en la Figura 70.

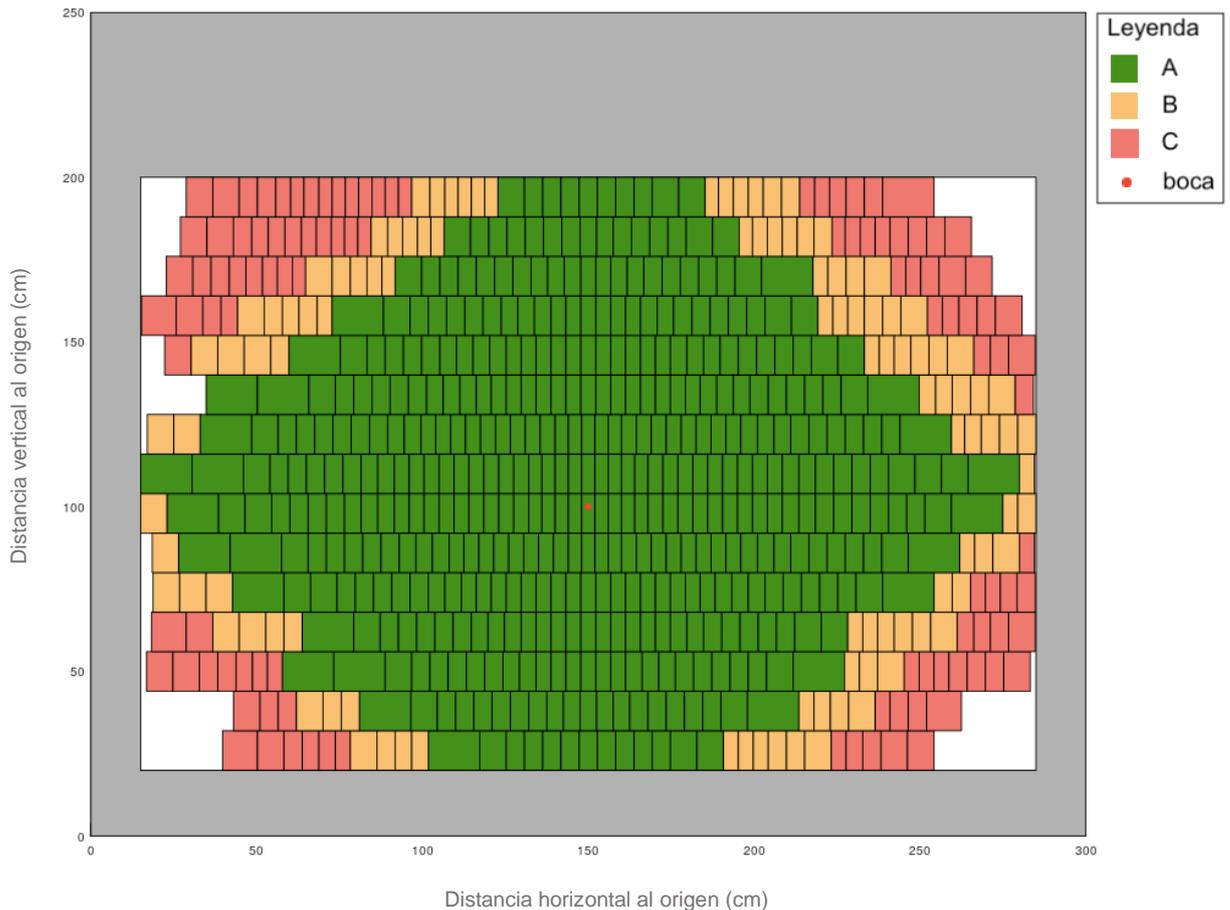


Figura 70. Vista frontal de la distribución de slots para E2 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

Es notoria la forma romboide que presenta la distribución de *slots* en este escenario; estos se sitúan de manera óptima según su rotación.

Si se comparan los valores de la distancia promedio de acceso a los *slots* de cada rotación con los obtenidos en el caso base, se observa un aumento significativo. Para acceder a un *slot* de rotación A en promedio es necesario recorrer 75 cm (21 cm más que en E0), para un B 139 cm (44 cm más que en E0) y para un C 169 cm (47 cm más que en E0). Esto era esperable debido al mayor alto de los *slots*, que conduce a un aumento en la distancia que tiene que recorrer el manipulador para acceder a cada uno.

Otro elemento que llama la atención es que no se ubicó ningún *slot* con su hueco liberador coincidente con la boca de dispensación. Si bien iniciar una fila al nivel de la boca permite ubicar un *slot* con  $d_{c,f,r} = 0$ , en este caso esto no es conveniente ya que implicaría una reducción de las filas posibles a ubicar. No sería posible utilizar 15 filas sino únicamente 14, ya que físicamente sólo podría ubicar 8 filas por encima de la boca y 6 por debajo de la boca, no haciendo un uso óptimo del espacio.

Finalmente, tal como se suponía, se puede notar un porcentaje de ocupación de la cabina muy superior al del caso base, dejando sin holgura tanto a la dirección vertical como a la horizontal. Se concluye que el uso de distintos altos de fila permite hacer un uso mucho más

eficiente del espacio y lograr con esto menores tiempos que de otra manera se incurrirían por recorrer distancias más largas.

### 6.4.3. E3: Movimiento de boca de dispensación a vértice de cabina

En este escenario se plantea dimensionar al sistema ubicando la boca de dispensación en el extremo superior derecho de la cabina, si se la observa de frente. Se pretende con esto estudiar cómo se vería afectada la distribución de los *slots* y las distancias hasta éstos.

#### 6.4.3.1. Modificaciones respecto al caso base

Al igual que en el escenario anterior, este escenario también implica ciertas modificaciones en cuanto a la formulación matemática presentada para el caso base, que se detallan a continuación.

En este caso, si bien se hicieron suposiciones acerca de cuál sería la forma óptima que tomaría la distribución de *slots*, no se conocía con total certeza la forma que podía adquirir alrededor de la boca de dispensación, por lo que se decidió no restringir el dominio de la variable  $x_{c,f,t,r}$  al conjunto  $FT$ . Con esto se tienen las mismas implicancias que en E1.

Luego, ya no es necesario hacer uso de las dos familias de restricciones (37) y (38), que definen la distancia horizontal hasta la posición como el valor absoluto de la diferencia entre la posición horizontal de la boca y el centro de la posición en cuestión. Basta con utilizar únicamente la familia de restricciones (38) dado que, por la ubicación de la boca, las distancias en este escenario son siempre positivas. Análogamente, ocurre lo mismo con la dimensión vertical; no es necesario hacer uso de las dos familias de restricciones (39) y (40). En su lugar se utiliza únicamente la familia de restricciones (40).

En cuanto a los parámetros, en primer lugar el parámetro  $L_{boca}$  (que representa la posición horizontal del centro de la boca) tomó el valor de 270 cm, para ocupar el extremo derecho de la cabina vista de frente. De forma análoga, la posición vertical de la misma representada por el parámetro  $H_{boca}$  se modifica para pasar a ser igual a 180 cm.

Para la definición de  $nF$ , dado que la posición de la boca se encuentra en un vértice superior de la cabina y que la cantidad de *slots* a ubicar se mantiene respecto al caso base, se consideró que podría resultar conveniente hacer uso de todo el espacio en la dimensión vertical. Teniendo esto en cuenta se decidió otorgar una fila más en comparación al caso base, definiendo  $nF = 27$ . Para mantener la cantidad de posiciones disponibles en el mismo orden de magnitud que en el caso base se decidió disminuir una columna, resultando en  $nC = 31$ .

El parámetro  $M1$ , que se define en base a la mayor distancia de acceso posible, se redefinió dada la nueva ubicación de la boca tomando el valor de 360.

#### 6.4.3.2. Resultados obtenidos

Al igual que en los escenarios anteriores, luego de correr al modelo durante 2 días se obtuvo una solución igual a 42.589 cm, la que duplica su valor respecto al caso base. Si bien se esperaba un aumento de la función objetivo debido a que la nueva ubicación de la boca impedía una distribución tan simétrica como el caso base, este fue realmente significativo. La solución se presenta en la Figura 71.

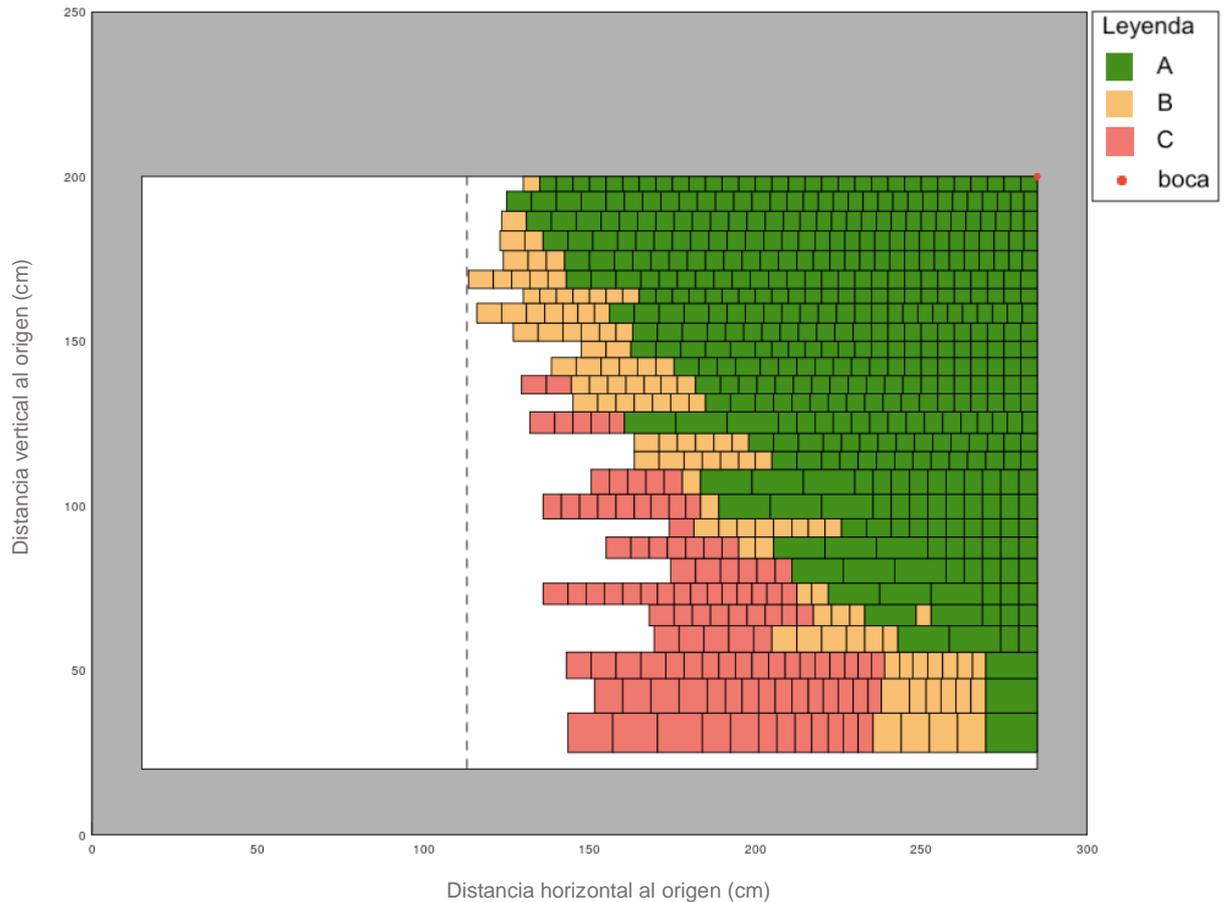


Figura 71. Vista frontal de la distribución de slots para E3 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

El aumento en la función objetivo de este escenario con respecto al caso base se vuelve evidente si se comparan las distancias promedio de acceso. Para trasladarse hasta un *slot* A se tienen que recorrer en promedio 109 cm (55 cm más que en E0), hasta uno de rotación B 190 cm (95 cm más que en E0) y 240 cm (118 cm más que en E0) para alcanzar un C. Estos valores se duplicaron respecto al caso base, al igual que lo ocurrido con la función objetivo.

Observando la figura es pertinente pensar que la solución hallada se encontraba cerca de la óptima, dado que prácticamente no hay *SKUs* de rotación B y C intercalados con los de rotación A. Estos últimos son los más cercanos a la boca, luego se ubican los B y se reserva el extremo más alejado de la boca para los C.

Además, se puede notar que los *slots* de talles más altos están ubicados en el extremo inferior de la cabina. Lo anterior era esperable dado que, de otra forma, si se colocaran en filas intermedias se comprometería la distancia hasta otros *slots*.

Se corrobora también que para minimizar las distancias fue necesario hacer uso de todas las filas para aprovechar las posiciones del extremo derecho de la cabina, en las que la componente horizontal de la distancia es mínima.

Respecto al porcentaje de ocupación, en la Figura 71 se representa con una línea punteada el espacio sobrante respecto al máximo otorgado. Esta holgura se explica por la nueva configuración de la boca, la que lleva a que el almacenamiento se concentre hacia un

extremo de la cabina. Si se compara el espacio libre respecto al caso base, en este escenario se tiene un menor porcentaje de ocupación. De todas formas se plantea el mismo argumento que para el caso base; la decisión final del tamaño de la cabina dependerá de muchos factores.

#### 6.4.4. E4: Movimiento de boca de dispensación a pasaje entre ambientes

Como se mencionó en 6.2.2, se propusieron dos posibles ubicaciones de la cabina en el Despacho Ambulatorio (DA). Una de las alternativas la ubica en el segundo ambiente de DA, con la boca de dispensación hacia la pared que separa este ambiente con la zona de ventanillas. El vano de este muro sería utilizado para realizar el pasaje de los *SKUs* a ser despachados desde un ambiente al otro. Para contemplar esta posibilidad se plantea a continuación un escenario de sensibilidad en el que la boca de dispensación se coloca frente al vano.

##### 6.4.4.1. Modificaciones respecto al caso base

En cuanto a las modificaciones en el modelo, se variaron los parámetros  $H_{boca}$  y  $L_{boca}$ .  $L_{boca}$  se estableció en 185 cm, coincidente con el centro del vano, mientras que  $H_{boca}$  se modificó para contemplar el tobogán que debería instalarse para realizar el pasaje de los *SKUs* a través del vano. Se recomienda al lector referirse a la Figura 60 para visualizar un esquema de lo anterior. Considerando la inclinación del tobogán y el ancho del muro que éste debe atravesar, se determinó la altura a la que se debía colocar la boca para que los auxiliares tomen los *SKUs* desde la altura ergonómica, resultando en  $H_{boca} = 109 \text{ cm}$ .

Este cambio también implicó una modificación del parámetro  $M1$ , ya que este se define en base a la mayor distancia posible de acceso a un *slot*. En este caso,  $M1$  quedó definida en 236.

Dada la nueva posición de la boca, se entiende que puede resultar más óptimo hacer uso de una cantidad mayor de columnas en las filas cercanas a la boca, antes que utilizar filas muy alejadas. Por lo tanto, se decidió otorgar 3 columnas más respecto al caso base, definiendo  $nC = 35$  y manteniendo  $nF = 26$ .

Debido a que, al igual que en E3, no se conocía la forma que podía tomar la solución alrededor de la boca, se decidió no utilizar el conjunto  $FT$  para restringir la variable  $x_{c,f,t,r}$  y se realizaron las modificaciones que esto conlleva.

##### 6.4.4.2. Resultados obtenidos

Tras dos días de correr el modelo la función objetivo arrojó el valor 21.379 cm: una mínima variación respecto al caso base (+0,44%). Este pequeño aumento se ve reflejado en las distancias promedio de acceso a los *slots* B y C que en este escenario dieron como resultado 96 cm y 127 cm respectivamente, mientras que en el caso base fueron de 95 cm y 122 cm. Para el caso de los A la distancia promedio se mantuvo en 54 cm. Debido a la holgura horizontal que suponía la solución del caso base, el movimiento de la boca hacia la nueva posición permitió de todas formas distribuir los *slots* de forma similar y con ello, no sufrir un aumento significativo en la función objetivo.

Si bien la distancia a recorrer por el manipulador es mayor, esto no implica que deba descartarse esta ubicación de la cabina. El equipo de trabajo encuentra razonable asumir este leve aumento si se desea situarla en el segundo ambiente. Es importante mencionar que esta ubicación no es tan flexible a la hora de almacenar más días de demanda. Debido a que la boca de dispensación se encuentra hacia uno de los lados de la cabina, incorporar nuevos *slots* resultaría en recorridos más ineficientes que en la ubicación de la cabina en el caso base. Esto es así ya que si se deseara llenarla no sería posible ubicar la totalidad de los *slots* de forma simétrica alrededor de la boca.

En la Figura 72 se presenta la vista frontal de la cabina según la solución obtenida.

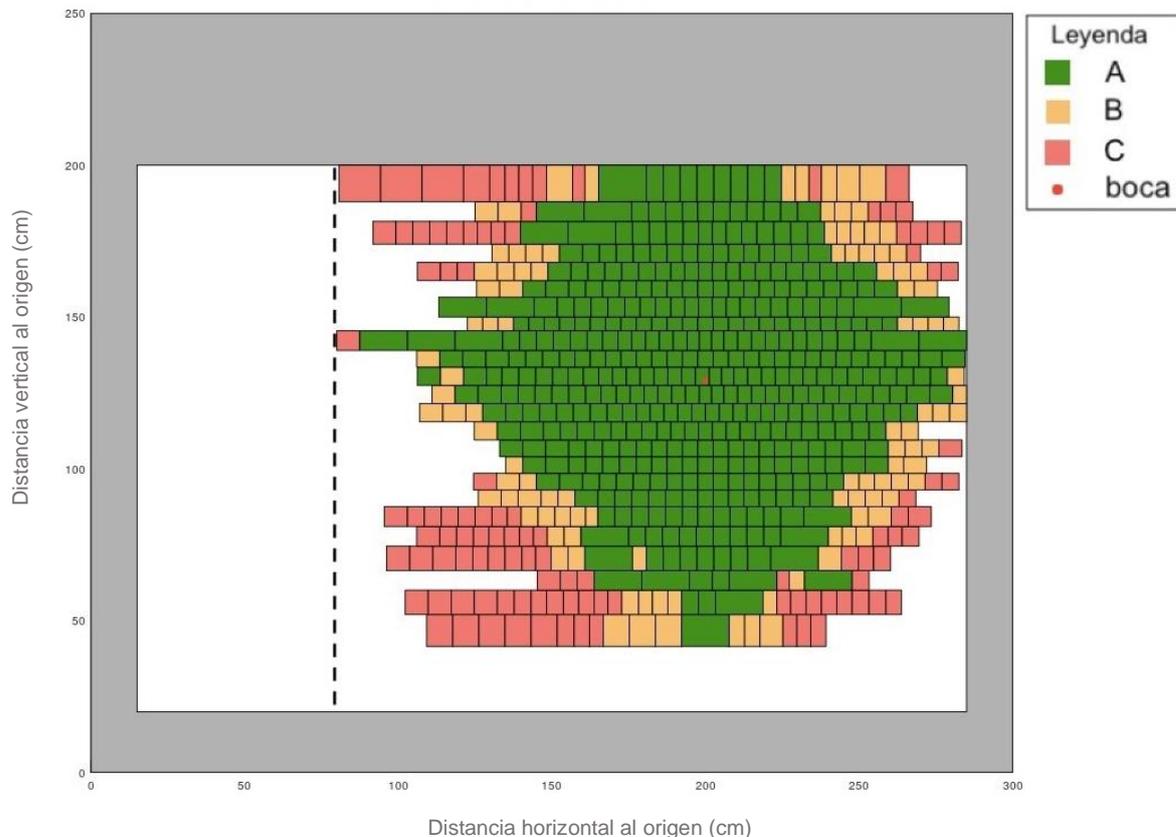


Figura 72. Vista frontal de la distribución de slots para E4 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

Se puede observar que en este caso, al igual que en E2, ninguna fila comienza a la altura de la boca. Resulta más conveniente iniciar una fila levemente por encima, para así poder alojar una fila más en la parte superior de la cabina, ya que con esto se logran menores distancias que si se ubicara en la parte inferior.

A diferencia del caso base, se puede notar en las filas más alejadas del tronco central que se ubicaron *SKUs* de rotación B y C intercalados con los de rotación A. Además en estas filas se observa una asimetría que tiende a ubicar los *slots* hacia el extremo izquierdo del centro de la boca de dispensación. Estas ineficiencias se atribuyen a que la solución obtenida no es la óptima sino que la mejor que se pudo obtener al cabo de 2 días de ejecución. De todas formas se respeta la priorización de rotaciones, ubicando de forma más cercana a la boca de dispensación a aquellos de rotación A.

En cuanto al porcentaje de ocupación de la cabina, se tiene una cierta holgura en la dimensión horizontal sobre el extremo izquierdo y se comprueba que este es igual al espacio total libre que supone la distribución del caso base. A diferencia de los escenarios anteriores, los *slots* comienzan a ubicarse a una distancia mayor del suelo, buscando posicionarse de forma simétrica alrededor de la boca que en este escenario se ubica a mayor altura que en el caso base.

#### 6.4.5. E5: Menor profundidad de la cabina

Resultó interesante para el equipo de trabajo estudiar la distribución de los *slots* en la cabina si se alterara la profundidad de la misma. Se descartó experimentar con una profundidad mayor dado que, debido a la inclinación de las canaletas, esto implicaría un incremento en la altura total de la cabina que sería físicamente inviable debido a la altura del techo. Por lo tanto, se presentará a continuación una alternativa con una profundidad reducida. Se espera que las distancias promedio de acceso a los *slots* sean mayores, ya que, al tratarse de canaletas más cortas, el número de *slots* a ubicar aumenta.

##### 6.4.5.1. Modificaciones respecto al caso base

En primer lugar, la profundidad de las canaletas se estableció en 75 cm, un 25% menos que en el caso base. Este valor se decidió tomando en cuenta las dimensiones de cabinas que se encuentran en el mercado. Con este dato y las demandas de los *SKUs*, utilizando la ecuación (60) se recalculó la cantidad de slots a almacenar por dupla talla-rotación, lo que constituye el parámetro  $S_{t,r}$ . Este totalizó 833 *slots*, un 27% más que en el caso base.

Para contemplar este aumento en la cantidad de *slots* a ubicar, se modificaron el número de filas  $nF$  y el número de columnas  $nC$  a 27 y 38 respectivamente. Comparando con el caso base, esto significa un aumento de 1 fila (dado que no es físicamente posible ubicar una mayor cantidad) y 6 columnas. Esto resulta en 1.026 ubicaciones posibles, dándole al modelo un 19% de posiciones más de las necesarias. Para considerar a la fila extra se debió extender el conjunto  $FT$  para incluir estas nuevas posiciones.

##### 6.4.5.2. Resultados obtenidos

El modelo corrió durante 2 días, resultando en una función objetivo de 31.676 cm y una distribución de *slots* que se presenta en la Figura 73.

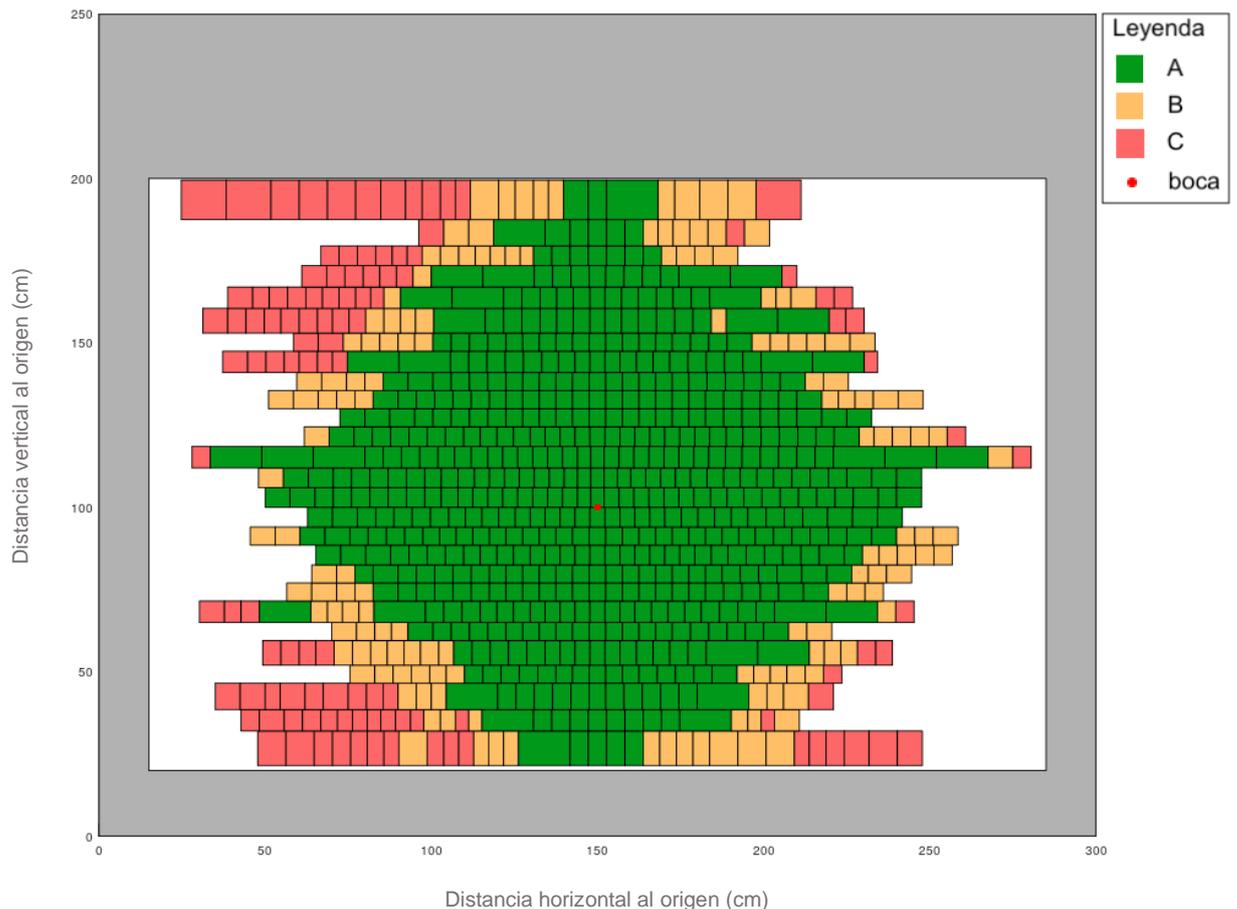


Figura 73. Vista frontal de la distribución de slots para E5 de la Etapa 2.  
Elaboración propia.

En términos de optimalidad se puede visualizar que al igual que en el escenario anterior, existe un pequeño ruido en la solución y una asimetría hacia el extremo izquierdo, que se atribuye a que la solución alcanzada no es la óptima. De igual manera que en el resto de los escenarios, la distribución se aproxima a una forma romboidal con los *slots* de mayor altura ubicados cerca de los extremos de la cabina.

Como se preveía, debido al aumento de 176 nuevos *slots* a ubicar, las distancias promedio de acceso a los *slots* por rotación son mayores que para el caso base: 62 cm para los A (8 cm más que en E0), 111 cm para los B (16 cm más que en E0) y 144 cm para los C (22 cm más que en E0). Esto permite extraer como conclusión que la profundidad de una cabina robotizada impacta directamente en los tiempos de dispensación, pues cuanto menos profunda sea, más *slots* será necesario mantener para un nivel de stock deseado. Esto obligará a un mayor esparcimiento horizontal y vertical, distanciando al almacenamiento del punto de reposo del manipulador.

Si bien se observa una distribución similar a la obtenida para el caso base, al dimensionar una cabina menos profunda se debe incurrir a cambio en una distribución más extendida horizontalmente. Comparando este escenario con el caso base, habiendo disminuido 25 cm la profundidad de las canaletas, es necesario utilizar 256 cm en el ancho mientras que en el caso base 204 cm. Esto lleva a pensar que es más conveniente hacer uso de la profundidad para reducir la superficie ocupada por la cabina.

Sin embargo, existe una restricción dada por las alturas de los techos, que impide tener completa libertad en esta dimensión, además de que una profundidad excesiva puede llevar a una subutilización del espacio disponible para el caso de los *SKUs* de menor rotación. Una alternativa para estos casos podría ser incluir únicamente en la cabina *SKUs* de media y alta rotación, manejando una gestión tradicional para los *SKUs* de baja rotación.

#### 6.4.6. Resumen de escenarios

A modo de resumen se presenta a continuación una tabla con la comparativa de los resultados arrojados por los distintos escenarios.

*Tabla 9. Comparativa de los resultados obtenidos con los distintos escenarios para la Etapa 2, luego de dos días de ejecución.*

Escenario	Función objetivo (cm)	Variación de la función objetivo	Ubicaciones			Distancia promedio a slot (cm)		
			Disponibles (c x f)	Necesarias	Holgura	A	B	C
<b>E0: Caso base</b>	21.286	-	32 x 26 = 832	657	21%	54	95	122
<b>E0*: Extensión</b>	59.849	181,17%	54 x 26 = 1.404	1.176	16%	81	144	173
<b>E1: Incorporación de demanda de SEIC</b>	33.241	56,16%	46 x 24 = 1.104	860	22%	64	118	154
<b>E2: Filas con altura única</b>	29.726	39,65%	56 x 15 = 840	657	22%	75	139	169
<b>E3: Movimiento de boca de dispensación a vértice de cabina</b>	42.589	100,08%	31 x 27 = 837	657	22%	109	190	240
<b>E4: Movimiento de boca de dispensación a pasaje entre ambientes</b>	21.379	0,44%	35 x 26 = 910	657	28%	54	96	127
<b>E5: Menor profundidad de la cabina</b>	31.676	48,81%	38 x 27 = 1.026	833	19%	62	111	144

Se puede concluir que la alternativa que presenta una mayor ventaja en términos de distancias recorridas es la del caso base, seguida por E4. Si bien la variación entre estas dos alternativas es baja, se entiende que es preferible la ubicación de la cabina tomada para el caso base por la flexibilidad que permitiría obtener ante un incremento de demanda, como puede ser la llegada del Servicio de Enfermedades Infectocontagiosas (SEIC). Esto es así porque con la ubicación en el segundo ambiente la boca se encuentra más próxima a uno de los extremos de la cabina, lo que perjudica la asignación de *slots* en forma simétrica alrededor de la boca.

Si se observan las distancias promedio de acceso a los *slots*, se tiene que la peor alternativa está dada por el movimiento de la boca hacia un vértice de la cabina; en comparación con E0 y E4 se necesita recorrer el doble de distancia.

Por último es interesante notar que ante un aumento en la cantidad de *slots* a almacenar dentro de la cabina, la respuesta de la función objetivo no aumenta en forma lineal sino que en una proporción mucho mayor. Esto muestra la contraposición que existe entre un almacenamiento mayor y los menores tiempos de dispensación.

## 7. Recomendaciones a la contraparte

Finalizada la implementación de los modelos matemáticos, el equipo de trabajo desea dedicar esta sección para documentar algunas recomendaciones que se entiende que podrán ser de utilidad para la contraparte en relación a su gestión logística.

Para llevar a cabo un proceso de automatización como el propuesto en la Etapa 2, es fundamental tener los cimientos apropiados en términos de información (datos maestros de artículos, usuarios), estructura (identificación por códigos de barras, prescripción electrónica), conocimiento sobre los procesos y entrenamiento del personal para trabajar con la nueva tecnología. Es necesario lograr una cierta madurez en estos aspectos para que la tecnología a implantar sea eficiente, aporte valor y sea bien recibida en el Hospital Pasteur (HP).

Teniendo esto en cuenta se busca esbozar un plan de acción con las mejoras a incorporar en el corto, mediano y largo plazo con el objetivo de lograr el éxito en su implementación. La división en fases escalonadas se entiende conveniente para una gestión del cambio gradual, comenzando por aquellas más asequibles e incrementando la profundidad de los cambios una vez que los mismos estén incorporados.

### 7.1. Fase 1: acciones a corto plazo

La fase inicial del plan de acción propuesto por el equipo de trabajo se enfocará en aquellas mejoras de gestión que impliquen menor esfuerzo, tanto económico como logístico, pero que sin embargo podrían ser provechosas para Despacho Ambulatorio (DA) en la operativa diaria.

En primer lugar, se entiende fundamental la habilitación de la cuarta ventanilla de dispensación con la que cuenta físicamente DA. Actualmente, la misma no está funcional por ausencia de equipamiento informático; el equipo de trabajo considera que esta restricción de costo reducido sería recomendable atacarla, pues permitiría aumentar en un 33% la capacidad de procesamiento de usuarios, aliviando al cuello de botella del flujo de proceso de despacho.

En línea con lo anterior, se sugiere poner en práctica el uso de códigos de barra para la identificación de *SKUs* en la operativa diaria de DA. Esta tecnología tan extendida en la gestión de cadenas logísticas de cualquier índole permite una captura e identificación de datos rápida. Según [28], se pueden procesar datos tres o cuatro veces más rápido que con el teclado común. Allí también se habla del bajo costo que supone implementar esta herramienta, dado que los códigos de barras ya se encuentran impresos en los paquetes.

Al momento, DA cuenta con el *hardware* necesario para implementarlo, sin embargo, a nivel de datos maestros existe un camino por recorrer pues no se cuenta con la relación mapeada entre un medicamento y sus posibles códigos de barras asociados en la base de datos central de ASSE.

Durante la realización de este proyecto de grado, el equipo de trabajo se puso en contacto con las personas encargadas de la gestión de la base de datos de medicamentos de ASSE y realizó un relevamiento exhaustivo de los códigos de barras presentes en DA, para detectar aquellos que no estuvieran cargados en la base de datos de ASSE. Esta información fue enviada para su actualización o incorporación al sistema.

Tratándose de procedimientos tan sensibles como el despacho de medicación a usuarios ambulatorios, el equipo de trabajo desea enfatizar en la importancia de mantener datos

maestros correctos y actualizados. Con esto se logra un doble beneficio, tanto en la velocidad de servicio como en la verificación de la medicación despachada, al tener la posibilidad de escanear el medicamento previo a entregarlo.

Además, se propone realizar un análisis ABC del inventario actual con el objetivo de poder categorizar los artículos según su rotación y así tomar decisiones sobre dónde ubicarlos físicamente. En Anexo IX: Reportes se presenta el gráfico de Pareto asociado. Como se mencionó en la sección 3.1.3, DA cuenta con un layout fraccionado, donde las estanterías de menor capacidad tienen una ubicación mucho más cercana a las ventanillas de despacho, lo que se traduce en un menor tiempo de *picking*. El equipo de trabajo considera importante estudiar los datos históricos para poder realizar una toma de decisiones fundamentada acerca de cuáles *SKUs* es conveniente ubicar allí.

Con una correcta segmentación del inventario los recorridos para armar un pedido se vuelven más cortos, dado que hay una alta probabilidad de que estos se conformen por *SKUs* de alta rotación, ubicados en forma cercana entre sí y próximos a las ventanillas de atención.

Con el análisis ABC y la segregación en las distintas estanterías según este criterio, es posible ir un paso más allá e implementar el sistema *Two-Bin* para la gestión de stock de los medicamentos de más alta rotación. Este sistema, como se mencionó en 2.2.3, busca optimizar la gestión de estos medicamentos a través de una metodología basada fuertemente en indicaciones visuales, para minimizar el tiempo invertido en controlarlos y reponerlos. Para su puesta en funcionamiento no se requieren grandes inversiones ni modificaciones de layout, sino que el único requisito es contar con algún tipo de estructura, *bin* cerrado o bolsa precintada, que permita almacenar el stock en forma segura, habilitando la posibilidad de contarlos y trasladarlos como una única unidad.

El equipo de trabajo entiende que el sistema *Two-Bin* sería beneficioso para DA porque solventa en parte la contraposición que existe entre la cantidad de stock a mantener y el tiempo invertido en controlarlo. Si se extienden los límites del volumen de control considerado para este trabajo, la incorporación de *Two-Bin* en DA también beneficiaría al Depósito Central (DC), pudiendo aprovechar mejor el mayor volumen de la nueva ubicación de DA y descongestionando al mismo tiempo las estanterías de DC, que suelen trabajar a tope.

La forma de implementación sugerida por el equipo de trabajo consiste en utilizar las estanterías de la zona de ventanillas como las únicas que despachan medicamentos de rotación A al público. La mayor parte de la capacidad de las estanterías móviles oficiaría como un stock pulmón dentro de DA, desde donde reponer en paquetes completos cuando sea necesario.

Se sugiere utilizar las estanterías del segundo ambiente para medicamentos de rotación B y C. Si bien estarán ubicados en zonas más lejanas a las ventanillas de despacho, en el entendido de que estos tienen menor probabilidad de salidas, se estaría reduciendo el tiempo de *picking* promedio y por tanto brindando un servicio más ágil al público. Una forma de mejorar aún más el tiempo de *picking* sería aprovechar el vano existente en la pared que separa la zona de ventanillas con la zona posterior de DA, abriéndolo y transformándolo en un pasaje alternativo entre las dos zonas. Esta modificación en el layout no implica grandes obras y de acuerdo a lo consultado con la arquitecta vinculada al Hospital Pasteur (HP), sería viable de realizar.

Otra oportunidad de mejora en el corto plazo es la de modificar la repartición de los *SKUs* en las planillas de balance de inventario (ver sección 3.1.4.3) según la estantería donde se

ubiquen los *SKUs*. Actualmente, estas planillas se encuentran ordenadas según los grupos terapéuticos, orden que no se condice con el ordenamiento físico en DA. Agrupar las planillas por estantería permitiría un conteo más ágil, liberando más rápidamente a los auxiliares para cumplir con las tareas de atención al público.

Se sugiere modificar la política utilizada hasta el momento para la gestión de inventarios. Como fue mencionado anteriormente, DA utiliza niveles de stock a mantener, determinados en base semanal. Sin embargo, al carecer de un punto de pedido el stock es revisado diariamente y se disparan órdenes de reposición en caso de que cualquier día el stock de un *SKU* esté por debajo de su valor fijo.

Lo propuesto por el equipo de trabajo es una migración hacia un sistema Mín-Máx con punto de pedido. De igual forma que la situación actual, este sistema es compatible con una revisión diaria del stock, pero únicamente dispararía órdenes de reposición en caso de estar por debajo del punto de pedido.

Paralelamente, se sugiere fuertemente revisar los niveles de stock fijados en el sistema informático para todos los *SKUs* en stock, pues de los relevamientos realizados se desprende que muchos están desactualizados e incluso algunos artículos no cuentan con un stock deseado en el sistema. Este estudio y las modificaciones que surjan, permitirán al DA contar con niveles de stock más ajustados a sus necesidades.

Por último, se entiende fundamental la inclusión en los tickets de atención al público la fecha y hora de emisión para mejorar el sistema de espera de DA. Con este insumo se podrían realizar análisis de tiempos, hallar los picos de demora en la farmacia y medir el impacto de las mejoras implementadas.

En Anexo IX: Reportes se presentan distintos gráficos realizados a partir de los despachos, que permiten extraer información sobre el horario pico de usuarios y cantidad de unidades despachadas. Teniendo esto en cuenta, se podrían distribuir las tareas a lo largo del día de forma tal que en los horarios pico se cuente con la totalidad del personal en tareas de atención al público y *picking* de medicamentos, mientras que en los horarios de menor concurrencia podrían realizarse tareas vinculadas a reposición y controles.

## 7.2. Fase 2: acciones a mediano plazo

Con las bases sentadas de la fase anterior, se sugiere escalar hacia la incorporación de tecnología en la operativa diaria, para una mayor eficiencia en los procesos.

En primer lugar, podrían incorporarse dispositivos *handheld* (o colectores) que permitan realizar balances de inventario de forma significativamente más rápida y con menor tasa de errores. Estos dispositivos deberán contar con integración al sistema informático de ASSE para acceder a los niveles de stock virtuales y permitir manejo multiusuario para mantener registro de los movimientos por auxiliar de farmacia. Combinado con la tecnología de códigos de barra mencionada en la sección anterior, el procedimiento de balance comenzaría con un requerimiento de conteo por parte del dispositivo *handheld*, una aproximación y escaneo de código de barra por parte del auxiliar e ingreso de cantidad contada. Automáticamente se realiza el chequeo de cantidades y se tiene información rápida para tomar decisiones en caso de detectarse diferencias.

Existe la posibilidad de ir un paso más allá e incorporar funcionalidades de *WMS* (sistema de gestión de almacenes, por sus siglas en inglés) en los colectores, que permitan mapear

las distintas posiciones de las estanterías y asociarlas con los códigos de barras almacenados en ellas. La principal ventaja de esta mejora es lograr la asignación posición-artículo, ayudando a los auxiliares a encontrar más rápidamente la mercadería así como también pudiendo realizar conteos diarios por estantería y que el sistema vaya solicitando los artículos a contar para no olvidar ninguno.

Por otro lado, sería beneficioso integrar un módulo en el sistema informático de ASSE que incluya un sistema de optimización de similares características al planteado en la Etapa 1 de este informe de grado, que se alimente de los datos históricos de despachos del DA y en base a estos datos permita actualizar todos los puntos de pedido y stocks máximos del sistema. La actualización podría realizarse en base mensual o con una frecuencia que responda a estacionalidades, con el fin de adaptarse a las fluctuaciones de la demanda.

Un aspecto que el equipo de trabajo estima que tendrá un impacto significativo en los tiempos logísticos dentro de DA, es la inclusión de la receta electrónica. Actualmente, existe un proyecto en desarrollo en ASSE para su implementación, que si bien está retrasado, se estima su salida en vivo en el presente año 2021.

La receta electrónica implica que toda la información vinculada a las recetas prescritas por un médico, estén cargadas directamente en el sistema informático y disponibles para las partes interesadas en el momento apropiado. Particularmente, para los despachos por ventanilla significarían una gran mejora respecto a la situación actual, en el entendido de que introducen varias mejoras, tanto directas como indirectas para el servicio [46]:

- Mejoran aspectos vinculados al contenido de la receta: legibilidad, completitud y seguridad (inalterabilidad de su contenido).
- Disminuyen los errores de dispensación.
- Mejoran el nivel de servicio al usuario en cuanto a su satisfacción y disminución de quejas y reclamos.
- Delimitan responsabilidades: el médico es quien completa la receta y el auxiliar de farmacia se encarga únicamente de despachar lo prescripto.
- Aumentan la agilidad en el proceso de despacho, por disminución de tiempos de procesamiento.
- Logran una mayor trazabilidad de las recetas de los usuarios.

### 7.3. Fase 3: acciones a largo plazo

Una vez que el hospital haya avanzado en los aspectos mencionados en las fases anteriores, se podría incorporar una automatización que permita consolidar muchas de las mejoras sugeridas y lograr que la interacción auxiliar-paciente sea de mayor calidad.

Como punto de partida para la incorporación de la cabina robotizada es fundamental integrar su sistema informático con el del hospital. Esto permite enviar órdenes de *picking* al robot para poder cumplir con los pedidos de los usuarios. Además, permite tener una gestión en tiempo real del stock y reabastecer a la cabina de acuerdo a su política de inventarios. Las órdenes de reposición se enviarían automáticamente a Depósito Central (DC) sin necesidad de que sea el personal quien revise los niveles de stock. Lo anterior se potenciaría aún más con el uso de la receta electrónica ya que se reducirían los errores en las órdenes enviadas al robot. Además, el sistema actual de Despacho Ambulatorio (DA) no permite tener trazabilidad a la hora de despachar un *SKU*. Este problema se podría atacar dado que el sistema automatizado a implantar permite una gestión de vencimientos y lotes.

Si bien hay características que impiden almacenar dentro de la cabina a todos los *SKUs*, sí es posible almacenar cerca de un 80% del total. Con esto, se logra una reducción del tiempo empleado en los balances que realizan los auxiliares diariamente en DA, dado que el stock de estos *SKUs* se mantiene almacenado de forma segura e inaccesible. Este punto también permite excluir acciones de personas no autorizadas, dado que solamente aquellas que hayan iniciado sesión en el sistema informático de la cabina podrán realizar procesos de carga y descarga. Se garantiza visibilidad y correctitud de los niveles de stock indicados en el sistema, lo que permite solventar las diferencias comúnmente encontradas en la actualidad.

La incorporación de la cabina robotizada también implica una liberación del tiempo utilizado hoy en día en tareas relacionadas a reposiciones. Como se vio en secciones anteriores, la tolva y el manipulador de reposición, permitirán hacer tender a cero el tiempo insumido en esta tarea, pues únicamente se invertirá tiempo en la recepción y control de correctitud de las reposiciones.

Gracias a las reducciones de tiempo de balance y reposición, el personal podría volcarse plenamente a la atención en ventanillas en los horarios de mayor afluencia de usuarios, disminuyendo considerablemente los elevados tiempos de espera que estos experimentan.

El equipo de trabajo sugiere complementar los beneficios de la cabina con la incorporación de una terminal de auto-anuncio en la sala de espera, donde los usuarios puedan reportarse al ingresar a la farmacia a través de su cédula de identidad. Mediante información centralizada y las ventajas otorgadas por la receta electrónica, podrán indicar qué vinieron a buscar y que con ello se dispere una orden de preparación de pedidos. Lo anterior implica una nueva forma de pensar el flujo del proceso, donde la interacción auxiliar-usuario comience con el pedido ya preparado y pronto para su entrega.

Es importante mencionar que en caso de decidir invertir en el sistema automatizado, se debería llevar adelante un análisis económico y financiero para estudiar la viabilidad del proyecto. El equipo de trabajo llevó a cabo un relevamiento de las opciones disponibles en el mercado internacional y estima que la inversión sería no menor a € 50.000 (ver Anexo I: Resumen de proveedores).



## 8. Conclusiones

En el presente trabajo se estudiaron los procesos logísticos de la farmacia del Hospital Pasteur (HP), centrando el análisis particularmente en el Despacho Ambulatorio (DA). El objetivo fue abordar los tiempos asociados a las actividades que repercuten directamente en la atención al público, utilizando como herramientas el modelado y la programación matemática e incursionando en temas de robótica aplicada.

Para cumplir con el objetivo del proyecto fue necesario en primer lugar comprender al sistema y las interacciones entre sus partes. Para esto el equipo de trabajo realizó diversas visitas en las que se pudo interactuar con el personal del hospital y conocer el funcionamiento del día a día de DA. En estas visitas se identificaron puntos de mejora de gestión presentados en la sección 7 como recomendaciones a la contraparte. Además, se relevaron datos que fueron clave para luego poder modelar el problema e implementarlo computacionalmente. Debido al potencial de mejora identificado en los procesos actuales del DA, se plantearon dos soluciones en forma incremental.

En primer lugar, se propuso un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) que busca establecer una política de inventario que minimice los tiempos asociados a las actividades de reposición y gestión del inventario. Utilizando como modelo de reposición al sistema Mín-Máx, se introdujo el concepto de punto de pedido para obtener valores del stock máximo a mantener en DA, así como también los días en que se tendrían que efectuar las reposiciones.

Además, se propone una segregación del inventario en las distintas estanterías utilizando una clasificación ABC y un sistema de tipo *Two-Bin* que introduce una nueva forma de almacenar el stock haciendo uso de paquetes precintados. Posteriormente se ensayaron distintos escenarios para estudiar cómo sería la planificación en el caso de un aumento de demanda, un aumento en el nivel de stock deseado a mantener o un cambio en el *leadtime*.

Una vez estudiadas estas recomendaciones y asumiendo una alta eficiencia en los procesos, se propuso en una segunda instancia la implementación de un sistema de dispensación automática. La solución automatizada planteada permitiría que una gran parte del proceso pueda ser llevada a cabo de manera eficiente, lo que tiene repercusiones positivas tanto en la correctitud del pedido a ser entregado al usuario como en la gestión de esperas y reclamos. Para ello se estudiaron las distintas alternativas presentes en el mercado, optando por una infraestructura de cabina de tipo canaletas inclinadas, que es la que mejor se adapta a la realidad del HP.

Dado que el caso de estudio se centra un hospital público que no percibe ingresos por sus servicios, el impulsor para este tipo inversiones no es puramente numérico sino que está fuertemente ligado a mejorar el servicio brindado a la población. No es tan sencillo ni directo calcular la tasa de retorno de la inversión o el período de repago, pues los beneficios esperados apuntan a la disminución de errores y tiempos de espera, con la consecuente mejora en la calidad del servicio.

Luego de elegido el sistema se planteó un modelo MILP, que busca dimensionar y hallar la distribución óptima de los *slots* dentro de la cabina. Siguiendo el principio de Pareto se reclasificaron los *SKUs* para tener en cuenta únicamente aquellos con presentación secundaria caja, que son los que se pueden almacenar dentro de la cabina. Para distribuir

las posiciones alrededor de la boca de dispensación se tuvo en cuenta el nuevo ABC, priorizando aquellos de mayor rotación con el fin de lograr menores tiempos de dispensación.

Se propuso también una metodología para el cálculo de talles, que sirven para poder almacenar en una misma canaleta cajas de diferentes tamaños. Esta podría servir para futuros trabajos de diseño de dispensadores automáticos. Se entiende que la solución propuesta tiene un gran valor para el HP por el nivel de detalle del estudio realizado respecto a las medidas de cajas de medicamentos. Según lo investigado y dialogado con expertos en el área<sup>3</sup>, se halló que no es común encontrar análisis que tengan un nivel tan detallado como el sugerido.

Al igual que para el primer modelo, se exploraron análisis de sensibilidad en los que se estudió un aumento de demanda y alternativas de ubicaciones de boca de dispensación así como también modificaciones en los parámetros estructurales como ser la profundidad de la cabina.

Si bien la solución planteada en la Etapa 2 permite automatizar muchas actividades repetitivas que actualmente deben realizar los auxiliares de DA, con las mejoras propuestas en la Etapa 1 se logra disminuir el tiempo invertido en ellas. La utilización de paquetes precintados supone que una gran cantidad del stock podrá ser controlado de a veinte unidades en lugar de individualmente. De la Etapa 1 se extrajo que la tarea de gestión de inventarios más demandante es la de balances diarios. Con la introducción del sistema automatizado se logra reducir considerablemente el tiempo invertido en esta tarea, teniendo en cuenta que más del 80% de los *SKUs* pasan a almacenarse dentro de la cabina.

Finalmente, el equipo de trabajo desea transmitir su gratitud por poder aportar desde el lugar que le corresponde, al sector de la salud pública en Uruguay, especialmente en años tan particulares como el 2020 y 2021 donde vieron su demanda aumentada, así como también grandes modificaciones en la operativa diaria.

---

<sup>3</sup> Entrevista con ingenieros encargados de la implementación de cabinas robotizadas en Uruguay.

## 9. Trabajos futuros

El equipo de trabajo proyecta que en trabajos futuros sería de interés extender el alcance del estudio realizado para considerar otras áreas relacionadas con el Despacho Ambulatorio (DA). Más específicamente, se entiende oportuno incluir al Depósito Central (DC) que actualmente trabaja al límite de sus capacidades y cuenta con la misma restricción de recursos humanos estudiada en el DA. Otras áreas del Departamento de Farmacia que presentan oportunidades de mejora en términos de optimización del inventario son los de Dosis Unitaria y CTI, estos se ven afectados por un alto congestionamiento causado por stock excesivos y falta de organización. Considerando un alcance aún mayor, el equipo de trabajo entiende que el Hospital Pasteur (HP) se vería ampliamente beneficiado por un estudio integral de sus operaciones logísticas.

Respecto al modelo matemático presentado en la Etapa 1, se entiende que es un modelo con gran potencial pero que aún se encuentra en una fase de maduración temprana, donde una persona sin experiencia en optimización matemática no podría aprovecharlo. Para poder tomar las decisiones estratégicas planteadas e introducirlas como parte de la gestión, tanto del HP como de otras instituciones con similares características en su operación logística, sería recomendable trabajar en una herramienta de apoyo que permita la parametrización e integración con el *software* de gestión del hospital. Con esto se podrían tomar datos desde distintas fuentes de forma dinámica. Lograr esta integración permitiría, entre otras ventajas, considerar estacionalidades de la demanda de forma más precisa.

En lo que respecta al modelo matemático presentado en la Etapa 2, si bien la solución alcanzada tiene un alto valor, la limitación dada por la forma en que se consideró la distancia (norma-1 en lugar de norma-2) podría ser solventada si se tuviese acceso a un *solver* no lineal y no cuadrático. Además, con una mayor capacidad de cómputo sería posible correr los modelos, tanto de la Etapa 1 como de la Etapa 2 hasta obtener sus respectivas soluciones óptimas.

Una posibilidad de escalar el modelo presentado en la Etapa 2, consiste en la incorporación de la composición de los pedidos como factor a considerar a la hora de decidir qué *SKU* asignar a cada *slot* (talle-rotación). Por motivos de plazos y de acceso a la información necesaria, esto quedó fuera del alcance del presente trabajo. Adicionalmente, se recomienda extender el estudio de la solución automatizada para incluir al proceso de reposición en el modelo matemático. Podría ser interesante, por ejemplo, establecer una política de inventarios que permita definir las frecuencias y tamaños óptimos de reposición y así determinar la cantidad de stock a mantener en la cabina.



## Bibliografía

- [1] Decreto Ley N°15703. Ley de farmacias, 11 Enero 1985.  
Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-ley/15703-1985>. [Último acceso: Abr, 2021].
- [2] Decreto N° 18/989. Información y publicidad de medicamentos, 24 Enero 1989.  
Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/18-1989>. [Último acceso: Abr, 2021].
- [3] Decreto Ley N° 14294. Ley de estupefacientes. Listas I y II de la convención única de Nueva York. Lista I sobre sustancias sicotrópicas Viena. Medidas contra el comercio ilícito de drogas, 11 Noviembre 1974.  
Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-ley/14294-1974>. [Último acceso: Abr, 2021].
- [4] "Estándar Nacional de Buenas Prácticas de Farmacia Hospitalaria", Asociación de Química y Farmacia del Uruguay, Uruguay, 2019.
- [5] R. Schroeder, M. Goldstein y M. Rungtusanatham, *Administración de operaciones*. Ciudad de México: McGraw-Hill, 2011.
- [6] "Gestión de materiales e inventarios", Material de estudio, ANCAP, 2013. [En línea]  
Disponible en:  
[https://llamados.ancap.com.uy/docs\\_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2013/REF%2026\\_2013%20%20%20OPERARIO%20DEP%C3%93SITO/MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/5%20GESTION%20DE%20MATERIALES%20E%20INVENTARIOS.PDF](https://llamados.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2013/REF%2026_2013%20%20%20OPERARIO%20DEP%C3%93SITO/MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/5%20GESTION%20DE%20MATERIALES%20E%20INVENTARIOS.PDF). [Último acceso: May, 2021].
- [7] P. Kings, "Understanding safety stock and mastering its equations", *APICS*, 2011.
- [8] "Analítica aplicada a la planificación de la oferta y la demanda", Notas del curso, Centro de Innovación en Organización Industrial, 2020.
- [9] R. Ballou, *Logística*. Ciudad de México: Pearson Educación, 2004.
- [10] "What is a 2 bin kanban system? | How it Works? | Advantages | Example", *Orderhive*, 2020. [En línea].  
Disponible en: <https://www.orderhive.com/two-bin-kanban-inventory-system>. [Último acceso: Feb, 2021].
- [11] R. Lynn, "How a 2 Bin Kanban System Works | Planview", *Planview*. [En línea].  
Disponible en: <https://www.planview.com/resources/articles/lkdc-2-bin-kanban-system/>. [Último acceso: Feb, 2021].

- [12] B. Denton, *Handbook of Healthcare Operations Management: Methods*. New York: Springer, 2013.
- [13] M. Gebicki *et al.*, "Evaluation of hospital medication inventory policies", *Health Care Management Science*, vol. 17, 2014.
- [14] C. Rosales, "Technology Enabled New Inventory Control Policies in Hospitals", Ph.D, University of Cincinnati, Cincinnati, OH, USA, 2011.
- [15] Decreto N° 318/002. Establecimientos farmacéuticos. Dispensación de medicamentos. Regulación en la prescripción de medicamentos. Profesionales médicos y odontólogos, 20 Agosto 2002.  
Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/318-2002/1>. [Último acceso: Abr, 2021].
- [16] Ó. P. Gutiérrez, "Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios", 2009. [En línea].  
Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-35922009000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922009000100009). [Último acceso: May, 2021].
- [17] *Robots and robotic devices - Vocabulary*. Norma ISO 8373:2012.
- [18] A. Barrientos *et al.*, *Fundamentos de robótica*. 2da ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 2007.
- [19] "Robots colaborativos vs robots industriales", *Robotnik*, 2021. [En línea].  
Disponible en: <https://robotnik.eu/es/robots-colaborativos-vs-robots-industriales>. [Último acceso: May, 2021].
- [20] J. Torres Sánchez, "Diseño de trayectorias del efector final de un robot manipulador para la evitación de obstáculos", Proyecto de fin de carrera, Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, España, 2015.
- [21] A. Bueno. "Unidad didáctica: Control y Robótica", Notas del curso, Instituto de Educación Secundaria Gonzalo Anaya de Xirivella. [En línea].  
Disponible en: [http://www.portaleso.com/web\\_robot\\_3/robot\\_indice.html](http://www.portaleso.com/web_robot_3/robot_indice.html). [Último acceso: Jun, 2021].
- [22] M. Groover, *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. 4ta ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education, 2015.
- [23] "Unit 6: Industrial Robotics", Notas del curso, National University of Ireland Galway.
- [24] M. Mihelj *et al.*, *Robotics*, Ljubljana, Eslovenia: Springer, 2019.

- [25] "RFID Guides AGV in suspension production", *Turck*. [En línea].  
Disponible en: <https://www.turck.de/en/rfid-guides-agv-in-suspension-production-6870.php>. [Último acceso: Ene, 2021]
- [26] "Implantación del AGV Weasel de SSI Schaefer", *Revista Inforetail*, 2016. [En línea].  
Disponible en: <https://www.revistainforetail.com/noticiadet/implantacion-del-agv-weasel-de-ssi-schaefer/6406dc47e8993525c755837abc0a8ac9>. [Último acceso: Jun, 2021].
- [27] "AGV navigation methods 2: virtual path following", *Bluebotics*. [En línea].  
Disponible en: <https://bluebotics.com/fr/agv-navigation-methods-virtual-path-following>. [Último acceso: Mar, 2021]
- [28] B. Niebel y A. Freivalds, *Ingeniería Industrial*, Ciudad de México, México: McGraw-Hill Interamericana, 2009.
- [29] "Developing Automated Guided Vehicles for Internal Factory Material Movements", *Vaisala*, 2019. [En línea].  
Disponible en: <https://www.vaisala.com/en/blog/2020-06/developing-automated-guided-vehicles-internal-factory-material-movements>. [Último acceso: Dic, 2020].
- [30] K. Niechwiadowicz and Z. Khan, "Robot Based Logistics System for Hospitals - Survey", 2008. [En línea].  
Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/255575768\\_Robot\\_Based\\_Logistics\\_System\\_for\\_Hospitals\\_-\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/255575768_Robot_Based_Logistics_System_for_Hospitals_-_Survey). [Último acceso: May, 2021].
- [31] "Socialminister Göran Hägglund träffade roboten Kermit", *Robotnyheter*, 2011. [En línea].  
Disponible en: <https://robotnyheter.se/2011/04/21/socialminister-goran-hagglund-traffade-roboten-kermit/>. [Último acceso: Nov, 2020]
- [32] J. Garriga Jiménez, "Sistema de almacén y dispensación robotizada de productos farmacéuticos", Proyecto de fin de carrera, Universitat de Vic, Catalunya, España, 2008.
- [33] M. Ángeles, "¿Qué es el Código EAN y para qué sirve?", *GS1Mexico*. [En línea].  
Disponible en: <https://blog.gs1mexico.org/que-es-codigo-ean-para-que-sirve>. [Último acceso: Set, 2020]
- [34] "Consis sistemas de robots", *Willach Pharmacy Solutions*. [En línea].  
Disponible en: <https://www.willach-pharmacy-solutions.com/ES/consis-sistemas-de-robots>. [Último acceso: Ene, 2021].

- [35] "Almacén automatizado farmacia", *Pharmatek*. [En línea].  
Disponible en: <https://www.pharmathek.com/es/almacen-automatizado-farmacia/>.  
[Último acceso: Ene, 2021].
- [36] "Drug dispensing goes digital", *Pharma Technology Focus*, 2021. [En línea]  
Disponible en: [https://pharma.nridigital.com/pharma\\_may21/drug\\_dispensing\\_digital](https://pharma.nridigital.com/pharma_may21/drug_dispensing_digital).  
[Último acceso: Ene, 2021].
- [37] "98º Aniversario del Hospital Pasteur: Centro de Referencia Nacional de ASSE en distintas especialidades", *Web ASSE*, 2020. [En línea].  
Disponible en: <https://www.asse.com.uy/contenido/98-Aniversario-del-Hospital-Pasteur-Centro-de-Referencia-Nacional-de-ASSE-en-distintas-especialidades-12720>.  
[Último acceso: Ene, 2021].
- [38] ASSE Comunica, "Hospital Pasteur inaugura sus nuevas y modernas instalaciones del servicio de Farmacia, con una nueva ventanilla para entrega de medicamentos, sala de espera y área de almacenamiento. Espacios más amigables, confortables y con mejor circulación, para usuarios y funcionarios", 26 Dic. 2017 [Tuit].  
Disponible en: <https://twitter.com/ASSEcomunica/status/1210218092376338432>.  
[Último acceso: May, 2020].
- [39] Omnicell International, "UK - Omnicell Robotic Dispensing System". [Video].  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=3Wkfn5ke3QI> [Último acceso: Ene, 2021]
- [40] Mach4 Robots de Farmacia, "Expedy store - The smart medicine storage". [Video].  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=aFAeBe3hReQ>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [41] "Farmacia Hospitalaria", Notas del curso, Talleres de actualización en Farmacia, Possum Consulting, 2018. [En línea].  
Disponible en: [http://www.cocemi.com.uy/docs/Farmacia\\_ambulatoria.pdf](http://www.cocemi.com.uy/docs/Farmacia_ambulatoria.pdf) [Último acceso: Jun, 2021]
- [42] M. Alsina Martí, "Design of an Automatic Dispenser of Packed Medicaments" Proyecto de fin de carrera, Universitat politècnica de Catalunya, Catalunya, España, 2014.
- [43] J. Zang, C. Yun y Z. Zhang, "The Planning of Dense Storage Input/Output Based on a Minimum Time Algorithm", *International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2009.
- [44] Mach4 Robots de Farmacia, "Mach4 Omnicell". [Video].  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9LCUao-288o>. [Último Acceso: Ene, 2020]

- [45] Mach4 Robots de Farmacia, "SpeedBox Mach4". [Video].  
Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=ITF3I\\_lid7M](https://www.youtube.com/watch?v=ITF3I_lid7M). [Último Acceso: Ene, 2020].
- [46] "Receta Digital Nacional", *Sitio oficial de la República Oriental del Uruguay*, 2021. [En línea].  
Disponible en: <https://www.gub.uy/agencia-gobierno-electronico-sociedad-informacion-conocimiento/node/3299> [Último acceso: Mar, 2021].
- [47] "Consis E", *Willach Pharmacy Solutions*, Alemania. [En línea].  
Disponible en: [https://www.willach-pharmacy-solutions.com/EN/pdfs/en/products/EN\\_Consis\\_E\\_pharmacy\\_robot\\_SF.pdf.pdf](https://www.willach-pharmacy-solutions.com/EN/pdfs/en/products/EN_Consis_E_pharmacy_robot_SF.pdf.pdf)  
[Último acceso: Feb, 2021]
- [48] "Consis B", *Willach Pharmacy Solutions*, Alemania. [En línea].  
Disponible en: [https://www.willach-pharmacy-solutions.com/EN/pdfs/en/products/EN\\_Consis\\_B\\_pharmacy\\_robot\\_SF.pdf](https://www.willach-pharmacy-solutions.com/EN/pdfs/en/products/EN_Consis_B_pharmacy_robot_SF.pdf) [Último acceso: Feb, 2021]
- [49] Pharmathek - Th. Kohl, "Euclid3D - Pharmathek". [Video].  
Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=SdbINp\\_MAM4](https://www.youtube.com/watch?v=SdbINp_MAM4). [Último Acceso: Ene, 2020].
- [50] Omnicell International, "UK - Omnicell Robotic Dispensing System". [Video].  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=3Wkfn5ke3QI>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [51] EXPOFARM, "Robot de farmacia Apostore 1000 de Expofarm". [Video].  
Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=IPxZTB15o\\_4](https://www.youtube.com/watch?v=IPxZTB15o_4). [Último Acceso: Ene, 2020].
- [52] BD, "In practice: Rowa Smart in a pharmacy". [Video].  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=erayPdbMNU0&t=9s>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [53] Kornel Firin, "EXPEDY - THE STORE". [Video].  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ENIrcXq9Ros&t=139s>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [54] Swisslog Healthcare Retail, "Swisslog/Tecnilab EvoTec 2017". [Video].  
Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=aylA3fTFRI4>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [55] "Euclid3D", *Pharmatek*, España. [En línea].  
Disponible en: <https://www.pharmathek.com/wp-content/uploads/2020/02/BrochPTK19-ES.pdf>. [Último acceso: Ene, 2020]

- [56] "Robotic Dispensing Machines", *Omnicell*, Inglaterra. [En línea].  
Disponibile en: <https://www.omnicell.co.uk/UK/docs/UK%20Robotic%20Dispensing%20Systems%20Brochure.pdf>. [Último acceso: Dic, 2020]
- [57] "Omnicell Corporative Presentation", *Omnicell*, 2015. [En línea].  
Disponibile en: <https://www.eoecph.nhs.uk/Omnicell-Final.pdf>. [Último acceso: Ago, 2020]
- [58] "Apostore A1000", *Apostore*, Alemania. [En línea].  
Disponibile en: <http://www.pharmauae.com/wp-content/uploads/2013/05/Apostore-1000.pdf>. [Último acceso: Set, 2020]
- [59] "BD Rowa Smart", *Rowa*, Alemania. [En línea].  
Disponibile en: <https://rowa.de/es/soluciones/almacenar-seleccionar/bd-rowa-smart/>. [Último acceso: Jul, 2021]
- [60] "AUT Series", *Expedy*, Hungría, 2017. [En línea].  
Disponibile en: <http://expedy.hu/en/models/aut-series>. [Último acceso: Ene, 2021]
- [61] "EvoTec", *Swisslog Healthcare*, Suiza. [En línea].  
Disponibile en: [https://www.swisslog-healthcare.com/-/media/swisslog-healthcare/documents/products-and-services/pharmacy-automation/evotec/201026\\_slhc\\_evotec\\_en\\_digital.pdf](https://www.swisslog-healthcare.com/-/media/swisslog-healthcare/documents/products-and-services/pharmacy-automation/evotec/201026_slhc_evotec_en_digital.pdf) [Último acceso: Ene, 2021]
- [62] Swisslog Healthcare Retail, "6 MACH4 Speedbox SA Dispensing Replanishment". [Video].  
Disponibile en: <https://www.youtube.com/watch?v=iY1IOGTzXxw>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [63] Willach Pharmacy Solutions, "Consis B pharmacy robot from Willach". [Video].  
Disponibile en: <https://www.youtube.com/watch?v=JicGVcyCCzU>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [64] Willach Pharmacy Solutions, "Consis E robot by Willach Pharmacy Solutions". [Video].  
Disponibile en: <https://www.youtube.com/watch?v=MobGmJ-Wx0M&t=6s>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [65] Fablox Robot, "FABLOX - pierwszy polski robot apteczny". [Video].  
Disponibile en: <https://www.youtube.com/watch?v=Gp7GdabyKI4>. [Último Acceso: Ene, 2020].
- [66] Mediflyer, "eXpedy Intro". [Video].  
Disponibile en: <https://www.youtube.com/watch?v=D3dKBPVc3PI>. [Último Acceso: Ene, 2020].

- [67] "Speed-Box – Stand Alone SA", *Aporx*, España. [En línea].  
Disponible en: <https://www.aporx.es/pdf/speedbox-stand-alone.pdf> [Último acceso: Set, 2020]
- [68] "Apotheka y Mach4, las mejores soluciones para la farmacia", *Imfarmacias*, España. [En línea].  
Disponible en:  
[https://www.imfarmacias.es/uploads/apotheka\\_mach4\\_mejores\\_9592\\_06113119.pdf](https://www.imfarmacias.es/uploads/apotheka_mach4_mejores_9592_06113119.pdf).  
[Último acceso: Set, 2020]
- [69] "Fablox 2.0", *Fablox*, Polonia. [En línea].  
Disponible en: <https://fablox.pl/robot-apteczny/fablox-2> [Último acceso: May, 2021]
- [70] "FL Series: Model of entrance to the world of automatics.", *Expedy*, Hungría [En línea].  
Disponible en: <http://expedy.hu/en/models/fl-series> [Último acceso: May, 2021]
- [71] R. Fitzpatrick *et al.*, "Evaluation of an automated dispensing system in a hospital pharmacy dispensary", *The Pharmaceutical Journal*, vol. 274, pp. 763-765, 2005.
- [72] L. Xiangquan *et al.*, "Design and Application for Automated Medicine Depositing and Dispensing System of Pharmacy", *International Conference on Computer Science and Information Technology*, Singapur, 2008.



## Anexos

### Anexo I: Resumen de proveedores

En esta sección se resumen las principales opciones de sistemas de dispensación automática que ofrece el mercado. En la Tabla 10 se presentan aquellos de tipo caótico, mientras que en la Tabla 11 se incluyen los de tipo inclinado.

Para cada proveedor se señala su costo, características estructurales de la cabina, volúmenes y peso que puede manejar el manipulador, así como datos relativos a la dispensación y la reposición. La ausencia de datos disponibles para alguno de los campos se señala con un guión. Finalmente se incluye un video para cada sistema, donde se puede ver su funcionamiento.

Tabla 10. Resumen de sistemas de dispensación automática de tipo caótico presentes en el mercado.

Proveedor	PHARMATEK	OMNICELL	APOSTORE	ROWA	EXPEDY	SWISSLOG
	Euclid3D	Medimat	Apostore1000	BD ROWA™ SMART	Aut series	EvoTec
Costo (EUR)	295.000	-	-	Desde 54.990	-	-
Alto(m)	De 2,0 a 4,0	De 1,7 a 3,5	De 2,0 a 3,6	De 2,5 a 2,8	De 2,4 a 3,5	2,0 a 3,5
Largo (m)	De 3,0 a 15,0	Desde 3,8 a 17,0	De 3,1 a 12,1	De 3,6 a 6,4	De 3,4 a 10,0	3,5 a 14
Profundidad (m)	1,4	1,3 a 1,6	1,27	De 1,3 a 1,6	De 1,3 a 1,6	1,6
Tamaño de cajas: ancho/profundidad/ alto (cm)	-	Mín. 1,4 x 3,4 x 1,4	-	Mín. 1,5 x 3,5 x 1,5	Mín. 2,0 x 6,0 x 1,0	-
	-	Máx. 16,0 x 25,0 x 14,0	Máx. 19,5 x 14,0 x 12,0	Máx. 14,0 x 12,5 x 23,0	Máx. 11,0 x 25,0 x 6,0	-
Peso máximo que puede manipular (g)	-	1.000	1,2	-	-	-
Capacidad de almacenamiento (cajas)	35.000	60.000	24.000	5.000-9.000	-	5.000-42.000
Reposición (cajas/hr)	250	350-1.200	-	-	300	-
Multi picking?	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Velocidad de dispensación (cajas/hr)	300	300	300-450	-	-	300
Video	[49]	[50]	[51]	[52]	[53]	[54]
Fuentes	[55]	[56,57]	[58]	[59]	[60]	[61]

Tabla 11. Resumen de sistemas de dispensación automática de tipo inclinado presentes en el mercado.

Proveedor	OMNICELL	WILLACH PHARMACY		FABLOX 2.0	EXPEDY STORE
	Speedbox	Consis B	Consis E		FL
Costo (EUR)	Desde 45.000	-	-	50.000 + 7.500 x módulo	-
Alto(m)	De 1,7 a 2,5	2,6	2,5	2,3	2,5
Largo (m)	3,1	2,7	3,5	De 2,6 a 5,6	3,4
Profundidad (m)	0,9	1,6	1,8	De 0,7 a 0,9	1,4
Tamaño de cajas: ancho/profundidad/ alto (cm)	Mín. 2,4 x 3,5 x 1,4	-	-	-	Mín. 2,0 x 4,0 x 1,0
	Máx. 16,0 x 25,0 x 11,1	-	-	Máx. 12,0 x 18,0 x 8,0	Máx. 11,0 x 25,0 x 6,0
Peso máximo que puede manipular (g)	1.000	-	-	800	-
Capacidad de almacenamiento (cajas)	9.000	11.040	8.860	6.000	11.200
Tipo de reposición	Manual: Se escanea el medicamento y luces LED indican dónde colocarlo	Manual: Sistema óptico de posicionamiento (OPS)	Semiautomatizada con posibilidad de completamente automatizada	Automática	Manual: Se escanea el medicamento y luces LED indican dónde colocarlo
Velocidad de dispensación (cajas/hr)	De 900 a 2.400	Desde 900	Si	360	-
Multi picking?	Opcional	Si	Si	No	Si
Video	[62]	[63]	[64]	[65]	[66]
Fuente	[67,68]	[48]	[47]	[69]	[70]

## Anexo II: Trabajos relacionados

En esta sección se presentan algunos trabajos relacionados al diseño e implementación de sistemas de dispensación automática.

Tabla 12. Publicaciones relacionadas al presente estudio.

Paper	Descripción	Características del sistema propuesto	Principales conclusiones obtenidas
[43] The planning of dense storage input/output based on a minimum time algorithm	Se presenta un estudio sobre la planificación de la carga y descarga de un sistema automatizado de almacenamiento denso en el Hospital Popular de Zhangjiagang, basado en un algoritmo de tiempo mínimo. En la farmacia estudiada se manejan 3 ventanillas de atención al público y se prescriben 1.983 recetas por día, de las cuales 1.200 son procesadas en la cabina. Se almacenan en ésta 377 SKUs distintos y se repone el stock cada 2 días.	Cabina inclinada con canaletas a 20° y dimensiones: 3,5 m x 1,6 m x 2,7 m (largo x ancho x alto). Se consideran 26 filas y 44 columnas y una capacidad máxima de 20.000 cajas. Se utilizan las siguientes dimensiones para los anchos de las canaletas en mm {38,48,58,68,78,88,99,109,119,139}. El sistema de reposición es de tipo automático.	A partir de distintos principios se obtuvo la planificación del orden de entrada de medicamentos, del orden de dispensación y se determina la posición inicial de almacenamiento. Dado que los medicamentos de la farmacia se actualizan con frecuencia, la distribución debe reasignarse cada dos meses. Luego de implementar lo sugerido en este estudio en el hospital en cuestión, el sistema ha funcionado de forma estable y se ha logrado un tiempo promedio de dispensación de 18 segundos por receta.
[42] Design of an automatic dispenser of packed medicaments	Se propone una solución que busca reducir tanto el tiempo de espera como el espacio de almacenamiento. El proyecto consiste en diseñar un primer prototipo de dispensador automático de medicamentos para una farmacia.	Cabina inclinada con inclinación de canaletas de 25° y dimensiones: 1,5 m x 1,7 m x 3 m (largo x ancho x alto). Se consideran 11 filas y 16 columnas, que resultan en una capacidad máxima de 3.170 cajas de 200 referencias distintas. Permite dispensar hasta 3 cajas a la vez. El sistema de reposición es manual; luces LED señalan dónde debe colocarse cada medicamento. Su costo final es de EUR 30.065.	Se cumplieron la mayoría de las especificaciones iniciales, entre ellas: capacidad, diseño exterior, medicamentos que puede manejar, sistema de reposición. No se pudo garantizar el cumplimiento de la especificación del tiempo de dispensación ya que no fue posible medirlo. En cuanto a la especificación de dispensar varios productos a la vez, no se logró al 100%, ya que depende del tamaño de los medicamentos dispensados: si son estándar (hasta 90 mm cada uno), es posible; pero no lo es si los tres medicamentos solicitados son mayores a 90 mm.
[32] Sistema de almacén y dispensación robotizada para farmacia	Se desarrolla un sistema de dispensación automático de medicamentos para farmacias con una rotación de medicamentos media/baja.	Cabina de baldas horizontales, con orden caótico, carga semiautomática y descarga automática de SKUs. Las cajas a ser repuestas son presentadas por un operario a un escáner de códigos de barras e ingresadas en cinta transportadora para su ubicación. Según un estudio pormenorizado de piezas mecánicas y horas de programación del sistema, se estima un costo total de USD 78.538.	En el trabajo se concluye que, considerando un robot como el diseñado por el autor, se tendrá un TIR de 7,42%, lo que lo convierte en una inversión conveniente. Sin embargo, el autor concluye que solamente tendrá sentido la inversión para farmacias de porte mediano o alto, en el entendido que se precisará cierto flujo de pacientes para justificar los beneficios de tiempo obtenidos.
[71] Evaluation of an automated dispensing system in a hospital pharmacy dispensary	Se compara la operativa de una farmacia hospitalaria previo a la instalación de un sistema de dispensación automática (Consis) y posterior a la misma. Se estudia cómo se vio modificado el espacio ocupado, los errores de dispensación y el tiempo de espera de los pacientes.	Cabina inclinada que permite almacenar 3.300 cajas por m <sup>2</sup> .	Con la implementación del sistema automatizado se logró reducir un 16% los errores de dispensación, un 19% el tiempo semanal utilizado para la dispensación y reducir significativamente los tiempos de espera de los pacientes.
[72] Design and Application for Automated Medicine Depositing and Dispensing System of Pharmacy	Se diseña un sistema de carga y dispensación de medicamentos y se realiza el diseño de la estructura mecánica. Se analiza la estructura general del sistema de control y su hardware. Luego se diseña el software de gestión y el de supervisión. Por último, se investigan los métodos de control para los equipos de actuación.	Cabina inclinada con inclinación de canaletas de 20° y dimensiones: 3,5 m x 1,4 m x 2,5 m (largo x ancho x alto). Cuenta con un sistema de reposición automática.	Este sistema ya está actualmente en funcionamiento en una farmacia en Zhang Jia Gang y el sistema funciona con normalidad. Se ha conseguido el efecto previsto por lo que el autor concluye que el diseño final es correcto.



### Anexo III: Organigrama de la farmacia del Hospital Pasteur

En la Figura 74 se presenta el organigrama del Departamento de Farmacia del Hospital Pasteur, provisto por el personal encargado del Despacho Ambulatorio y adaptado por el equipo de trabajo.

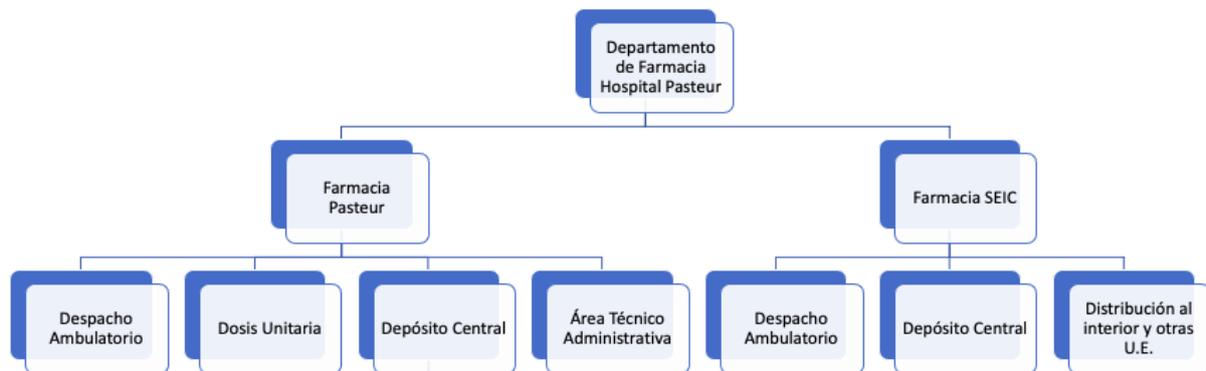


Figura 74. Organigrama de la Farmacia del Hospital Pasteur. Elaboración propia.



## Anexo IV: Matriz interés-poder

En la Tabla 13 se presenta una matriz interés-poder realizada al comienzo del proyecto para identificar los actores que podían tener algún tipo de interés en éste. Para cada interesado (identificado con una sigla) se especificó su nivel de interés y poder actual, indicando cómo podía incidir en el proyecto.

Tabla 13. Matriz interés-poder.

ID	Partes interesadas	Rol en el proyecto	Expectativas	Poder	Interés	Actitud
EQ	Equipo de trabajo	Ejecutores. Encargados de llevar adelante el proyecto.	Poder brindar soluciones innovadoras a problemas logísticos dentro del Despacho Ambulatorio del Hospital Pasteur, contribuyendo en el ámbito de la salud pública, en tiempos de pandemia.	Alto	Alto	Apoyo
DH	Dirección del Hospital	Sponsor. Habilitó la realización del proyecto y facilita autorizaciones cuando es necesario.	Lograr una mejora en los tiempos de espera de los usuarios y optimizar el uso de los recursos disponibles en la Farmacia.	Alto	Medio-Alto	Apoyo
QF	Químicas de Despacho Ambulatorio	Contraparte. Brindan la información necesaria sobre los procesos del Despacho Ambulatorio.	Obtener una mejora en los procesos internos que se dan en el Despacho Ambulatorio manteniendo una atención a	Medio-Alto	Alto	Apoyo

			los usuarios correcta.			
FI	Facultad de Ingeniería	Supervisor y evaluador del proyecto.	Formar nuevos ingenieros y recibir aportes en la temática de robótica aplicada a operaciones para futuras investigaciones.	Medio	Medio	Apoyo
AF	Auxiliares de farmacia	Responsables de ejecutar los procesos que se dan en el Despacho Ambulatorio.	Trabajar de forma más eficiente y utilizar el tiempo ganado en tareas que aporten valor para el usuario.	Medio-Bajo	Medio-Bajo	Apoyo
US	Usuarios	Principales beneficiarios de los objetivos del proyecto.	Recibir su medicación mediante una atención cordial y ágil.	Bajo	Medio-Alto	Neutra
DC	Personal de Depósito Central	Involucrado en el proceso de reposición al Despacho Ambulatorio.	Beneficiarse de las mejoras propuestas relativas al mejor uso del espacio disponible en Depósito Central.	Bajo	Medio	Apoyo
SE	Personal de SEIC	Potencial involucrado en los procesos del Despacho Ambulatorio.	Ser contemplados en las soluciones propuestas para los problemas en el Despacho Ambulatorio.	Bajo	Medio-Bajo	Neutro

Con la información de la Tabla 13 se obtiene un diagrama en el que se puede visualizar a qué cuadrante corresponde cada uno de los 8 interesados identificados.

<b>PODER</b>	<b>A</b>				DH	EQ
	<b>MA</b>					QF
	<b>M</b>			FI		
	<b>MB</b>		AF			
	<b>B</b>		SE	DC	US	
		<b>B</b>	<b>MB</b>	<b>M</b>	<b>MA</b>	<b>A</b>
<b>INTERÉS</b>						

Figura 75. Matriz interés-poder. Elaboración propia.

Se puede ver en la Figura 75 que el grupo clave está constituido por la Dirección del Hospital y las químicas farmacéuticas del Despacho Ambulatorio. Para estos actores se establecieron estrategias de comunicación, al igual que para el tutor del proyecto, con el objetivo de mantenerlos informados acerca de la evolución del proyecto. El equipo de trabajo, también parte del grupo clave, utilizó distintas herramientas colaborativas para mantener una comunicación constante entre los tres integrantes.







## Anexo VI: Diagramas de flujo

En esta sección se presentan los diagramas de flujo elaborados por el equipo de trabajo con el objetivo de lograr un mejor entendimiento de los procesos relativos a la dispensación y reposición de los medicamentos regulares y refrigerados pertenecientes al substock del Despacho Ambulatorio (DA).

En primer lugar, en la Figura 77 se representa el flujo principal del proceso de dispensación, que luego se ramifica según el tipo de tratamiento del paciente (agudo, crónico en curso o crónico nuevo). Estos subprocesos son representados en la Figura 78, Figura 79 y Figura 80 respectivamente.

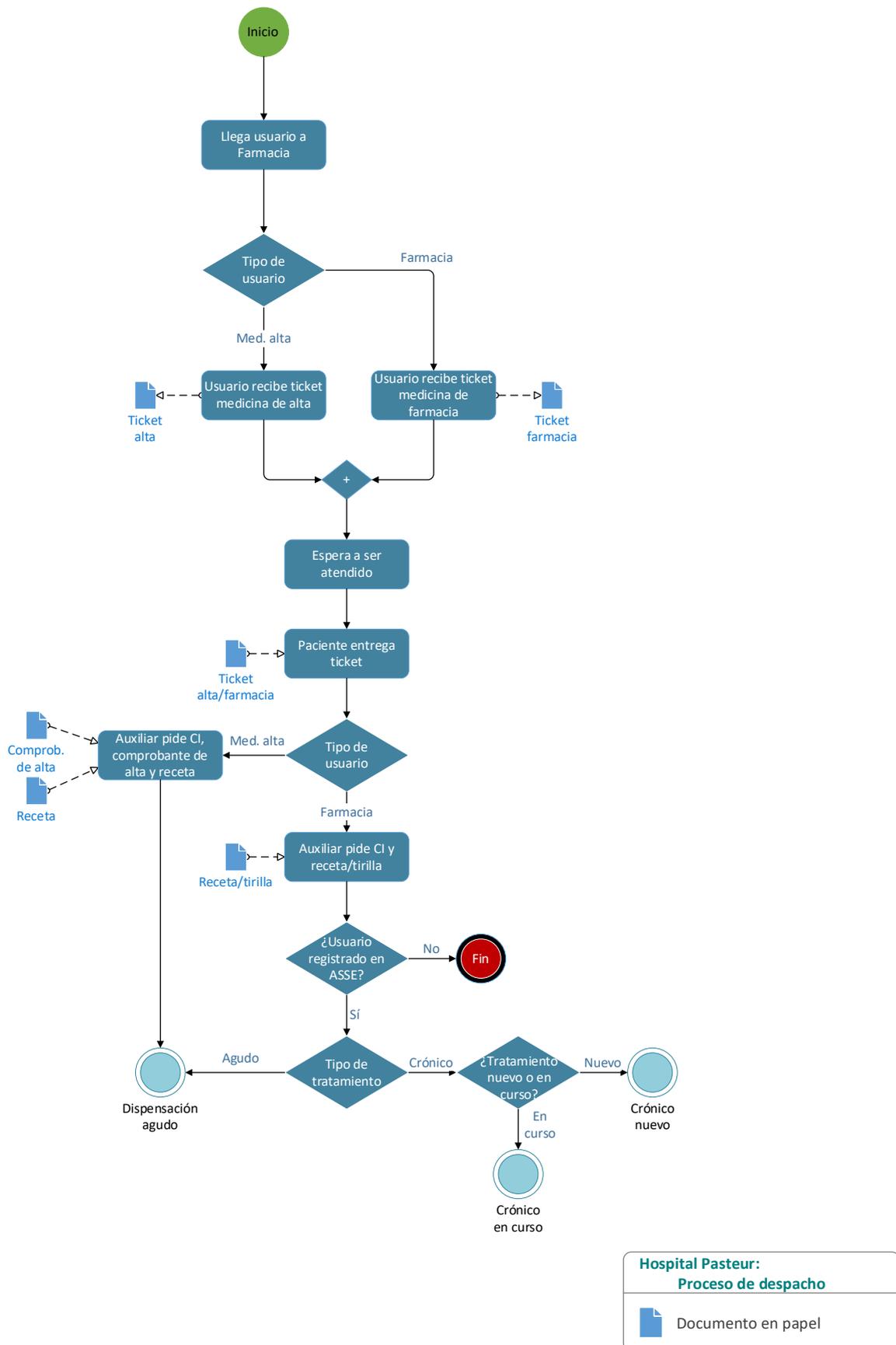
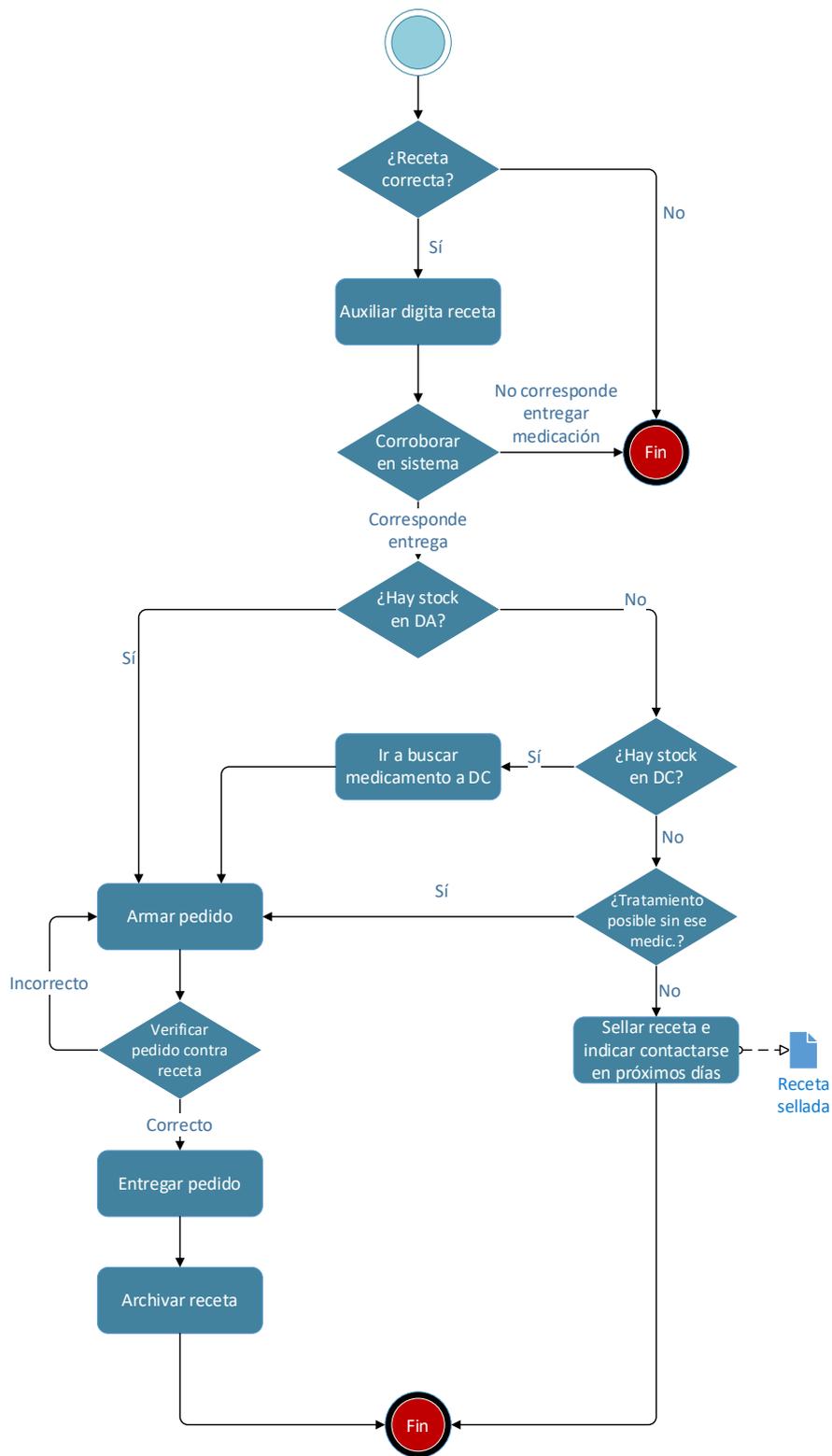


Figura 77. Flujo principal del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA. Elaboración propia.



<b>Hospital Pasteur:</b>	
<b>Dispensación agudo</b>	
	Documento en papel

Figura 78. Ramificación del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA para pacientes con tratamiento agudo. Elaboración propia.

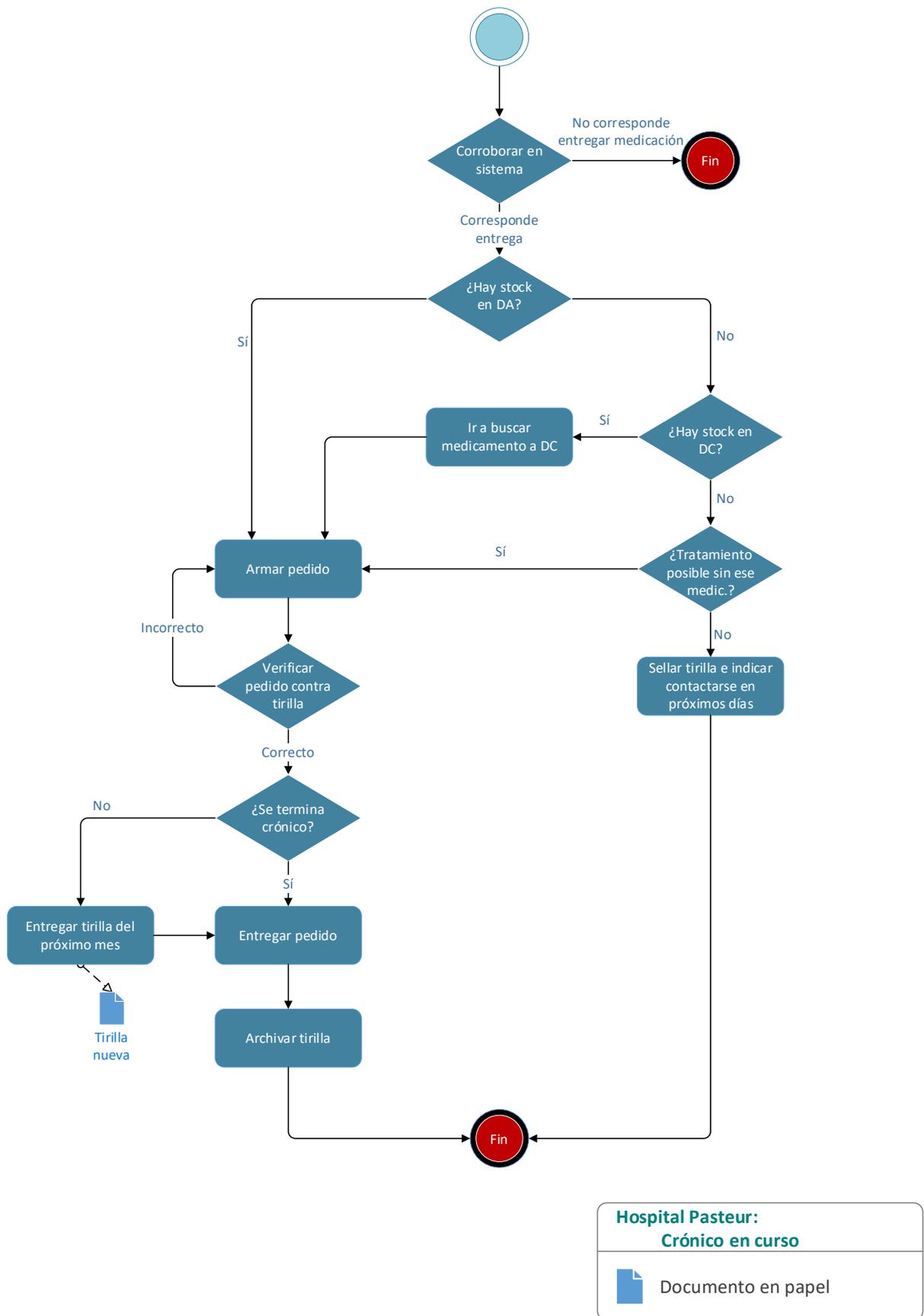
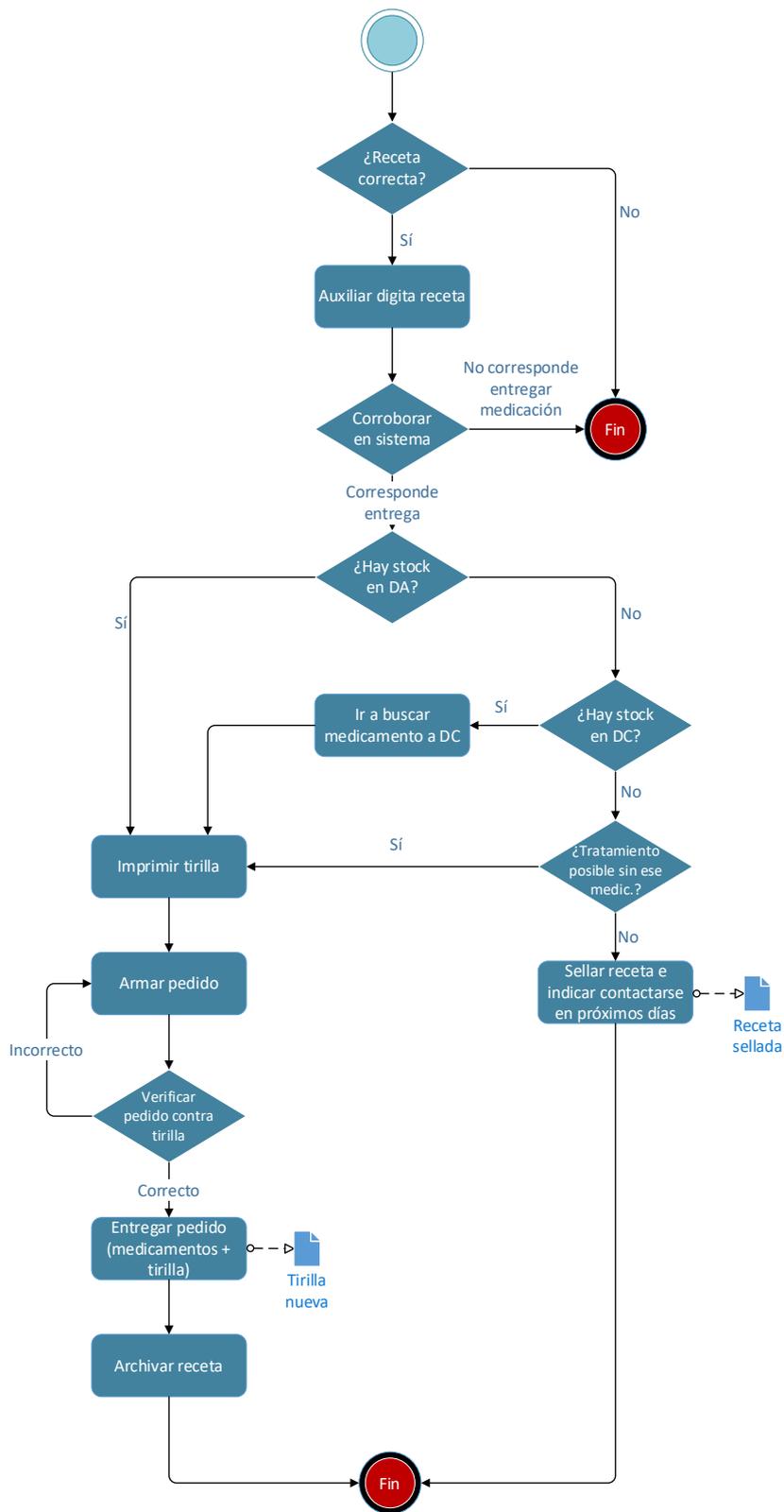


Figura 79. Ramificación del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA para pacientes con tratamiento crónico en curso. Elaboración propia.



**Hospital Pasteur:**  
**Crónico nuevo**

---

 Documento en papel

Figura 80. Ramificación del proceso de dispensación de medicamentos regulares y refrigerados del DA para pacientes con un nuevo tratamiento crónico. Elaboración propia.

En la Figura 81 se muestra el proceso de reposición de los medicamentos cuyas reposiciones responden directamente a niveles de stock prefijados. La reposición comienza en Depósito Central (DC) para luego ser trasladada por cadetería al Despacho Ambulatorio (DA).

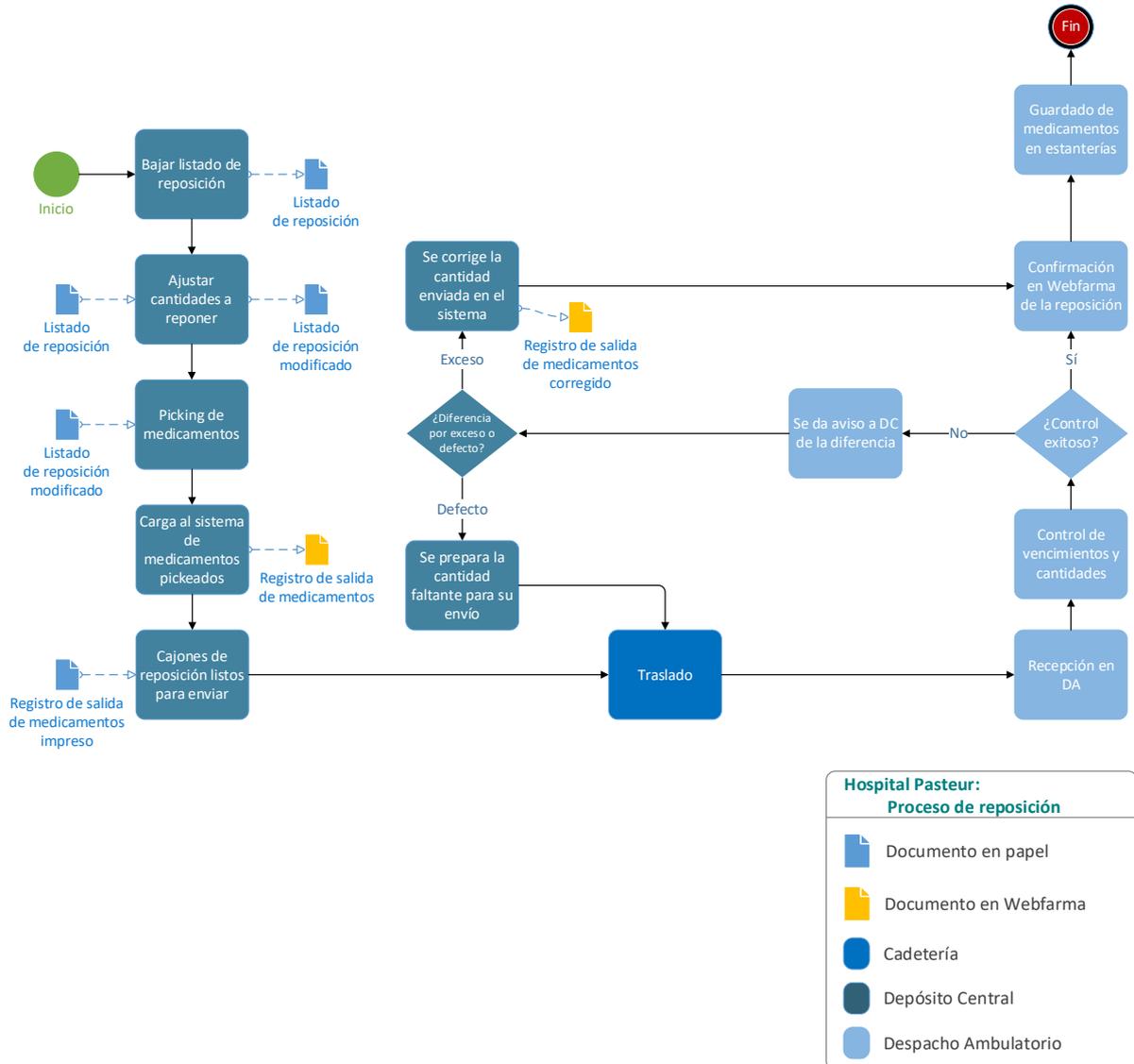


Figura 81. Proceso de reposición de medicamentos regulares y refrigerados del DA. Elaboración propia.

## Anexo VII: Listado de SKUs para la Etapa 1

El listado de SKUs utilizado como insumo para la Etapa 1 se presenta en la Tabla 14. Para cada SKU se incluye su rotación según la clasificación ABC, su demanda semanal promedio, su punto de pedido y su volumen.

Tabla 14. Listado de SKUs utilizado para la Etapa 1.

SKU	Rotación	Demanda semanal promedio (unidades)	Punto de pedido (unidades)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
1	A	678	153	181
2	A	108	26	107
3	A	67	19	125
4	A	80	20	105
5	A	183	44	119
6	A	99	27	166
7	A	71	26	107
8	A	143	37	107
9	A	63	24	119
10	A	103	36	102
11	A	61	18	72
12	A	51	17	110
13	A	53	18	90
14	A	49	16	90
15	A	51	16	116
16	A	51	14	165
17	A	48	18	83
18	A	61	23	142
19	A	54	16	176
20	A	61	21	181
21	A	50	17	125
22	A	235	64	261
23	A	140	41	123
24	A	72	27	61
25	A	50	22	79
26	A	60	21	79
27	A	133	53	95
28	A	394	112	100
29	A	58	17	181
30	A	155	41	126
31	A	288	71	181
32	A	77	23	90
33	A	538	125	90

34	A	86	21	182
35	A	139	33	157
36	A	51	16	160
37	A	213	53	95
38	A	65	26	145
39	A	50	21	213
40	A	67	22	180
41	A	184	122	841
42	A	131	120	841
43	A	88	24	181
44	A	95	29	181
45	A	120	32	95
46	A	204	55	183
47	A	186	45	132
48	A	73	33	363
49	A	82	31	113
50	A	108	30	51
51	A	97	27	51
52	A	55	21	86
53	A	70	20	110
54	A	256	63	86
55	A	70	24	119
56	A	248	63	119
57	A	61	22	120
58	A	75	62	161
59	A	715	180	181
60	A	91	33	132
61	A	57	19	124
62	A	417	110	95
63	A	61	19	95
64	A	50	20	120
65	A	324	79	193
66	A	114	35	184
67	A	76	25	157
68	A	50	19	100
69	A	59	20	107
70	A	154	38	132
71	A	264	138	173
72	A	68	24	86
73	B	23	10	181
74	B	35	12	125
75	B	16	9	97

76	B	31	10	79
77	B	21	7	175
78	B	32	10	120
79	B	28	12	132
80	B	17	7	105
81	B	14	7	293
82	B	19	7	105
83	B	32	10	152
84	B	27	12	121
85	B	27	13	150
86	B	35	15	102
87	B	32	12	110
88	B	20	14	107
89	B	25	10	181
90	B	18	10	125
91	B	23	10	181
92	B	23	9	61
93	B	47	15	99
94	B	33	14	116
95	B	39	16	116
96	B	17	10	132
97	B	38	16	150
98	B	31	11	90
99	B	31	12	145
100	B	48	16	91
101	B	28	12	95
102	B	18	6	120
103	B	16	6	100
104	B	20	10	102
105	B	24	12	92
106	B	17	13	145
107	B	26	17	85
108	B	21	10	152
109	B	18	8	79
110	B	24	9	150
111	B	32	12	95
112	B	45	15	116
113	B	21	9	116
114	B	45	20	2520
115	B	19	7	113
116	B	32	11	163
117	B	25	9	360

118	B	44	15	108
119	B	22	10	198
120	B	28	15	150
121	B	27	14	107
122	B	20	9	119
123	B	24	15	98
124	B	20	16	181
125	B	38	15	285
126	B	16	6	97
127	B	17	36	153
128	B	19	22	224
129	B	39	16	592
130	B	19	10	128
131	B	38	14	107
132	B	42	16	86
133	B	16	10	95
134	B	17	8	138
135	B	36	13	107
136	B	26	12	132
137	B	32	13	136
138	B	19	8	95
139	B	16	9	181
140	B	41	18	181
141	B	38	14	563
142	B	20	16	130
143	B	19	9	96
144	B	17	5	138
145	B	24	12	95
146	B	17	6	72
147	B	23	9	150
148	B	16	10	3076
149	B	20	8	189
150	C	1	3	105
151	C	10	6	79
152	C	12	12	132
153	C	7	4	315
154	C	2	2	1628
155	C	1	3	153
156	C	8	6	181
157	C	6	4	772
158	C	6	3	81
159	C	6	4	132

160	C	12	7	205
161	C	13	5	115
162	C	2	4	102
163	C	8	7	251
164	C	9	6	105
165	C	14	11	120
166	C	6	3	215
167	C	13	5	135
168	C	14	6	288
169	C	6	5	95
170	C	11	5	120
171	C	11	6	132
172	C	6	5	394
173	C	10	6	98
174	C	2	6	51
175	C	11	6	132
176	C	10	6	132
177	C	2	3	104
178	C	6	2	181
179	C	1	4	634
180	C	5	4	116
181	C	9	4	1301
182	C	8	7	213
183	C	6	3	659
184	C	7	6	132
185	C	2	5	61
186	C	6	3	1350
187	C	15	7	152
188	C	1	4	160
189	C	7	7	86
190	C	11	9	473
191	C	10	14	2363
192	C	13	5	132
193	C	6	4	99
194	C	6	4	162
195	C	2	1	333
196	C	10	5	203
197	C	6	10	422
198	C	1	3	105
199	C	7	5	237
200	C	9	3	116
201	C	13	40	105

202	C	10	13	79
203	C	6	3	157
204	C	9	22	500
205	C	13	7	88
206	C	13	5	183
207	C	10	4	2370
208	C	6	3	81
209	C	10	5	86
210	C	6	7	181
211	C	6	4	86
212	C	6	4	105
213	C	6	4	126
214	C	10	7	58
215	C	12	6	90
216	C	6	4	150
217	C	6	3	203
218	C	7	7	152
219	C	8	7	107
220	C	7	7	293
221	C	6	6	181
222	C	2	3	68
223	C	7	13	157
224	C	8	6	90
225	C	6	3	145
226	C	8	5	468
227	C	6	5	128
228	C	1	2	173
229	C	12	6	165
230	C	8	4	233
231	C	11	8	95
232	C	6	3	408
233	C	11	8	124
234	C	7	8	81
235	C	6	3	124
236	C	6	9	289
237	C	12	7	132
238	C	1	2	123
239	C	2	3	122
240	C	1	3	99
241	C	2	5	1859
242	C	2	3	363
243	C	6	4	219

244	C	12	6	116
245	C	2	3	363
246	C	14	14	168
247	C	2	3	181
248	C	8	8	125
249	C	6	7	136
250	C	8	6	107
251	C	6	3	563
252	C	2	3	200
253	C	6	3	878
254	C	9	5	594
255	C	1	4	107
256	C	1	9	181
257	C	9	8	363
258	C	9	4	363
259	C	6	4	140
260	C	11	14	100
261	C	1	3	396
262	C	6	4	105
263	C	13	8	77
264	C	6	4	90
265	C	6	5	222
266	C	6	2	98
267	C	9	5	107
268	C	8	12	105
269	C	1	3	273
270	C	9	5	273
271	C	7	4	181
272	C	8	7	95
273	C	14	11	83
274	C	7	6	394



## Anexo VIII: Principios activos de estrecho margen terapéutico

En la Tabla 15 se presenta un listado con los principios activos excluidos de [15] para los que es necesario que el médico indique la fantasía específica a dispensar para el tratamiento del paciente. Se muestran únicamente aquellos que son dispensados actualmente en el Despacho Ambulatorio (DA) y se incluyen sus fantasías asociadas.

Tabla 15. Listado de principios activos de estrecho margen terapéutico dispensados en DA y sus fantasías asociadas. [41]

Principio Activo	Fantasías
Digoxina	Digoxil
Warfarina	Choice
	Dagonal
Levodopa-Benserazida	Prolopa 250
	Prolopa 125 HBS
Fenitoína	Comitoina simple
Verapamilo	Verapamil
Carbamazepina	Auration CR
Valproatos	Dpa 400 mg Di-Dpa LP Valcote
	Dpa
Carbonato de Litio	Theralite
Ciclosporina A	Sandimmun Neoral
	Sigmasporin microral
Levodopa-Carbidopa	Licebral CR 50/200
	Sinemet CR
Teofilina	Meridian Dividosis



## Anexo IX: Reportes

En este apartado se introducen distintos gráficos que resumen el comportamiento de la demanda de los SKUs estudiados en el presente trabajo.

En la Figura 82 se muestra el promedio de recetas digitadas por hora para la ventana horaria de atención al público del Despacho Ambulatorio (DA), en el período de 8 meses considerado.

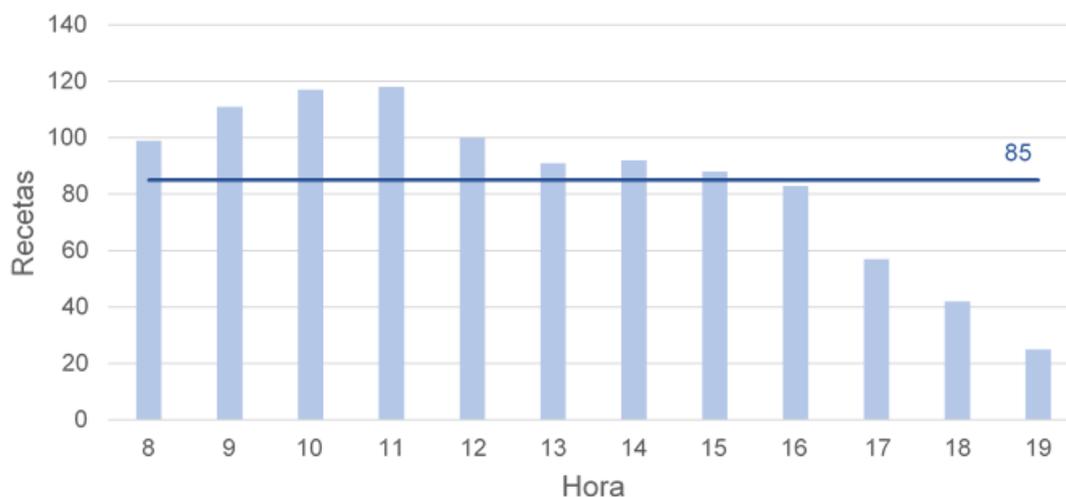


Figura 82. Promedio de recetas digitadas por hora de atención en DA. Elaboración propia.

Se concluye de la Figura 82 que en promedio en el DA se digitan 85 recetas por hora. Resulta interesante notar que el pico de usuarios se registra en el intervalo de 11 a 12 de la mañana, mientras que la menor afluencia se observa al final de la jornada. Si se consideran los turnos de la mañana y la tarde (de 8 a 14 y de 14 a 20 hs respectivamente), es notorio que los auxiliares de farmacia están sometidos a una mayor carga de trabajo en atención al público por la mañana.

En términos de unidades despachadas se puede visualizar en la Figura 83 que en promedio se despachan 173 unidades por hora de atención.

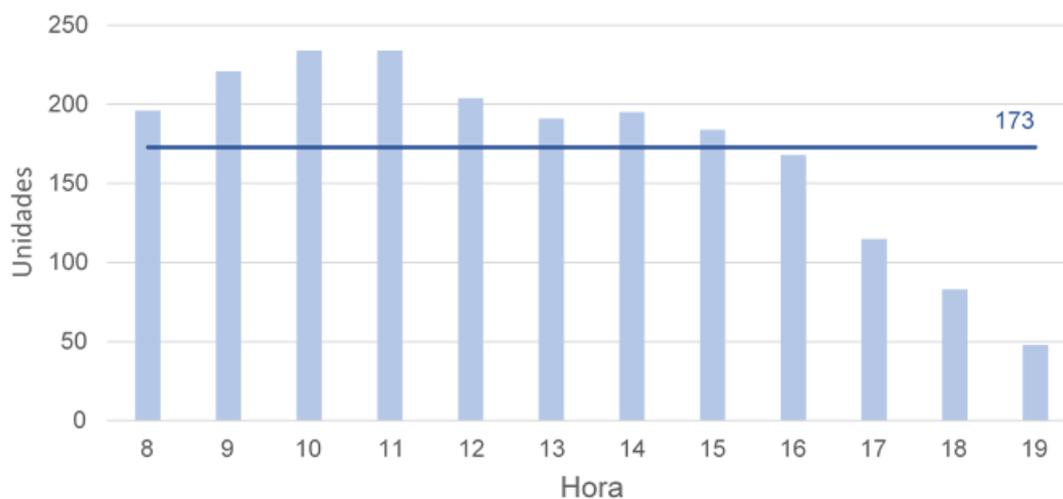


Figura 83. Promedio de unidades despachadas por hora de atención en DA. Elaboración propia.

En este caso, como es esperable, se observa la misma tendencia que en la Figura 82. Considerando que por hora se digitan en promedio 85 recetas y se dispensan 173 unidades, se tiene que cada usuario retira 2 unidades por receta.

Resulta interesante observar las variaciones de la demanda a lo largo de la semana para extraer el dato del día más concurrido de la farmacia. Lo anterior se puede ver representado en la Figura 84.

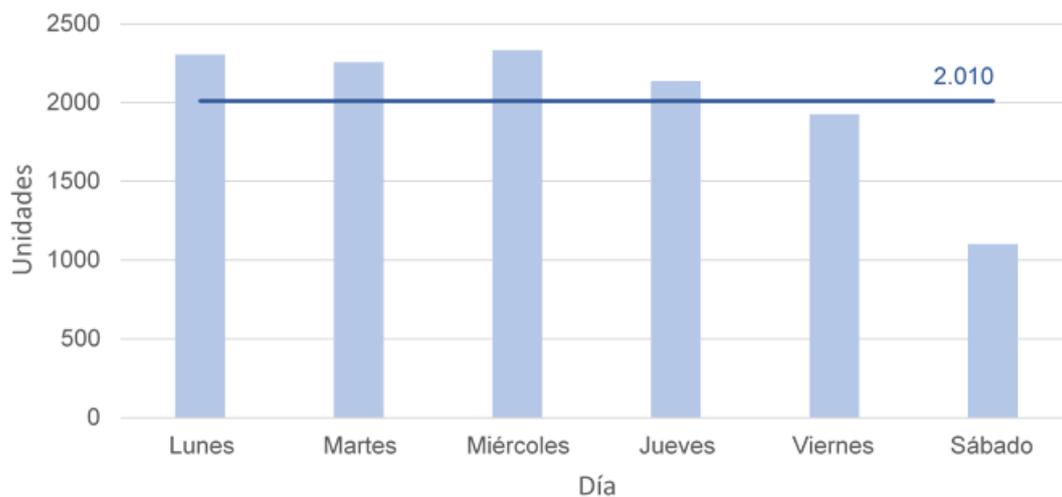


Figura 84. Promedio de unidades despachadas por día de la semana en DA. Elaboración propia.

Analizando la distribución en el correr de la semana, se puede observar un comportamiento parejo que tiende a disminuir a partir del miércoles, día en el que se da la mayor concurrencia. Por otra parte, el sábado cae el consumo a aproximadamente la mitad, lo que se explica por el menor tiempo de atención al público en este día. En promedio se despachan 2.010 unidades por día.

Por último, en la Figura 85 se incluye el gráfico de Pareto. Es interesante notar que, si bien el principio de Pareto establece que el 20% de los artículos son responsables del 80% de los efectos, en este caso se tiene que es el 26%. Además, se observa una cantidad de referencias muy similar para los A que para los B. De todas formas, como se indicó en 2.2.5, lo importante es que la cantidad de referencias con impacto significativo sea mucho menor que la de referencias insignificantes en términos de efectos.

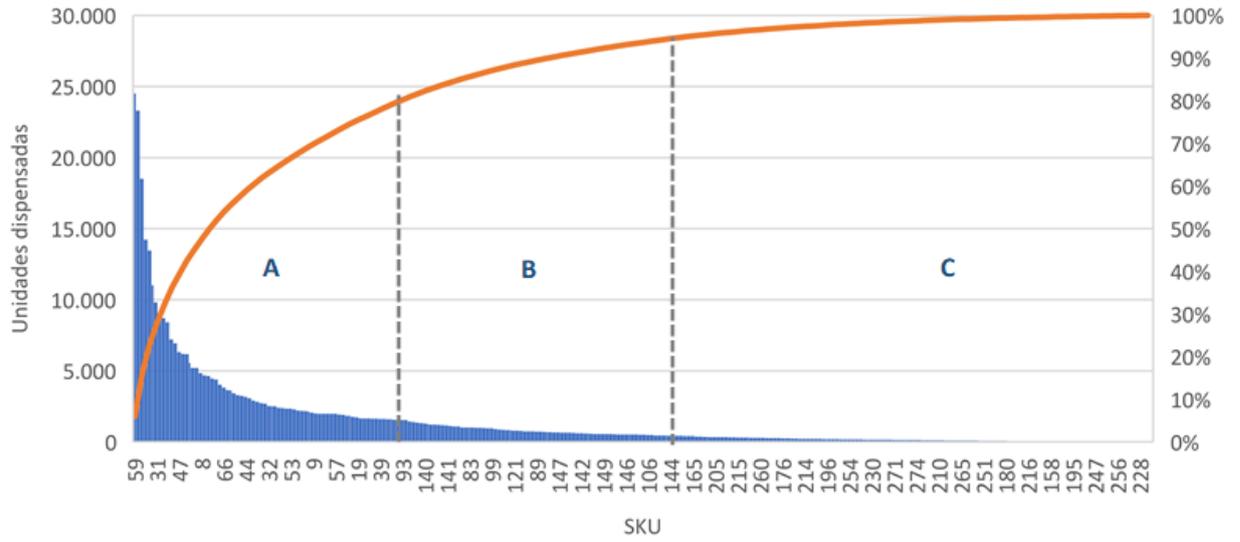


Figura 85. Gráfico de Pareto de los SKUs considerados en la Etapa 1. Elaboración propia.



## Anexo X: Volumen ocupado por estantería a lo largo de la semana.

En este apartado, se muestra con mayor detalle la ocupación de Despacho Ambulatorio (DA) a lo largo de la semana en cada escenario. Para esto, se incluyen cuatro figuras, en las que se observa el volumen ocupado desglosado por estantería. La Figura 86 corresponde a las estanterías de alta rotación y la Figura 87 a las estanterías móviles destinadas al almacenamiento de los SKUs A. Por su parte, en la Figura 88 se observa la ocupación de las de rotación B y en la Figura 89 la de los de rotación C.

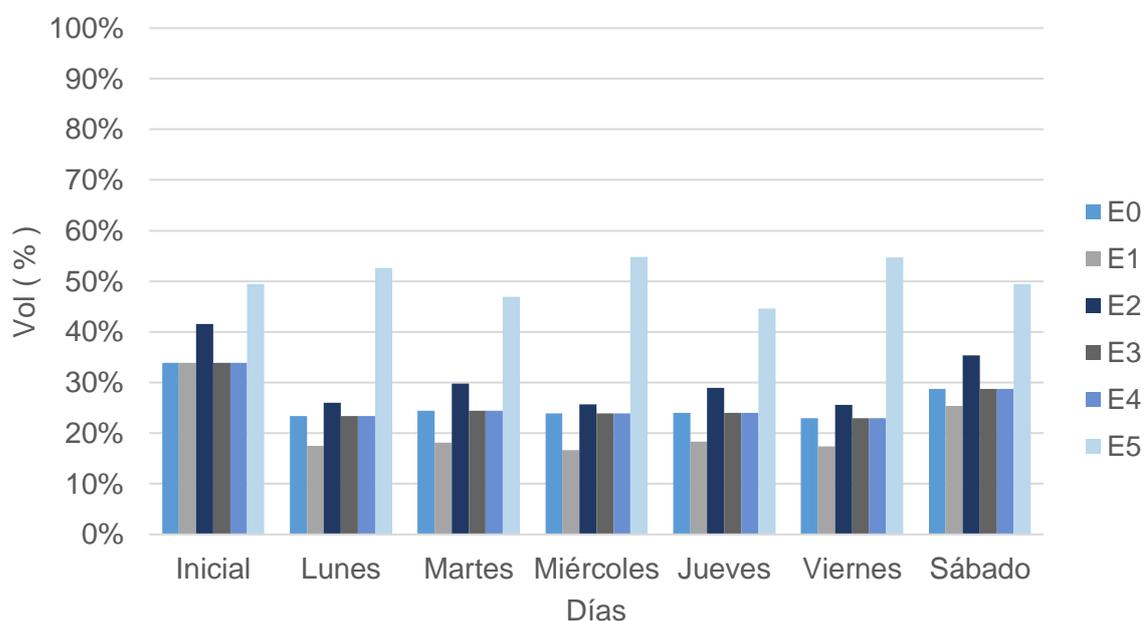


Figura 86. Porcentaje de ocupación de estanterías de alta rotación para SKUs A a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.

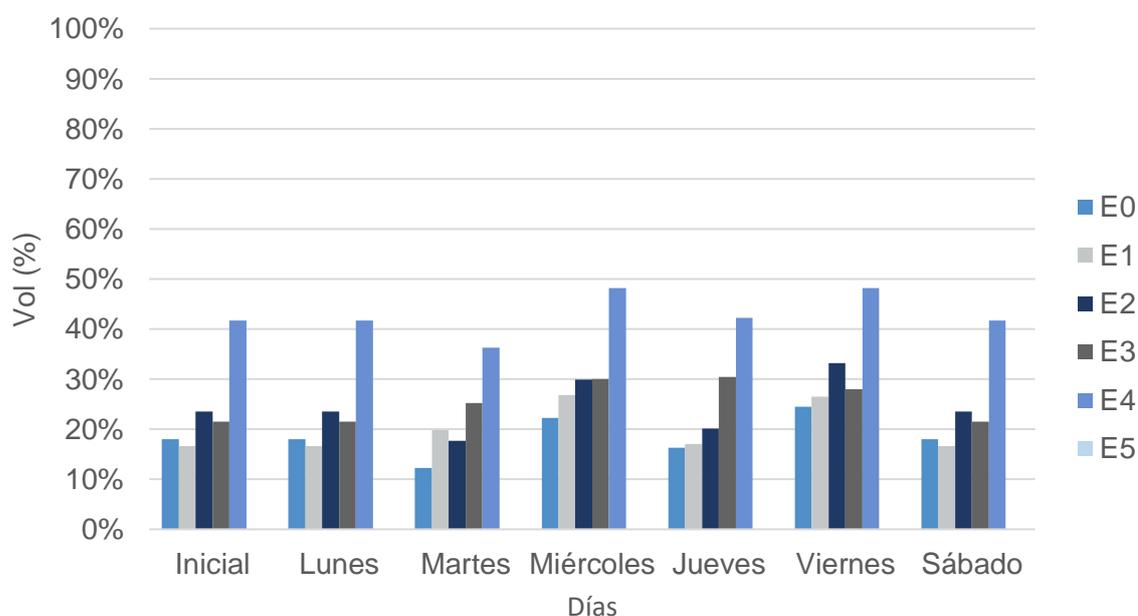


Figura 87. Porcentaje de ocupación de estanterías móviles para SKUs A a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.

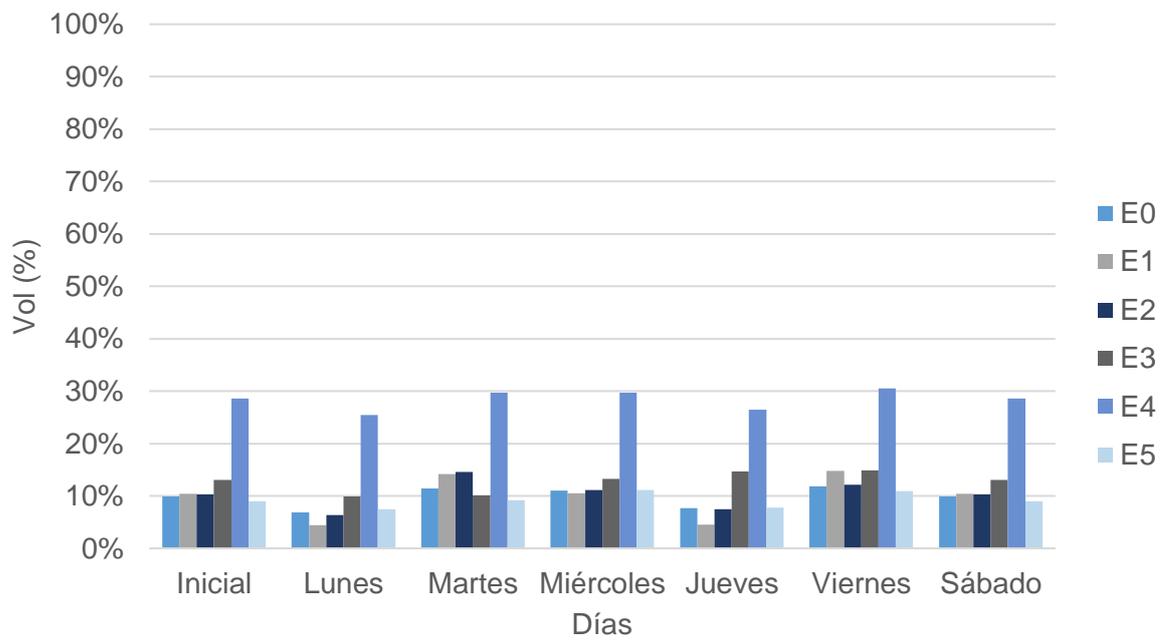


Figura 88. Porcentaje de ocupación de estanterías para SKUs B a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.

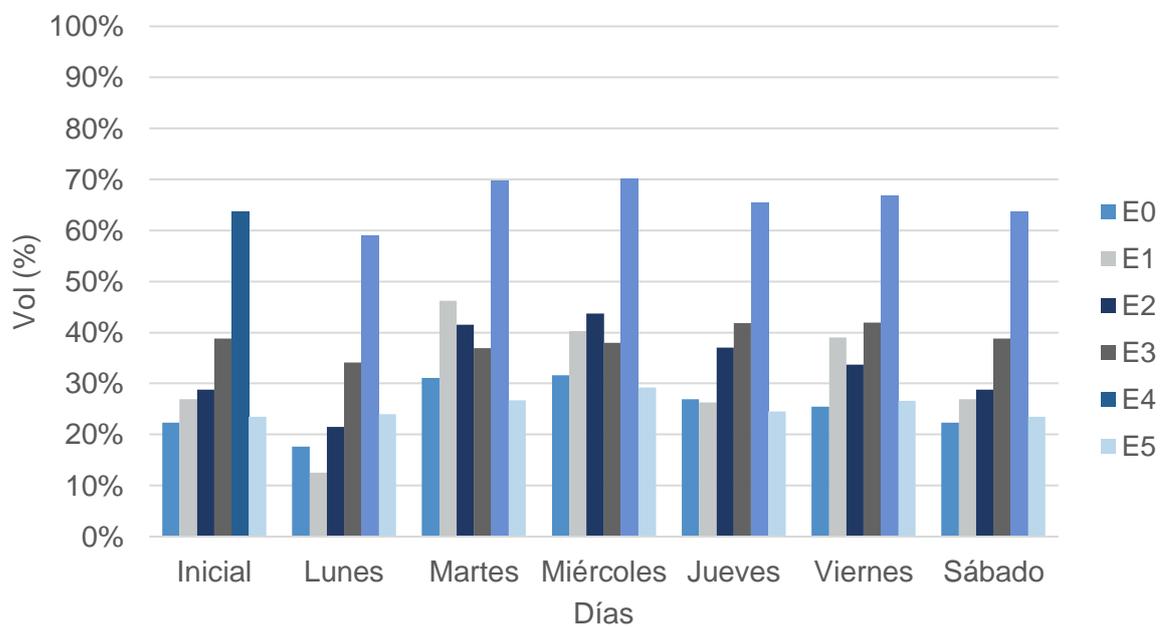


Figura 89. Porcentaje de ocupación de estanterías para SKUs C a lo largo de la semana, por escenario. Elaboración propia.